

University of Groningen

## Adaptive control of dynamic balance in human walking

Buurke, T. J. W.

DOI:  
[10.33612/diss.108473590](https://doi.org/10.33612/diss.108473590)

**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:*  
2020

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

*Citation for published version (APA):*  
Buurke, T. J. W. (2020). *Adaptive control of dynamic balance in human walking*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.108473590>

### 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.

**A**

**APPENDICES**

## SUMMARY

Humans are one of few mammals that exercise bipedal gait. While bipedal walking costs less energy than quadrupedal gait, it is inherently unstable. To remain stable during walking, humans need to flexibly respond and adapt to the ever-changing task-conditions, for instance when walking on a slippery surface. Humans thus need to adaptively control dynamic balance to stay upright. The importance of adaptive control of dynamic balance becomes clear after natural ageing or disease, when people have trouble to control their balance and as a result become less mobile or more prone to falling. To improve prevention of mobility decline and improve gait rehabilitation, we need to better understand adaptive control of dynamic balance. Therefore, the aim of this thesis was to increase our understanding of adaptive control of dynamic balance in human walking. In all studies a treadmill was used to assess human walking, in which changes in treadmill belt speed were applied to perturb participants (**chapter 1**).

First, in **chapter 2** we studied the adaptive neuromuscular response to changes in gait velocity in healthy adults. To generate movement, we must produce moments of force over our skeletal joints. To actively generate these moments of force, control of muscle contractions is necessary and we can record the activity of these muscles through wire or surface electromyography. Since the adaptation of walking speed is one of the most fundamental adaptations in human movement, a hypothetical synergistic structure of muscle coordination should reflect this adaptability. Based on surface electromyography, we found that a synergistic structure might control the speed dependent modulation of muscle activity in human walking, as a means of adaptive neuromuscular control in human walking.

In **chapter 3**, we studied the adaptation of mediolateral dynamic balance control during walking with asymmetric belt speeds on an instrumented split-belt treadmill, i.e. split-belt walking. Unlike a regular treadmill, the split-belt treadmill has two parallel belts, the velocity of which can be controlled independently. When exposed to split-belt walking, humans initially exhibit an asymmetric gait pattern, which they adapt towards a more symmetric gait pattern in a matter of minutes. In chapter 3 we showed that healthy young adults adapt their mediolateral dynamic balance to this task through a complementary mechanism of relative foot placement (i.e. the margin of stability) and mediolateral foot-roll off.

To better understand the control of margins of stability, we studied bilateral temporal control as a regulating mechanism of dynamic balance in **chapter 4** in healthy adults. Here we found that regulation of bilateral stance times may allow for simple, yet effective adaptive control of dynamic balance through exploitation of the passive properties of the human body. The potential exploitation of this mechanism comes to light in pathologic gait. For example, people post-stroke show a shorter paretic than non-paretic stance time, by which they unload the paretic leg and increase the paretic mediolateral margin of stability.

Then, we turned the tables in **chapter 5** and assessed what happens to locomotor learning when the balance control problem is reduced through external support. There, we found that when healthy young adults were allowed to hold on to handrails during split-belt walking, they were perturbed less during early split-belt walking, and therefore had less need to adapt their stepping pattern to the asymmetric belt speeds. Consequently, these participants did not learn the novel locomotor task of split-belt walking, as was indicated by reduced after-effects. The findings in this chapter indicate that maintaining dynamic balance is an important task goal in human walking, which shapes adaptive locomotor control and locomotor learning. Furthermore, while balance assistance is often used in clinical practice to relearn people to walk, clinicians should take into account that balance assistance may reduce learning effects.

The knowledge from previous chapters was applied to better understand post-stroke balance impairments in **chapter 6**. Here we showed that when people with post-stroke hemiparesis make a forward step with their paretic leg to increase their anteroposterior margin of stability in response to a slip-like perturbation on the treadmill, they simultaneously decrease their mediolateral margin of stability. This indicates that when people post-stroke increase forward balance, they may lose sideward balance during reactive stepping responses. Future research should indicate whether this maladaptive paretic coupling between anteroposterior and mediolateral margins of stability can be decreased in training, e.g. through perturbation training, to increase adaptive control of dynamic balance in people post-stroke.

**Chapter 7** provided a general discussion of the findings in this thesis. This thesis has brought knowledge on adaptive neuromuscular control, adaptive control of dynamic balance, exploitation of passive properties of the human body, the effects of external support on locomotor learning and reactive stepping in people post-stroke. By assessment of the margin of stability, we gained insight in healthy and pathological adaptive control of dynamic balance, illustrating that the margin of stability be regulated by simple changes in movement. The role of adaptive control of dynamic balance in locomotor learning was stressed by showing that handrail holding dramatically reduces learning outcomes. Finally, our current understanding of asymmetric strategies to control the margins of stability suggests that gait asymmetries in patient populations may enhance adaptive control of dynamic balance. In conclusion, this thesis describes adaptive control of dynamic balance in human walking as both an active and passive mechanism, utilizing temporal and spatial strategies to remain stable, while finding an efficient locomotor pattern.

## SAMENVATTING

Mensen zijn een van de weinige zoogdieren die op twee benen lopen, en hoewel dat weinig energie kost, is het ook instabiel. Om overeind te blijven tijdens het lopen passen mensen constant hun stappen aan op de altijd veranderende omgeving, bijvoorbeeld wanneer ze over een onregelmatige ondergrond lopen. Mensen moeten de controle van hun dynamische balans dus adapteren (aanpassen) om overeind te blijven tijdens lopen. Het belang van adaptieve controle van dynamische balans tijdens lopen wordt pas duidelijk na natuurlijke veroudering, ziekte of blessure. Mensen hebben dan moeite om hun balans te controleren en als gevolg worden ze minder mobiel en hebben ze een grotere kans op vallen. Om looptrainingen en de gangrevalidatie te verbeteren, moeten we eerst beter begrijpen hoe adaptieve controle van dynamische balans werkt. Daarom is het doel van dit proefschrift om adaptieve controle van de dynamische balans tijdens lopen bij mensen beter te begrijpen. In alle studies in dit proefschrift werd de loopband gebruikt om lopen te bestuderen, waarbij verandering in de bandsnelheid werd gebruikt om het lopen bij proefpersonen te verstoren (**hoofdstuk 1**).

Allereerst, in **hoofdstuk 2**, onderzochten we de adaptieve neuromusculaire reactie op veranderingen in loopsnelheid bij gezonde proefpersonen. Om bewegingen te genereren, moeten we momenten over onze gewichten produceren. Om deze momenten actief te kunnen produceren, hebben we spiercontracties nodig. Deze spiercontracties kunnen we meten middels draad of oppervlakte-elektromyografie. Aangezien de adaptatie van loopsnelheid een van de meest fundamentele adaptaties in het menselijk bewegen is, zou een hypothetische synergistische structuur van spiercoördinatie deze adaptiviteit moeten reflecteren. Gebaseerd op oppervlakte-elektromyografie, vonden we dat een synergistische structuur mogelijk de snelheidsafhankelijke modulatie van spieractiviteit tijdens het lopen controleert, resulterend in adaptieve neuromusculaire controle tijdens het lopen.

In **hoofdstuk 3** bestudeerden we de adaptatie van mediolaterale dynamische balanscontrole tijdens het lopen met asymmetrische bandsnelheden op een split-belt loopband, i.e. split-belt lopen. Anders dan een normale loopband heeft een split-belt loopband twee parallelle banden, waarvan de snelheden onafhankelijk gereguleerd kunnen worden. Wanneer mensen voor het eerst split-belt lopen, laten ze een asymmetrisch looppatroon zien, dat ze aanpassen naar een meer symmetrisch patroon binnen een paar minuten. In hoofdstuk 3 lieten we zien dat gezonde proefpersonen hun mediolaterale balans aanpassen aan split-belt lopen middels een complementair mechanisme van voetplaatsing (de ‘margin of stability’) en voetafwikkeling.

Om controle van de ‘margin of stability’ beter te begrijpen, bestudeerden we bilaterale temporele controle als een regulerend mechanisme van de dynamische balans bij gezonde proefpersonen in **hoofdstuk 4**. Hier vonden we dat regulering van bilaterale standtijden resulteert in een simpele, doch effectieve manier van adaptieve controle van de dynamische balans, door exploitatie van de passieve eigenschappen van het menselijk lichaam. De mogelijke exploitatie van dit mechanisme komt naar voren in pathologisch lopen. Bijvoorbeeld, mensen met een beroerte laten vaak een kortere stand tijd zien aan de aangedane zijde dan aan de niet-

aangedane zijde, waardoor ze hun aangedane been ontlasten en de 'margin of stability' aan die kant vergroten.

Vervolgens draaiden we de rollen om in **hoofdstuk 5** en onderzochten we wat er met locomotorisch leren gebeurt, wanneer het balanscontrole probleem is verminderd door externe ondersteuning tijdens het lopen. Daar vonden we dat wanneer gezonde proefpersonen leuning mochten vasthouden tijdens het split-belt lopen, hun looppatroon minder werd verstoord tijdens de vroege adaptatie en ze daardoor hun looppatroon niet hoefden aan te passen aan de asymmetrische bandsnelheden. Als gevolg daarvan leerden de proefpersonen niet het nieuwe patroon, herkenbaar aan de verminderde na-effecten. De bevindingen in dit hoofdstuk suggereren dat het controleren van de dynamische balans een belangrijk taakdoel is in menselijk lopen, en vormgeeft aan de adaptieve locomotorische controle en het leren. Hoewel balansondersteuning vaak gebruikt wordt in de klinische praktijk tijdens het lopen, moeten klinici er rekening mee houden dat balansondersteuning het leren kan verminderen.

De kennis uit de vorige hoofdstukken werd toegepast om balansproblemen bij mensen met een beroerte beter te begrijpen in **hoofdstuk 6**. Hier lieten we zien dat wanneer mensen met hemiparese als gevolg van een beroerte een voorwaartse stap maken met hun aangedane been om hun voorwaartse 'margin of stability' te vergroten in reactie op een uitglij-verstoring op de loopband, ze tegelijkertijd hun zijwaartse 'margin of stability' verkleinen. Dit suggereert dat wanneer mensen met een beroerte hun voorwaartse balans verbeteren, ze hun zijwaartse balans kunnen verliezen in reactie op een verstoring van het lopen. Toekomstig onderzoek moet uitwijzen of deze koppeling tussen de voorwaartse en zijwaartse 'margin of stability' verminderd kan worden tijdens de revalidatie, bijvoorbeeld door middel van verstoringstraining. Daarmee zou mogelijk de adaptieve controle van de dynamische balans bij mensen met een beroerte verbeterd kunnen worden.

**Hoofdstuk 7** biedt een algemene discussie van de bevindingen in dit proefschrift. Dit proefschrift heeft ons kennis gegeven over adaptieve neuromusculaire controle, adaptieve controle van de dynamische balans, exploitatie van de passieve eigenschappen van het menselijk lichaam, de effecten van externe ondersteuning op locomotorisch leren en reactieve balanscontrole bij mensen met een beroerte. Door het bestuderen van de 'margin of stability' kregen we inzicht in adaptieve controle van de dynamische balans bij gezonde en pathologische populaties, waarbij we lieten zien dat de 'margin of stability' relatief simpel gereguleerd kan worden. De rol van adaptieve controle van de dynamische balans in locomotorisch leren werd duidelijk toen bleek dat het vasthouden van handrails het locomotorisch leren sterk verminderd. Als laatste lieten we zien dat asymmetrische strategieën om de 'margins of stability' te controleren, de adaptieve controle van de dynamische balans tijdens pathologisch lopen zou kunnen verbeteren. In conclusie, beschreef dit proefschrift de adaptieve controle van de dynamische balans tijdens het lopen bij mensen als zowel een actief als passief mechanisme, dat gebruik maakt van temporale en spatiale strategieën om stabiel te blijven, terwijl een efficiënt looppatroon gevonden wordt.

## DANKWOORD

Dit is het dan, grofweg acht jaar aan opleiding en onderzoek in Groningen gebundeld in een proefschrift. Toen ik in 2011 naar Groningen verhuisde had ik nooit durven dromen dat ik zou gaan promoveren. Dat die droom er kwam én vervolgens ook nog is uitgekomen heb ik aan een aantal mensen te danken. Personen die er ieder op hun eigen manier voor mij waren en die ik stuk voor stuk dank verschuldigd ben.

**Dr. Rob den Otter**, jij was degene die het aandurfde om met mij het Master-PhD traject in te gaan. Ik ben je erg dankbaar dat je het destijds in mij zag zitten en heb daarna onwaarschijnlijk veel van je geleerd. Je hebt me altijd vrijgelaten om te leren en te proberen, waarna ik met marker en whiteboard mijn gedachtecronkels aan je uit probeerde te leggen. Dat het tijdens die afspraken vaker ging over de kasseienstroken van Paris-Roubaix, de prestaties van onze wielerveden of het wisselende presteren van PSV en FC Twente zorgde voor een ongedwongen en plezierige samenwerking. Bedankt voor je begeleiding en betrokkenheid tijdens mijn Bachelor, Master en PhD.

**Dr. Claudine Lamoth**, ik herinner me nog goed het moment waarop je voor het eerst bij de Master-PhD aanvraag betrokken raakte. Het stuk kwam terug met veel scherpe opmerkingen en vragen, met als gevolg dat het er een stuk professioneler uit kwam. Iets wat in de jaren daarna nog veel vaker zou gebeuren. Ik heb, naast je inhoudelijke kennis, daarom ook veel geleerd van je kritische blik op onderzoek en de zaken daar omheen. Je had altijd interesse in de persoon en ik waardeerde onze gesprekken over wandelen, vakanties en toekomstplannen. Bedankt voor de fijne en persoonlijke samenwerking in de afgelopen jaren.

**Prof. Dr. Lucas van der Woude**, jij beschrijft ‘de wetenschapper’ vaak als een olifant. Volgens mij bedoel je daarmee een wijs, doch onverzettelijk, maar ook zeer sociaal dier. De afgelopen jaren heb ik gebruik mogen maken van jouw wijsheid en heb je me geleerd af en toe onverzettelijk te zijn. Als ik op (achteraf) belangrijke momenten op z’n Twents zei: ‘Dat komt wel goed Luc’, reageerde jij vaak met: ‘Maar daar moet jij nu wel voor zorgen’, waarmee je de boel even op scherp zette. Boven alles ben je sociaal, en vroeg je vaker hoe het met mij dan met het onderzoek ging, dat heb ik altijd erg gewaardeerd. Bedankt voor je sturing en persoonlijke benadering in dit project.

Beste **Rob, Claudine en Luc**. Ik kan me geen beter team voorstellen dan jullie drie. Jullie vulden elkaar perfect aan en stonden altijd voor mij klaar. De persoon stond bij jullie altijd voorop en daar ben ik jullie zeer dankbaar voor.

Dear members of the assessment committee, **Prof. Dr. Ilse Jonkers, Prof. Dr. Sander Geurts** and **Prof. Dr. Tibor Hortobágyi**. Thank you for reserving your valuable time and energy to assess my thesis. Members of the opposition, **Prof. Dr. Jaap van Dieën, Dr. James Finley** and **Dr. Alessio Murgia**, thank you as well for taking time to read my thesis and attend the ceremony.

**Dr. James Finley**, there was roughly a year between our first meeting in Dublin and the final draft of our manuscript. In that year, you taught me all about mechanics of human walking, statistical models, but also how to organize and direct a lab. The meetings with you were always pleasant, and I am proud of what we achieved in such a short period. From day one, you and your students made me feel part of the lab and at home in Los Angeles. Thank you for having me in your lab, your valuable lessons and of course the trail-running advice.

**Dr. At Hof**, je kwam aanvankelijk langs om eens te luisteren naar onze ideeën over lopen, om vervolgens nauw betrokken te raken bij de studie. Het was zeer inspirerend om je te horen praten over de biomechanica van het menselijk lopen en 'jouw' margin of stability. Ik heb veel van je geleerd en je kennis heeft het project naar een hoger niveau getild. Bedankt voor je bijdrage, de adviezen en de prettige samenwerking.

Het onderzoek in dit proefschrift was onmogelijk geweest zonder een belangrijke groep mensen. Dank aan alle proefpersonen voor jullie tijd en toewijding tijdens de metingen.

A big thank you to all the people in Los Angeles who participated in our experiment. Thank you for your time, your selfless attitude and the inspiring conversations.

Alle studenten Bewegingswetenschappen die hebben geholpen tijdens de metingen. **Eva, Fieke, Julia, Klaartje, Myrna, Pim, Renske, Reslin, Rik, Sander, Sandra, Sanne** en **Saskia**, bedankt voor de leuke samenwerking en jullie harde werk tijdens de projecten.

**Edwin Mazier**, samen begonnen we aan ons Bachelor afstudeerproject over spiersynergieën en later aan het split-belt onderzoek bij Bewegingswetenschappen. Bedankt voor de gezellige uren in het lab en natuurlijk op de racefiets. Het wordt snel weer eens tijd voor een appeltaartritje.

Collega's bij Bewegingswetenschappen, bedankt voor alle kopjes koffie, frisbeetooien, Noorderzonavonden, Noorderrondritten en vooral gezelligheid. Ik heb altijd met veel plezier met jullie gewerkt. **Wim, Emyl, Dirk, Anniek** en **Henry**, bedankt voor alle hulp bij de experimenten en apparatuur, vooral wanneer de tijdsdruk hoog was. **Wia, Dea** en **Netty** bedankt voor jullie ondersteuning, maar vooral jullie eeuwige geduld, zonder jullie was dit werk onmogelijk geweest. Alle (oud-)promovendi, bedankt voor de koffiepauzes, borrels, congresbezoeken, PhD-uitjes en ga zo maar door. In het bijzonder de roomies van 212: **Tulika, Sigrid** en **Sylvana**, bedankt voor het samen plunderen van de snoepautomaat, de maandagochtendgesprekken, de soms wat vroege vrijmibo's in de Bulls en de vrijdagmiddaghitjes. **Danique**, de laatste jaren heb ik met veel plezier samen met jou gewerkt aan het split-belt onderzoek. Bedankt voor alle input, de mooie plannen en je hulp bij de totstandkoming van dit proefschrift. **Marika**, bij jou kan ik altijd terecht voor advies, zowel omtrent werk als privé en soms onder het genot van 'some of Poland's best distilled beverages'. Bedankt voor de fijne samenwerking, de vriendschap en natuurlijk alle GIFjes.

Dear members of the Locomotor Control Lab: **Aram, Chang, Natalia, Pouria** and **Sungwoo**. Thank you for having me in the lab, for sharing your love of food with me and for making me



feel at home in such a short period. Your positive impact on my stay in Los Angeles is larger than you can imagine. I hope to catch up with each and every one of you again in the future. **Chang** and **Sungwoo**, an extra thank you to the two of you for letting me be a part of your project. Chang, thank you for your help with the graphic design of the model in the discussion of this thesis.

Chocotough: **Bas, Fedde, Jaron, Maarten, Roeland** en **Vincent**, wat begon als kelderklasse roeiploeg is inmiddels een hechte vriendengroep. Jullie stonden altijd voor me klaar en luisterden geduldig als ik op donderdagavond weer eens wat te lang door ouwehoerde over mijn onderzoek. Bedankt voor alle ploma's, feestjes, vakanties maar vooral voor jullie vriendschap. Betere vrienden kan ik me niet wensen.

Alle **Huismeesters**, bedankt voor het klussen, de maandagavonden, de koffie, de biertjes, het Drentschen, de weekenden en ga zo maar door. **Harm** in het bijzonder bedankt, we doen snel weer een bakkie.

De jongens uit Enschede, **Bryan, Daniël, Dylan, Jaron, Jorik, Marouan** en **Vincent**. Iedereen is z'n eigen weg gegaan, maar het voelt het met jullie altijd weer als vanouds. Of het nou Eindhoven, Utrecht, Groningen, Enschede, Amman of elders op de wereld (Marouan) was, bedankt dat jullie er altijd zijn geweest. We zien elkaar sowieso weer op kerstmiddag en hopelijk nog wat vaker.

Mijn paranimfen, **Jaron** en **Vincent**. Het zal de lezer niet zijn ontgaan, jullie horen zowel bij de jongens uit Enschede als bij Chocotough. Sinds we elkaar kennen van 'Zuid' zijn we samen naar Groningen gegaan om Bewegingswetenschappen te studeren. Inmiddels doen we alle drie iets anders, maar de vriendschap is er alleen maar sterker op geworden. Samen naar Groningen, samen 'Met het Mes op Tafel', samen op de tribune in de Veste, samen op de racefiets, en dus ook samen deze promotie. Jullie waren onmisbaar tijdens mijn PhD, dank jullie wel.

Lieve **Joost** en **Anneke**, jullie waren er natuurlijk altijd al bij. Lieve zus, **Anneke**, vroeger noemde je me al 'de professor' als ik weer iets te bijdehand was, achteraf zat je toch aardig in de buurt. Bedankt dat je mijn grote zus bent en dat ik met alles bij je terecht kan. Bratha, **Joost**, de laatste jaren hebben we elkaar gevonden in onze gezamenlijke liefde voor fietsen. Bedankt voor je eindeloze interesse en de vele Leffes om het leven te bespreken. **Carola** en **Tom**, bedankt dat jullie er voor mijn grote broer en zus zijn, maar ook vooral voor jullie betrokkenheid en gezelligheid. Lieve Veentjes, **Ineke, Wilhelm, Tijl** en **Mila**, bedankt voor jullie warmte en dat ik me zo snel thuis kon voelen in Hattem.

Lieve **Jaap** en **Dianne**, papa en mama, bedankt voor jullie zorg en liefde. Lieve papa, onbewust heb je een interesse voor lopen bij me aangewakkerd. Misschien komt dat wel doordat we vroeger met je mee mochten naar de oefenzaal in Het Roessingh of door de middagen als proefpersoon bij RRD. Dat we nu in hetzelfde veld werken is uniek en vooral erg leuk. Bedankt voor de zorg, de adviezen, samen op de fiets naar opa of Kees, de wedstrijden bij FC Twente, samen boodschappen doen op zaterdag en dat je er altijd voor me bent. Lieve mama, er is geen

lievere en zorgzamere moeder dan jij. Ik heb het gevoel dat ik altijd en met alles bij je terecht kan. Jij hebt me altijd gestimuleerd om te gaan voor wat goed voelde, de rest zou dan wel volgen, je had zeker gelijk. Tegenwoordig gaan we vaak samen naar het museum, een voorstelling of festival en dat blijven we hopelijk altijd doen. Bedankt voor alle goede zorgen.

Lieve **Sterre**, jij bent de belangrijkste persoon in mijn leven. Een dankwoord op papier is nooit lang genoeg om te beschrijven hoeveel je voor mij betekent. Jij maakt elk deel van mijn leven mooier en leuker. Ik bewonder je om wie je bent en hoe je altijd weer enthousiast kan worden voor nieuwe dingen. Ik heb nog geen flauw idee wat de toekomst ons samen gaat brengen. De plannen zijn groots en zolang het met jou is weet ik dat het altijd goed zal komen. Bedankt dat je in mijn leven bent, ik hou van jou.

Tom.

## ABOUT THE AUTHOR

Tom Buurke was born on September 8<sup>th</sup>, 1993 in Enschede, the Netherlands. He obtained his high school (VWO) diploma at Het Stedelijk Lyceum Zuid in Enschede in 2011, during which he did a research project on barefoot running at Roessingh Research and Development in Enschede. As part of his bilingual education in high school, he completed the International Baccalaureate English Language A2 higher level program in 2011. Tom then moved to Groningen to study Human Movement Sciences at the University of Groningen, where he obtained his bachelor's degree in 2014 and his master's degree in 2016. During his studies, Tom was a teaching assistant at Human Movement Sciences in several bachelor courses. Additionally, he was a member and chair of multiple committees at rowing club AGSR Gyas in Groningen. During his master's Tom was awarded a fully funded three-year PhD position at the University Medical Center Groningen and the University of Groningen, as part of the prestigious Master-PhD program.



During his PhD, Tom worked on multiple research studies at the Center for Human Movement Sciences in Groningen. For his research, Tom was awarded the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands award in 2016. Furthermore, he won an award for best oral presentation at the Dutch Society for Human Movement Sciences (VVBN) PhD-Day in 2017. In 2018, he received a travel award by the De Luca Foundation to attend the World Congress of Biomechanics in Dublin. In 2019, Tom won the Center for Human Movement Sciences Researcher of the Year award and a Top Publication Award from research institute SHARE for his publication on the effects of handrail holding on locomotor learning. During his PhD, Tom supervised multiple bachelor and master students during their graduation projects. Furthermore, he was a PhD representative, member of the advisory board and member of the research committee at the Center for Human Movement Sciences. In 2018, he was part of the organization for the annual conference of the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands and Tom is currently a member of the society's social media committee. In 2019 Tom was a visiting scholar at the University of Southern California in Los Angeles, CA, for which he received grants by Stichting Beatrixoord Noord-Nederland, the Groninger University Fund and Stichting De Cock-Hadders.

Currently, Tom is a post-doc researcher and lecturer at the Center for Human Movement Sciences of the University Medical Center Groningen and looking to continue his career in academia.

## SCIENTIFIC OUTPUT

### Journal publications

Vervoort D, den Otter R, **Buurke TJW**, Vuillerme N, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (in press) Do gait and muscle activation patterns change at middle-age during split-belt adaptation? *Journal of Biomechanics*.

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, Hof AL, den Otter R. (2019) Bilateral temporal control determines mediolateral margins of stability in symmetric and asymmetric human walking. *Scientific Reports*. 9: 12494 DOI: 10.1038/s41598-019-49033-z

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter R. (2019) Handrail holding during treadmill walking reduces locomotor learning in able-bodied persons. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 27(9): 1753-1759 DOI: 10.1109/TNSRE.2019.2935242

Vervoort D, Den Otter AR, **Buurke TJW**, Vuillerme N, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (2019) Effects of aging and task prioritization on split-belt gait adaptation. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 11:10 DOI: 10.3389/fnagi.2019.00010

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, Vervoort D, van der Woude LHV, den Otter R. (2018) Adaptive control of dynamic balance in human gait on a split-belt treadmill. *Journal of Experimental Biology*. 221(13): jeb.174896 DOI: 10.1242/jeb.174896

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter AR. (2016) Synergistic structure in the speed dependent modulation of muscle activity in human walking. *PLoS ONE*. 11(4): e0152784 DOI: 10.1371/journal.pone.0152784

### Submitted for publication

**Buurke TJW**, Liu C, Park S, den Otter R, Finley JM. Maintaining sagittal plane balance compromises frontal plane balance during reactive stepping in people post-stroke.

### Other publications

**Buurke TJW**. (2018) Multiple balance mechanisms to keep you upright while split-belt walking. *International Society for Posture and Gait Research Blog*. ISSN: 2561-4703

## CONFERENCE CONTRIBUTIONS

### Oral presentations

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter AR. (2018) Handrail holding on a split-belt treadmill reduces locomotor learning. 6<sup>th</sup> International RehabMove State-of-the-Art Congress, Groningen, NL

**Buurke TJW**, den Otter AR. (2018) The margins of stability during motor learning. Part of the mini-symposium “Gait analysis and adaptations; using new ideas to tackle old problems in gait classification and training” at the Dutch Congress of Rehabilitation Medicine, Groningen, NL

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, Vervoort D, van der Woude LHV, den Otter AR. (2018) Changes in mediolateral dynamic balance control during imposed gait asymmetry on a split-belt treadmill are strongly dependent on passive dynamics in gait. 8<sup>th</sup> World Congress of Biomechanics, Dublin, IE

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, Vervoort D, van der Woude LHV, den Otter AR. (2018) Long-term retention of split-belt walking reveals differences in spatiotemporal gait adaptation and dynamic balance control. 22<sup>nd</sup> International Society of Electrophysiology and Kinesiology Congress, Dublin, IE

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter AR. (2017) Long-term retention of single exposure to split-belt walking: preliminary results. Dutch Society for Human Movement Sciences (VVBN) PhD-Day, Rotterdam, NL

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter AR. (2017) Relation between dynamic balance control and metabolic cost during split belt adaptation. International Society for Posture and Gait Research World Congress, Fort Lauderdale, FL

**Buurke TJW**, den Otter AR, Lamoth CJC, van der Woude LHV. (2016) Energieverbruik en dynamische balans controle tijdens split-belt adaptatie. 6<sup>th</sup> annual conference of the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands, Enschede, NL

### Poster presentations

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter R. (2019) The effects of handrail holding on split-belt adaptation. XXVII Congress of the International Society of Biomechanics & 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Calgary, CA

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter R. (2019) Locomotor savings of split-belt gait adaptation indicate long-term adaptation processes. International Society for Posture and Gait Research World Congress, Edinburgh, SCT

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter R. (2019) After-effect magnitude predicts retention in split-belt gait adaptation. International Society for Posture and Gait Research World Congress, Edinburgh, SCT

den Otter R, **Buurke TJW**, Lamoth CJC. (2019) Singular Spectrum Analysis for the detection of adaptation rates in split-belt data. International Society for Posture and Gait Research World Congress, Edinburgh, SCT

Vervoort D, den Otter AR, **Buurke TJW**, Vuillerme N, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (2019) Changes in muscle activation patterns underlie split-belt gait adaptation. International Society for Posture and Gait Research World Congress, Edinburgh, SCT

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter AR. (2018) Effects of handrail holding on split-belt adaptation. Dutch Society for Human Movement Sciences (VVBN) PhD-Day, Amsterdam, NL

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, van der Woude LHV, den Otter AR. (2018) Handrail holding affects split-belt gait adaptation. 8<sup>th</sup> annual conference of the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands, Groningen, NL

Vervoort D, den Otter AR, **Buurke TJW**, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (2018) Gait adaptation differs from explicit perception of split-belt speed differences. 8<sup>th</sup> annual conference of the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands, Groningen, NL

Vervoort D, den Otter AR, **Buurke TJW**, Vuillerme N, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (2018) Gait adaptation differs from explicit perception of split-belt speed differences in young and middle-aged adults. 15<sup>th</sup> European Workshop on Ecological Psychology, Toulouse, Fr

Vervoort D, den Otter AR, **Buurke TJW**, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (2017) Muscle synergies during split-belt walking in young and middle-aged adults. Dutch Society for Human Movement Sciences (VVBN) PhD-Day, Rotterdam, NL

**Buurke TJW**, Lamoth CJC, Vervoort D, van der Woude LHV, den Otter AR. (2017) Three week retention of a single split-belt adaptation session: Effects on gait symmetry and balance control. 7<sup>th</sup> annual conference of the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands, Leuven, BE

Vervoort D, den Otter AR, **Buurke TJW**, Hortobágyi T, Lamoth CJC. (2017) Muscle synergies during split-belt walking in young and middle-aged adults. 7<sup>th</sup> annual conference of the Society for Movement Analysis Laboratories in the Low Lands, Leuven, BE