

A Trip to Remember

Citation for published version (APA):

McCrum, C. (2019). *A Trip to Remember: Assessing and Improving Walking Stability in Older Adults*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Gildeprint Drukkerijen. <https://doi.org/10.26481/dis.20191219cm>

Document status and date:

Published: 01/01/2019

DOI:

[10.26481/dis.20191219cm](https://doi.org/10.26481/dis.20191219cm)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

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

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

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

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

7.1: English Summary

This dissertation aimed to further our understanding of how old age might affect gait stability and adaptability, with the perspective that this knowledge could improve the effectiveness and specificity of exercise-based falls reduction interventions for both healthy and clinical populations at an increased risk of falls.

Part One of this dissertation reviewed the incidence, causes and consequences of falls among older adults. Humans are living longer than ever before and the percentage of older people in our populations will continue to rise for the foreseeable future. As a result, age-related health risks and disease are becoming a larger and larger burden on our older populations and our societies as a whole. Falls and their consequences are one of the most common risks to health, mobility and quality of life among older adults and the number of injuries and hospital admissions because of falls have been increasing in recent years. In particular, mechanical perturbations such as trips and slips during walking present a significant risk for falls in older adults. Therefore, **Part One** concluded that examination of the stability and adaptation of gait during such mechanical perturbations may help improve the effectiveness of interventions aimed at reducing falls, by identifying specific mechanisms of gait adaptation that can be exploited.

Part Two of this dissertation examined gait variability and stability during walking tasks targeting predominantly predictive control during unperturbed and perturbed gait. **Chapter 2.1** assessed the gait of young and older healthy adults, as well as adults with bilateral vestibulopathy, during multiple walking speeds, to elucidate the potential role of the vestibular system in unperturbed gait control. The findings demonstrated that walking speed significantly affects multiple gait parameters and their variability in all the participant groups, and potentially influences the vestibular contribution to locomotor control. **Chapter 2.2** used a sustained resistance perturbation to explore the predictive adaptation of gait to control stability in young, middle-aged and older adults, to investigate how such control might change across the adult lifespan. Following a certain number of repeated perturbations, the older adults could achieve similar stability values to younger adults, but the rate of adaptation to a sustained perturbation was found to be slower in the older adults.

Part Three of this dissertation examined methodological aspects of reactive gait stability assessment using perturbations and how we might improve our experimental procedures to better understand how people control and adapt their gait on exposure to unexpected perturbations. **Chapter 3.1** reviewed previous studies and their methodologies for examining reactive gait stability during unexpected perturbations in older adults and made suggestions regarding what methodological aspects required further investigation and regarding considerations for future research. In response to the outcomes of the literature review, **Chapter 3.2** confirmed that walking speed significantly affects the stability of the body configuration during walking and presented a method to reduce interindividual differences in gait stability prior to experiencing a perturbation, allowing a theoretically more accurate examination of responses to gait perturbations and any subsequent adaptations in gait.

Part Four of this dissertation subsequently applied the improved methodology to examine how young humans adapt, retain and transfer adaptations in gait stability to controlled gait perturbations (**Chapter 4.1**) and whether or not the processes of adaptation and transfer are altered in older adults (**Chapter 4.2**). Furthermore, **Chapter 4.2** investigated whether or not having young and older participants walk with equivalent gait stability using the methods presented in **Chapter 3.2** would lead to different conclusions than those previously reported in the literature regarding age-related differences in gait stability. The results demonstrated that the relationship between walking speed and stability varies from person to person in both young (**Chapter 4.1**) and older adults (**Chapter 4.2**) and that older adults could demonstrate interlimb transfer of adaptations to sudden perturbations (**Chapter 4.2**) when younger adults did not (**Chapter 4.1**).

Part Five reviewed the literature to examine the characteristics of perturbation-based balance training studies conducted with older adults that assessed prospective falls incidence and discussed several considerations for applying perturbation-based balance training in clinical settings. The results indicated that perturbation-based balance training is a feasible approach to reduce falls risk in healthy and clinical populations and the most feasible methods appear to be treadmill-based systems and therapist-applied perturbations. While more research into specific perturbation characteristics is necessary, using perturbations of multiple types, directions and magnitudes seems advisable based on the reviewed literature.

Part Six of this dissertation discussed the results of all parts of this dissertation within the broader context of exercise-based falls prevention and a number of conclusions were drawn. While improving general muscle strength is important for older adults for several other health and function-related reasons, the gait stability of older adults, and therefore falls risk, is not necessarily drastically improved with enhancements in muscle strength through resistance training. Task specific assessment and training of gait and balance is required in order to gain insight into, and positively influence, the risk of falls in older adults. Despite the strong evidence for these points, future research must continue to explore how to optimise the effectiveness of perturbation-based balance training in terms of retention and generalisability to daily life balance challenges. Other task specific skills such as gait robustness, gait or foot placement adaptability and safe landing techniques may be complimentary to perturbation-based balance training and result in an overall greater effect on falls incidence and fall-related injuries. Several challenges in improving the fall risk of people with bilateral vestibulopathy and other neurological disorders exist related to their residual function and capacity to respond to physical exercise interventions. To this end, the effects of ever-improving technical therapeutic interventions, as well as task specific exercise-based training on balance and gait in these patients should continue to be investigated.

7.2: Nederlandse Samenvatting

In het kader van valpreventie is kennis omtrent de invloed van leeftijd op de stabiliteit en het aanpassingsvermogen tijdens het lopen essentieel. Middels dit proefschrift is getracht de kennis hieromtrent te vergroten met als doel de effectiviteit en de specificiteit van valpreventieve oefenprogramma's te optimaliseren voor personen met een verhoogd valrisico.

In **deel een** van dit proefschrift worden de incidentie, alsmede de oorzaken en consequenties van vallen bij oudere patiënten beschreven. Vanwege de vergrijzing verandert de leeftijdsamenstelling van de bevolking en neemt het aandeel van oudere leeftijdsgroepen de komende jaren aanzienlijk toe. Als gevolg hiervan neemt ook het aantal leeftijdsgebonden gezondheidsrisico's en ziekten toe. De negatieve impact van deze ziektebeelden op de kwaliteit van leven, alsmede op de maatschappij is groot. Vallen, en de gevolgen hiervan, hebben grote, negatieve consequenties ten aanzien van algemene gezondheid, mobiliteit en de kwaliteit van leven voor oudere personen. Het aantal verwondingen en ziekenhuisopnames ten gevolge van een val zijn dan ook aanzienlijk toegenomen de afgelopen jaren. Valincidenten bij ouderen worden voornamelijk veroorzaakt door mechanische verstoringen tijdens het lopen (bijvoorbeeld struikelen en uitglijden). Derhalve wordt in **deel een** geconcludeerd dat onderzoek naar de stabiliteit en vermogen tot aanpassing van het looppatroon tijdens dergelijke verstoringen van groot belang is om de effectiviteit van valpreventieve interventies te verbeteren. Een beter begrip van de specifieke mechanismen achter loopaanpassingen is hiervoor een vereiste.

In **deel twee** van dit proefschrift wordt de loopvariabiliteit en loopstabiliteit tijdens verschillende looptaken, met en zonder externe verstoringen, onderzocht. In **hoofdstuk 2.1** is het looppatroon bij verschillende loopsnelheden van gezonde volwassenen (jong en oud), alsmede van volwassenen met bilaterale vestibulopathie onderzocht, om zo de mogelijke rol van het vestibulaire systeem bij een onverstoord looppatroon te verduidelijken. De resultaten tonen aan dat loopsnelheid een grote invloed heeft op de verschillende loopparameters en hun variabiliteit in alle deelnemende groepen, en dat loopsnelheid mogelijk ook de bijdrage van het vestibulaire systeem aan de motorische controle beïnvloedt. **Hoofdstuk 2.2** beschrijft het vermogen om het looppatroon aan te passen als reactie op een constante weerstand tijdens de zwaafase bij jonge, middelbare en oudere personen. Na een reeks herhalingen tonen alle drie de leeftijdsgroepen een vergelijkbare loopstabiliteit, echter ouderen passen zich aanzienlijk langzamer aan na een verstoring dan jongeren.

In **deel drie** van dit proefschrift worden de methodologische aspecten van het onderzoek naar reactieve loopstabiliteit middels het gebruik van verstoringen onderzocht. Dit hoofdstuk bediscussieert op welke manier we onze experimenten kunnen optimaliseren om meer inzicht te krijgen in de controle en de aanpassingen van het looppatroon bij volwassenen. In **hoofdstuk 3.1** wordt een overzicht gepresenteerd van eerder uitgevoerde studies en methoden om de reactieve loopstabiliteit van ouderen ten gevolge van onverwachte verstoringen te besturen. Op basis hiervan zijn aanknopingspunten voor verder onderzoek geformuleerd. In navolging van deze literatuurstudie wordt in **hoofdstuk 3.2** aangetoond dat loopsnelheid de dynamische

stabiliteit beïnvloedt. Daarnaast wordt een methode gepresenteerd die de inter-individuele verschillen in loopstabiliteit vermindert en daardoor het onderzoek naar verstoringen in het gangbeeld meer accuraat maakt.

In **deel vier** van dit proefschrift wordt gebruik gemaakt van de eerder beschreven, geoptimaliseerde methodologie om te onderzoeken hoe jongeren hun loopstabiliteit controleren en aanpassen (**hoofdstuk 4.1**). Ook is gekeken of dit verschilt van ouderen (**hoofdstuk 4.2**). Daarnaast wordt in **hoofdstuk 4.2** onderzocht of de reeds in literatuur gerapporteerde resultaten met betrekking tot leeftijdgerelateerde verschillen in loopstabiliteit kunnen worden bevestigd met behulp van de methode die wordt gepresenteerd in **hoofdstuk 3.2**. De resultaten tonen een intra-individuele variabiliteit aan van de relatie tussen loopsnelheid en loopstabiliteit voor zowel jongere (**hoofdstuk 4.1**), evenals oudere volwassenen (**hoofdstuk 4.2**); Bovendien wordt aangetoond dat alleen bij oudere volwassenen een transfer plaatsvindt van de aanpassingen van het getrainde been naar het ongetrainde been.

De literatuurstudie in **deel vijf** geeft meer inzicht in de kenmerken van op verstoring gebaseerde balanstraining bij ouderen met een verhoogd valrisico; Daarnaast wordt in **deel vijf** ook de toepassing hiervan voor de kliniek bediscussieerd. Resultaten tonen aan dat balanstraining met behulp van verstoringen een geschikte manier is om het valrisico voor gezonde en klinische populaties te verlagen (waarbij training op een loopband danwel met een therapeut het meest geschikt lijkt). Hoewel verder onderzoek nodig is naar specifieke verstoringenkenmerken, toont de huidige literatuur aan dat een diversiteit van mechanische verstoringen (in multiple richtingen, van verschillende grootten en verschillende soorten) het best gebruikt kan worden.

In **deel zes** van dit proefschrift worden alle resultaten van dit proefschrift binnen de bredere context van valpreventieve training beschreven en worden een aantal conclusies getrokken. Hoewel het verbeteren van de spiercapaciteit een positieve invloed heeft op de lichaamsfuncties en de algehele gezondheid, verbetert dit niet noodzakelijkerwijs de loopstabiliteit van ouderen en verlaagt dit dus ook niet het valrisico. Taakgerichte analyse en taakgerichte loop- en balanstraining is nodig om meer inzicht te krijgen in het valrisico bij ouderen alsmede dit op een positieve manier te beïnvloeden. Ondanks dit overtuigende bewijs is verder onderzoek nodig om de effectiviteit van verstoring-gebaseerde evenwichtstraining te optimaliseren bij het handhaven en overbrengen van leereffecten naar de dagelijkse uitdagingen in de loopbalans. Andere parameters, zoals neuro-motorische bewegingscontrole, een gecontroleerde voetplaatsing en veilige val- en landingstechnieken moeten hand in hand gaan met op verstoring gebaseerde balanstraining om het positief effect op valrisico of valgerelateerd letsel te vergroten. Vooral het onderzoek ten aanzien van het verlagen van het valrisico van personen met bilaterale vestibulopathie en andere neurologische ziekten kent verschillende uitdagingen door bijvoorbeeld een verminderd aanpassingsvermogen en een verminderde fysieke belastbaarheid. Daartoe moeten de effecten van steeds betere technische en therapeutische opties en taakspecifieke trainingsprogramma's voor lopen en balans verder worden onderzocht in deze patiëntengroep.