

# VU Research Portal

## Step by step

Hak, L.

2014

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Hak, L. (2014). *Step by step: Stepping strategies to prevent falling while walking*.

### **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 ?

### **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.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# ***NEDERLANDSE SAMENVATTING***

**Stap voor Stap;**

**Stapstrategieën om vallen tijdens het lopen te voorkomen**

## Inleiding

Personen met een beperking van de loopvaardigheid, bijvoorbeeld veroorzaakt door een onderbeenamputatie of een cerebrovasculair accident (CVA) hebben een verhoogd risico op vallen tijdens het lopen, in vergelijking tot valide personen. Dit leidt naast fysieke problemen, vaak ook tot emotionele problemen zoals het ontwikkelen van angst voor vallen, wat een grote belemmering kan zijn in het dagelijks leven. Om deze reden is het van belang om meer kennis te ontwikkelen over mogelijke oorzaken van het verhoogd risico op vallen bij mensen met een beperking van de loopvaardigheid en vooral over mogelijke methodes om dit risico op vallen te verkleinen.

Het algemene doel van het in dit proefschrift gepresenteerde onderzoek was om te onderzoeken welke strategieën, in termen van aanpassingen in het looppatroon, gebruikt kunnen worden door personen met een beperking van de loopvaardigheid om het risico op vallen te verkleinen; en in hoeverre deze personen dergelijke strategieën al gebruiken. De specifieke vraagstellingen die in dit proefschrift beantwoord zijn waren:

1. Welke stapstrategieën gebruiken valide proefpersonen om manipulaties van de stabiliteit en het adaptatievermogen te weerstaan tijdens het lopen?
2. Hoe beïnvloeden manipulaties van stapfrequentie, staplengte en loopsnelheid de 'short-term Lyapunov exponent' en de medio-laterale en achterwaartse stabiliteitsmarge?
3. Welke strategieën gebruiken personen met een onderbeenamputatie en personen na een CVA om manipulaties van stabiliteit en het adaptatievermogen van het lopen te weerstaan, en in hoeverre verschillen deze strategieën van de strategieën die worden gebruikt door valide personen?
4. Op welke manier draagt de asymmetrie in staplengte bij personen met een onderbeenamputatie bij aan de regulatie van de achterwaartse stabiliteitsmarge?

In de eerste hoofdstukken zijn experimenten beschreven die zijn uitgevoerd bij valide proefpersonen. De resultaten van deze experimenten hebben ons geholpen om te begrijpen welke strategieën door mensen zonder een beperking van de loopvaardigheid gebruikt (kunnen) worden om manipulaties van de stabiliteit (hoofdstuk 2) en het adaptatievermogen (hoofdstuk 3) tijdens het lopen te weerstaan. Daarnaast hebben we in hoofdstuk 4 onderzocht hoe het gebruik van deze strategieën de 'short-term Lyapunov exponent' ( $\lambda_s$ ) en de stabiliteitsmarges in medio-laterale en achterwaartse richting (medio-lateral and backward margins of stability (ML and BW MoS)) beïnvloedt.  $\lambda_s$  is een maat die beschrijft hoe snel een persoon terugkeert naar de oorspronkelijke of een nieuwe evenwichtssituatie na een verstoring (zie figuur 1.2), terwijl de MoS kwantificeren hoe groot een verstoring kan zijn voordat er daadwerkelijk balansverlies optreedt. De MoS worden berekend als het verschil tussen het geëxtrapoleerde lichaamszwaartepunt (extrapolated centre of mass (XCoM)) en het steunvlak

(base of support (BoS))(zie figuur 1.4). In hoofdstuk 5 en 6 zijn studies beschreven waarin het doel was om te onderzoeken in hoeverre personen met een beperking van de loopvaardigheid, veroorzaakt door een amputatie van het onderbeen (hoofdstuk 5) of een CVA (hoofdstuk 6) in staat zijn om manipulaties van de stabiliteit en het adaptatievermogen te weerstaan en in hoeverre zij daarbij gebruik maken van dezelfde strategieën als valide personen. Tot slot is in hoofdstuk 7 beschreven wat de mogelijke rol is van een asymmetrie in staplengte bij personen die lopen met een onderbeenprothese in de regulatie van de BW MoS.

## **Stapstrategieën gebruikt door valide personen om stabiliteit en adaptatievermogen te reguleren.**

Op basis van de studies gepresenteerd in hoofdstukken 2, 3 en 4, kan een antwoord gegeven worden op de eerste twee onderzoeksvragen van dit proefschrift:

1. Welke stapstrategieën gebruiken valide proefpersonen om manipulaties van de stabiliteit en het adaptatievermogen te weerstaan tijdens het lopen?
2. Hoe beïnvloeden manipulaties van stapfrequentie, staplengte en loopsnelheid  $\lambda_s$  en de ML en BW MoS?

In hoofdstuk 2 en 3 zijn een balansverstoring (hoofdstuk 2) en een adaptatietaak (hoofdstuk 3) gebruikt om te achterhalen hoe proefpersonen hun looppatroon aanpassen, en hoe de stabiliteit van het looppatroon verandert in reactie op deze manipulaties. De stabiliteit van het lopen is in deze hoofdstukken gekwantificeerd door  $\lambda_s$  (hoofdstuk 2) en de ML en BW MoS (hoofdstuk 2 en 3). Om en beter begrip te krijgen over de mogelijke relatie tussen de stapstrategieën gevonden in hoofdstuk 2 en 3 en de stabiliteit van het lopen hebben we in hoofdstuk 4 stapfrequentie, staplengte en loopsnelheid gemanipuleerd, om het effect van deze aanpassingen op zowel  $\lambda_s$  als de ML en BW MoS te onderzoeken.

### ***Respons op de stabiliteitsmanipulatie***

In hoofdstuk 2 is een continue zijwaartse translatie van het loopoppervlak gebruikt, volgens een pseudo-random patroon, om de stabiliteit van het lopen bij valide personen te verstoren (zie figuur 2.1). In reactie op deze verstoring gingen proefpersonen lopen met kortere, snellere en bredere stappen, waarbij de loopsnelheid constant bleef. Daarnaast werden de proefpersonen lokaal minder stabiel ( $\lambda_s$  werd groter) en vergrootten zij hun ML en BW MoS. Volgens de onderliggende theoretische modellen kan deze toename van de ML en BW MoS verklaard worden als een gevolg van de aanpassingen in de stapparameters. Op basis van de resultaten van deze studie was het niet mogelijk om te concluderen in hoeverre de toename in  $\lambda_s$  puur een gevolg was van de verstoring, of in hoeverre de aanpassingen van het looppatroon deze stijging gedeeltelijk teniet heeft gedaan.

### ***Respons op de adaptatietaak***

In hoofdstuk 3 is een adaptatietaak gebruikt om te achterhalen welke strategieën valide personen gebruiken om de balans te handhaven tijdens het lopen. Tijdens het uitvoeren van deze adaptatietaak waren snelle en accurate adaptaties van het looppatroon noodzakelijk om virtuele targets die op het scherm verschenen te raken (zie figuur 3.1). Om een potentieel conflict tussen de regulatie van de stabiliteit van het lopen en de regulatie van het adaptatievermogen tijdens het lopen vast te stellen, werd de adaptatietaak zowel met als zonder de verstoring uit hoofdstuk 2 aangeboden. Tijdens het uitvoeren van de adaptatietaak, zowel met als zonder verstoring, gingen proefpersonen langzamer lopen als gevolg van een kleinere staplengte bij gelijkblijvende stapfrequentie. Daarnaast gingen zij enigszins breder lopen. Opnieuw kunnen deze aanpassingen in het looppatroon verklaard worden als mogelijke strategie om de ML en BW MoS te behouden tijdens het lopen. Wanneer we de aanpassingen van het looppatroon in reactie op de adaptatietaak (hoofdstuk 3) vergelijken met de aanpassingen in reactie op de platformverstoring (hoofdstuk 2), valt het op dat in reactie op de adaptatietaak een toename in stapfrequentie achterwege blijft. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat een toename in stapfrequentie de tijd om te reageren op de virtuele targets verkort, wat mogelijk een nadelig effect heeft op de accuraatheid van de uitvoering van de adaptatietaak.

### ***Respons op manipulaties van het looppatroon***

Om te onderzoeken in hoeverre de aanpassingen van het looppatroon in reactie op de platformverstoring en de adaptatietaak een mogelijke oorzaak zijn van de veranderingen in  $\lambda_s$  en de ML en BW MoS, hebben we in hoofdstuk 4 stapfrequentie, staplengte en loopsnelheid systematisch gemanipuleerd. De lokaal dynamische stabiliteit, uitgedrukt in  $\lambda_s$  veranderde niet als gevolg van de opgelegde manipulaties. De ML MoS namen toe bij een toename in stapfrequentie, terwijl de BW MoS toenam bij een toename in loopsnelheid en bij een afname in staplengte. Deze resultaten waren in lijn met onze verwachtingen gebaseerd op de zogenaamde ‘inverted pendulum’ modellen. Ondanks het feit dat deze modellen het lopen sterk simplificeren, blijken deze modellen geschikt om de MoS tijdens het lopen te voorspellen.

### ***Conclusies***

De aanpassingen in het looppatroon in respons op de platformverstoring hebben het doel om de ML and BW MoS te vergroten, wellicht om te compenseren voor de afname in de lokaal dynamische stabiliteit als gevolg van de verstoring. In reactie op de adaptatietaak, zowel met als zonder platformverstoring, waren de valide proefpersonen in staat om de snelle en accurate adaptaties uit te voeren terwijl zowel de ML als de BW MoS werden behouden.

De resultaten van de studies met valide proefpersonen bieden een referentie wat betreft de strategieën die gebruikt kunnen worden in uitdagende loopsituaties om de stabiliteit te behouden of mogelijk te vergroten. In hoeverre personen met een beperking van de loopvaardigheid in staat zijn om dezelfde strategieën te gebruiken als valide personen om verstoringen van stabiliteit en het adaptatievermogen te weerstaan, en in hoeverre verschillen in het looppatroon tussen deze groepen tijdens onverstoord lopen kunnen worden toegeschreven aan de regulatie van de MoS is onderzocht in de daaropvolgende studies.

### **Stabiliteit en adaptatievermogen tijdens het lopen bij personen met een beperking van de loopvaardigheid**

In hoofdstuk 5 en 6 hebben we een antwoord gegeven op de derde onderzoeksvraag van dit proefschrift:

3. Welke strategieën gebruiken personen met een onderbeen amputatie en personen na een CVA om manipulaties van stabiliteit en het adaptatievermogen van het lopen te weerstaan, en in hoeverre verschillen deze strategieën van de strategieën die worden gebruikt door valide personen?

In deze studies hebben we eerst onderzocht in hoeverre er verschillen bestaan in het looppatroon tijdens het onverstoorde lopen tussen personen met een onderbeenamputatie en personen na een CVA aan de ene kant en valide personen aan de andere kant. Vervolgens hebben we de respons van beide patiëntengroepen op de stabiliteitsmanipulatie en de adaptatietoets vergeleken met de respons van de valide personen. Door het vergelijken van de verschillen in deze respons met de verschillen die we hebben gevonden tijdens het onverstoorde lopen tussen patiënten en valide personen, is het mogelijk om te achterhalen in hoeverre deze verschillen in het looppatroon gezien kunnen worden als een strategie om stabiliteit van het lopen te handhaven.

#### ***Verschillen in het onverstoord lopen***

Zowel de personen met een onderbeenamputatie als personen na een CVA liepen langzamer dan valide personen. Voor de amputatiegroep was dit vooral te wijten aan een lagere stapfrequentie. Staplengte verschilde niet tussen deze twee groepen. De lagere loopsnelheid resulteerde daarom ook in een kleinere BW MoS voor de amputatiegroep, wat in overeenstemming is met de resultaten beschreven in hoofdstuk 4.

In tegenstelling tot de amputatiegroep, liepen de proefpersonen na CVA met name langzamer door een kortere staplengte. Omdat een kortere staplengte een positief effect heeft op de BW

MoS, veroorzaakte de lagere loopsnelheid enkel een tendens in de richting van een kleinere BW MoS voor de CVA-groep in vergelijking met de valide groep.

Zowel de personen met een onderbeenamputatie als de personen na CVA liepen met een grotere stapbreedte in vergelijking tot de valide groep. Voor de amputatiegroep resulteerde dit in een grotere ML MoS dan bij de valide personen, ondanks de lagere stapfrequentie. Deze grotere ML MoS is mogelijk een compensatie voor de lagere lokaal dynamische stabiliteit (de hogere  $\lambda_s$ ) die gevonden is in de amputatiegroep. Voor de personen na CVA was er geen verschil in de ML MoS vergeleken met de valide personen, ook al liepen deze personen met een grote stapbreedte en een relatief hoge stapfrequentie. De reden dat deze aanpassingen in het looppatroon niet hebben geleid tot een toename in ML MoS was de grote zijwaartse beweging van de pelvis bij de personen na CVA, wat resulteerde in een grotere amplitude van het geëxtrapoleerde lichaamszwaartepunt (extrapolated centre of mass (XCoM)).

### ***Aanpassingen van het looppatroon als respons op de balansverstoring en de adaptatietaak***

De aanpassingen van het looppatroon in reactie op de balansverstoring en de adaptatietaak verschilden niet tussen de personen met een onderbeenamputatie en de valide personen. Daarnaast waren deze aanpassingen in overeenstemming met de aanpassingen van valide personen gevonden in hoofdstuk 2 en 3. Voor beide groepen resulteerden de aanpassingen in het looppatroon in een toename van de ML en BW MoS in reactie op de platformverstoring en het behoud van de ML en BW MoS in reactie op de adaptatietaak. Ook de nauwkeurigheid waarmee de targets werden geraakt met de knieën verschilde niet tussen beide groepen.

In tegenstelling tot de personen met een onderbeenamputatie, verschilde de respons van de personen na CVA op de manipulaties wel van de respons van de valide personen. Personen na CVA verlaagden hun loopsnelheid, die al laag was tijdens het onverstoord lopen, nog verder in reactie op beide manipulaties. Deze afname in loopsnelheid zou een negatief effect kunnen hebben op de BW MoS. Echter, tijdens de platformverstoring ging de afname in loopsnelheid gepaard met een relatief grote afname in staplengte, waardoor een afname in BW MoS als gevolg van deze verstoring achterwege bleef. Tijdens het uitvoeren van de adaptatietaak, was deze afname in staplengte minder groot, waardoor de BW MoS tijdens deze taak kleiner was voor de CVA-groep in vergelijking met de valide personen. Daarnaast was ook de nauwkeurigheid waarmee de adaptatietaak werd uitgevoerd slechter in de CVA-groep dan in de valide groep.

### ***Conclusies***

Op basis van de resultaten gepresenteerd in hoofdstuk 5 en 6 kunnen we concluderen dat de personen met een onderbeenamputatie die hebben deelgenomen aan de studie, de mogelijkheid hebben om, net als valide personen, een strategie te selecteren die de ML en de BW MoS vergroten tijdens balansverstoringen, en de ML en BW MoS behouden tijdens het uitvoeren van

een taak waar snelle en accurate aanpassingen van het looppatroon noodzakelijk zijn. Omdat de proefpersonen met een amputatie in staat waren om onder andere de BW MoS te vergroten tijdens het lopen met de balansverstoring, lijkt de kleinere BW MoS voor deze groep tijdens onverstoord lopen geen gevolg van een gebrek aan regelmogelijkheden van deze BW MoS. Mogelijk is deze kleinere BW MoS een neveneffect van andere beperkingen van het lopen met een prothese. Wellicht selecteren mensen met een onderbeenprothese een lagere loopsnelheid ter compensatie van de hogere energetische kosten van het lopen met een prothese, ook al gaat dit ten koste van de grootte van de BW MoS.

In tegenstelling tot de personen met een onderbeenamputatie hadden de personen na CVA wel moeilijkheden met de regulatie van de BW MoS, vooral tijdens het uitvoeren van de adaptatietaak. Daarnaast was de nauwkeurigheid waarmee CVA-groep de adaptatietaak uitvoerde slechter in vergelijking met de valide groep. Dit kan er op wijzen dat in het dagelijks leven, waarbij aanpassingen van het looppatroon bijvoorbeeld noodzakelijk zijn om obstakels te ontwijken, personen na een CVA, een groter risico op vallen hebben door zowel een grotere kans op het raken van de obstakels als een grotere kans op het verliezen van de balans in achterwaartse richting. De resultaten van deze studie zijn een aanwijzing dat het trainen van het aanpassen van stapfrequentie en lengte terwijl loopsnelheid constant wordt gehouden bij personen na een CVA mogelijk een positief effect heeft op de capaciteit van deze personen om BW MoS te reguleren tijdens het lopen. In dit geval kunnen dergelijke trainingen personen na een CVA helpen om een looppatroon te selecteren dat hen robuuster maakt tegen verstoring die de potentie hebben om een val achterover te veroorzaken, zoals het uitglijden door een gladde ondergrond.

### **De rol van een asymmetrie in staplengte in de regulatie van de 'backward margins of stability' bij personen met onderbeenamputatie**

In de voorafgaande paragrafen van deze samenvatting werd met betrekking tot de aanpassingen van het looppatroon geen onderscheid gemaakt tussen het aangedane en het niet-aangedane been. Echter, één van de karakteristieken van bijvoorbeeld personen met een onderbeenamputatie, is een asymmetrisch looppatroon. Zo is de stap met het niet-aangedane been, waarbij het niet-aangedane been leidend was en dus met het prothesebeen wordt afgezet, vaak korter in vergelijking met de andere stap. Een dergelijke asymmetrie wordt vaak gezien als een nadelig gevolg van de beperking, maar een kortere stap met het niet-aangedane been kan mogelijk ook voordelen hebben met betrekking tot de BW MoS. Op basis van de resultaten gepresenteerd in hoofdstuk 7 hebben we een antwoord geformuleerd op de vierde onderzoeksvraag van dit proefschrift:



4. Op welke manier draagt de asymmetrie in staplengte bij personen met een onderbeenamputatie bij aan de regulatie van de BW MoS?

Uit de resultaten van deze observationele studie, bleek dat een kortere stap met het niet-aangedane been en nog specifiekere een kortere voorwaartse voetplaatsing (de afstand tussen de voorste voet en het lichaamszwaartepunt bij hielcontact), resulteerde in een grotere BW MoS op hielcontact in vergelijking met de stap waarin het prothesebeen leidend is. Daarnaast vonden we slechts een beperkte toename in voorwaartse snelheid van het lichaamszwaartepunt tijdens de daaropvolgende transitie van de niet-aangedane stap naar de prothese stap. De grotere BW MoS op hielcontact van de stap van het niet-aangedane been is daarom mogelijk een compensatie om er voor te zorgen dat de BW MoS ook aan het einde van deze transitie nog groot genoeg is om een verlies van balans in achterwaartse richting te voorkomen en de voorwaartse loopbeweging te handhaven. Op basis van de resultaten van deze studie is het niet mogelijk om te concluderen of en in hoeverre de regulatie van de BW MoS de primaire reden is van de asymmetrie in staplengte, maar deze observatie maakt in ieder geval duidelijk dat een asymmetrie niet enkel een nadelig gevolg van het lopen met een prothese hoeft te zijn. Het nastreven van een symmetrisch looppatroon tijdens de revalidatie zou daarom niet per sé een doel moeten zijn.

### **Algemene conclusies**

Het onderzoek gepresenteerd in dit proefschrift draagt bij aan een beter begrip van de manier waarop aanpassingen in het looppatroon kunnen bijdragen aan het behoud of zelfs het verhogen van de stabiliteit tijdens het lopen in uitdagende omstandigheden. We hebben aangetoond dat sommige verschillen in het onverstoorde lopen tussen personen met een beperking van de loopvaardigheid en valide personen, zoals een grotere stapbreedte of een asymmetrie in staplengte bij personen met een amputatie, functioneel kunnen zijn voor de regulatie van de MoS. Andere verschillen in het looppatroon, zoals een lagere loopsnelheid bij zowel personen met een amputatie als personen na CVA lijken op dit vlak juist niet functioneel te zijn.

Met name personen na CVA blijken moeite te hebben met het selecteren van een strategie die resulteert in het behoud van met name de BW MoS, onder uitdagende loopomstandigheden. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen waarom personen na CVA een dergelijk strategie niet gebruiken. Daarnaast kan het van belang zijn om te onderzoeken in hoeverre specifieke trainingen gericht op het aanpassen van stapfrequentie en staplengte kunnen helpen om de stabiliteit tijdens het lopen in het dagelijks leven te behouden om op deze manier de kans op vallen te reduceren.