



Ouderen in evenwicht

Diagnose van evenwichtsproblemen met behulp van verstoringen en systeemidentificatie

Evenwichtsproblemen komen veel voor bij ouderen; een op de vijf mensen ouder dan 65 jaar heeft wel eens last van zijn evenwicht. Er zijn verschillende systemen betrokken bij het bewaren van het evenwicht. Hierdoor is het een uitdaging om de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen vast te stellen. Dit artikel beschrijft welke huidige testen worden gebruikt voor het beoordelen van het evenwicht en waar deze testen tekort schieten. Vervolgens wordt een nieuwe methode, dat wil zeggen systeemidentificatie in combinatie met verstoringen, geïntroduceerd voor het beter vaststellen van de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen.

Jantsje Pasma, Carel Meskers, Andrea Maier, Alfred Schouten en Herman van der Kooij

Introductie

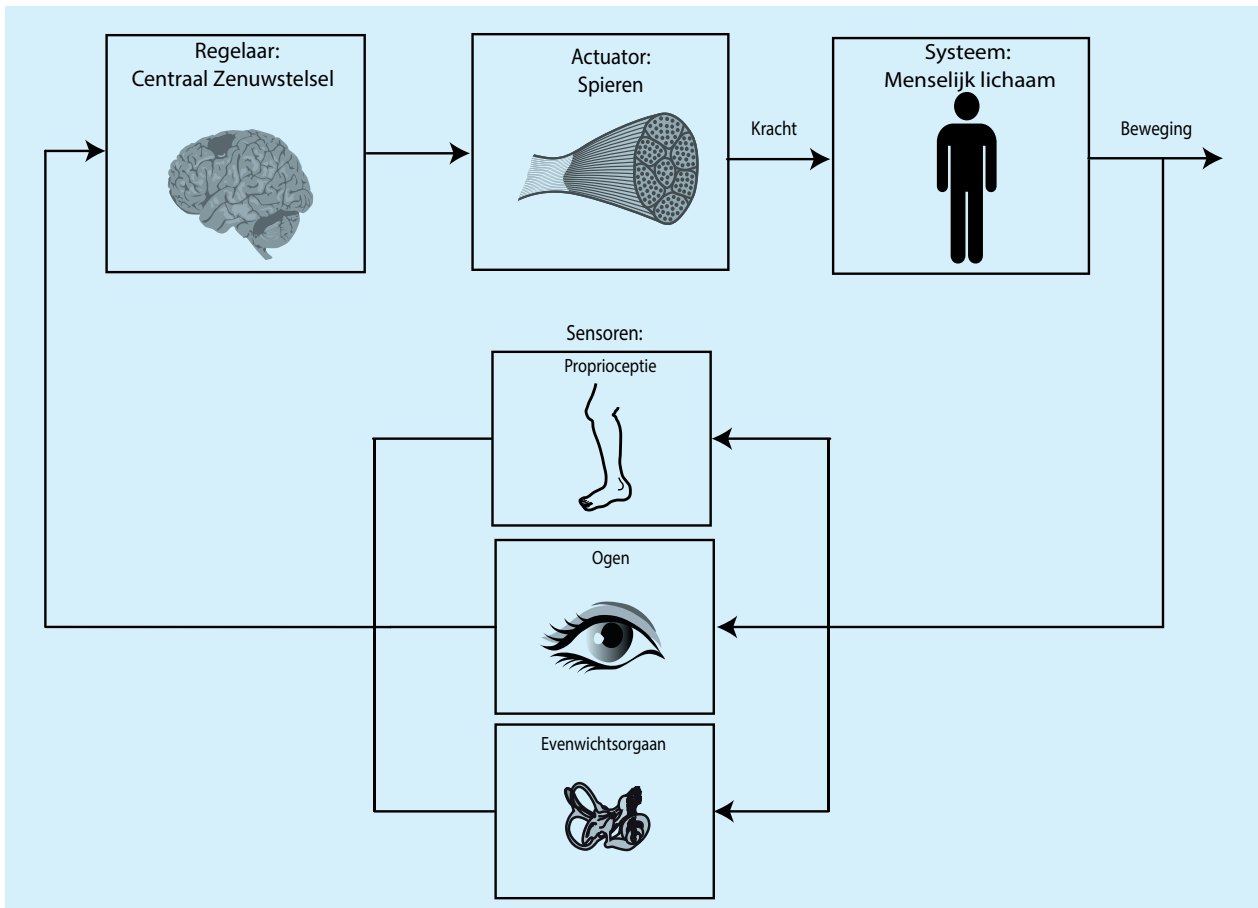
Een op de drie mensen ouder dan 65 jaar valt minstens één keer per jaar (Jemal e.a., 2005). Een van de belangrijkste oorzaken van deze valpartijen zijn evenwichtsproblemen (Muir e.a., 2010). Deze komen voor bij een op de vijf ouderen (Lin & Bhattacharyya, 2012). Evenwichtsproblemen kunnen ontstaan door ziektes, zoals een beroerte of de ziekte van Parkinson, maar ook door het ouder worden op zich en medicatiegebruik (Konrad e.a., 1999; Sturnieks e.a., 2008). Om evenwichtsproblemen gericht te kunnen behandelen – en daarmee valpartijen te voorkomen – is het belangrijk om te weten wat precies de onderliggende oorzaak is. Deze problemen kunnen echter verschillende onderliggende oorzaken hebben, doordat er meerdere systemen samenwerken bij het bewaren van het evenwicht, zoals de spieren, de sensoren en het zenuwstelsel (Horak e.a., 1989).

De onderliggende systemen zijn sterk geïntegreerd in een zogenoemd gesloten regelsysteem (afbeelding 1) bij het bewaren van het evenwicht, dat wil zeggen het lichaam in een rechtopstaande positie houden. De positie van het lichaam ten opzichte van de omgeving wordt continu waargenomen door drie sensorische systemen, namelijk de ogen, proprioceptie (de sensoren in de spieren) en het evenwichtsorgaan. Deze informatie wordt verwerkt in het zenuwstelsel tot stuursignalen richting de spieren. De spieren trekken samen en genereren op deze manier corrigerende krachten om het lichaam in de gewenste positie te houden. Met andere woorden, de positie van het systeem (het lichaam) wordt continu geregeld door de regelaar (het zenuwstelsel) en actuator (de spieren)

met behulp van informatie afkomstig van de sensoren. Dit betekent dat we te maken hebben met een gesloten regelsysteem, waarin oorzaak en gevolg niet te onderscheiden zijn (Engelhart e.a., 2014; Pasma e.a., 2014a). Het is dus onduidelijk of een verandering van kracht wordt veroorzaakt door verandering in positie of andersom. Hierdoor is het een uitdaging om de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen vast te stellen.

Om evenwichtsproblemen vast te stellen worden in de kliniek evenwichtstesten gebruikt. Hiermee worden de capaciteit en kwaliteit van het evenwicht gemeten, onder andere hoe lang de patiënt in een bepaalde houding kan blijven staan en hoeveel de patiënt beweegt tijdens deze taak. Deze evenwichtstesten houden echter geen rekening met de gesloten lus en geven daarom geen informatie over de onderliggende systemen. Met behulp van verstoringen van buitenaf en systeemidentificatie – een methode uit de regeltechniek – kan het gesloten regelsysteem worden ‘opengeknippt’. Door te meten hoe iemand op deze verstoringen reageert, kunnen oorzaak en gevolg uit elkaar worden gehaald en kan de evenwichtsregulatie worden bepaald (van der Kooij e.a., 2005).

In dit artikel laten we zien hoe systeemidentificatie kan worden gebruikt voor het meten van de onderliggende systemen. Hiervoor is eerst in kaart gebracht wat de huidige methode is voor het diagnosticeren en kwantificeren van evenwichtsproblemen. Vervolgens wordt systeemidentificatie toegelicht en een nieuw apparaat geïntroduceerd waarmee meerdere verstoringen tegelijk kunnen



Afbeelding 1. Schematische weergave van de regulatie van het evenwicht. De positie van het systeem (menselijk lichaam) wordt waargenomen door de sensoren die hun informatie sturen naar de regelaar (het centraal zenuwstelsel). Hier wordt de informatie gecombineerd en een stuursignaal gestuurd naar de actuator (de spieren). De actuator genereert een corrigerende kracht, waardoor de positie van het systeem verandert.

worden aangebracht, de Balance test Room (BalRoom, afbeelding 2). Op deze manier kunnen meerdere onderliggende systemen tegelijk worden geïdentificeerd. Dit maakt het mogelijk om de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen vast te stellen en daarmee doelgerichte behandelingen te geven om valpartijen te voorkomen.

Diagnosticeren van evenwichtsproblemen

Vragen naar het probleem

In de kliniek worden verschillende evenwichtstesten gebruikt voor het bepalen van evenwichtsproblemen. De arts maakt onder andere gebruik van vragen, zoals 'Heeft u wel eens last van evenwichtsproblemen?' en 'Bent u in het afgelopen jaar gevallen?'. Dit zijn subjectieve vragen die kunnen worden beïnvloed door de gemoedstoestand en/of het geheugen van de patiënt (Bean e.a., 2011), waardoor de antwoorden op deze vragen minder betrouwbaar zijn.

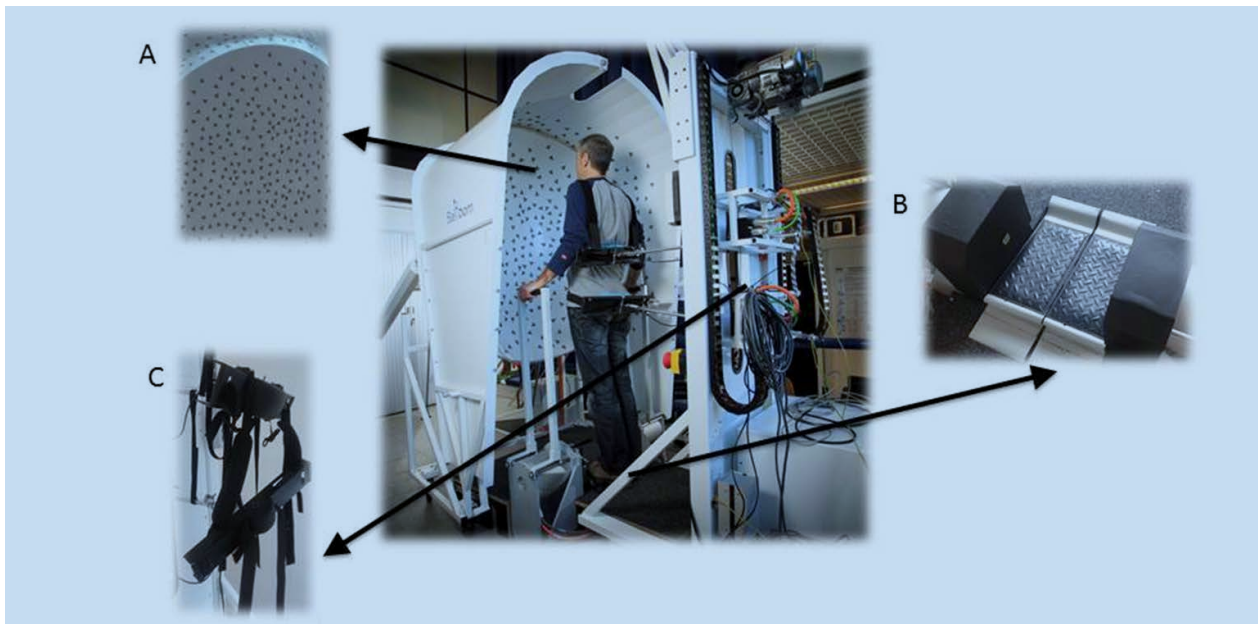
Evenwichtstesten

Een objectieve maat voor het meten van het evenwicht zijn evenwichtstesten, waarbij wordt gekeken of de patiënt

in verschillende posities kan blijven staan. De patiënt wordt bijvoorbeeld gevraagd zijn evenwicht te bewaren in drie verschillende standen gedurende 10 seconden: (1) met de voeten naast elkaar, (2) met de voeten half naast elkaar en (3) met de voeten achter elkaar (Guralnik e.a., 1994). Hiermee wordt de evenwichtscapaciteit gemeten. Bij deze testen heb je te maken met een plafondeffect; zowel bij iemand die goed functioneert als bij iemand met een subtiele achteruitgang wordt een maximale score gemeten. Subtiele evenwichtsproblemen kunnen dus niet worden gedetecteerd.

Posturografie

Een andere manier om het evenwicht te onderzoeken is met behulp van posturografie (Visser e.a., 2008). Hierbij wordt de beweging van het lichaam (zwaartepuntbeweging) en/of drukpuntbeweging onder de voeten gemeten met behulp van, respectievelijk, bewegingssensoren en krachtenplaten. De mate van beweging tijdens het staan zegt iets over de evenwichtskwaliteit. Deze methode kan subtiele evenwichtsveranderingen detecteren, zoals een toename van beweging tijdens staan bij veroudering (Pasma e.a., 2014b).



Afbeelding 2. De Balance test Room (BalRoom) combineert visuele verstoringen door middel van een roterend scherm (A), proprioceptieve verstoringen door middel van rotaties van de ondergrond (B) en mechanische verstoringen door middel van duwen en trekken op heup- en schouder niveau (C).

Het is moeilijk om de testresultaten van posturografie te interpreteren. Een afname van de hoeveelheid beweging kan zowel een goede als een slechte evenwichtsregulatie betekenen. Bijvoorbeeld wanneer iemand erg stijf staat, betekent dit dat iemand weinig heen en weer beweegt. Deze persoon zal bij een verstoring van buitenaf echter snel uit evenwicht raken. In dit geval betekent weinig beweging van het lichaam dus geen goede evenwichtsregulatie.

Relatie met onderliggende systemen

Onderzoek laat zien dat de huidige evenwichtstesten gerelateerd zijn aan een aantal onderliggende systemen, zoals de spieren en het zenuwstelsel (Bijlsma e.a., 2013; Pasma e.a., 2014c; Stijntjes e.a., 2014). Wanneer er een achteruitgang wordt gevonden in een van de onderliggende systemen, moet dit worden gezien als een waarschuwing voor de arts dat mogelijk ook het evenwicht is aangedaan. Echter, wanneer het evenwicht is aangedaan, weten we niet welk onderliggend systeem precies de oorzaak van deze achteruitgang is. Zowel een achteruitgang in de evenwichtscapaciteit als een afname in de evenwichtskwaliteit van het lichaam zeggen niets over de onderliggende oorzaak. Er is daarom vraag naar een evenwichtstest die de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen kan vaststellen.

Systeemidentificatie

De afgelopen jaren is onderzoek gedaan naar het toepassen van systeemidentificatie tijdens staan om de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen vast te stellen (Peterka, 2002; Pasma e.a., 2012). Hierbij wordt gebruik gemaakt van twee soorten verstoringen

van buitenaf, namelijk mechanische en sensorische verstoringen. Mechanische verstoringen beïnvloeden het gehele lichaam, terwijl sensorische verstoringen alleen invloed hebben op een specifiek sensorisch systeem (de ogen, de proprioceptie of het evenwichtsorgaan). In beide gevallen zijn de verstoringen onvoorspelbaar, waardoor de proefpersoon niet op de verstoring kan anticiperen. Door vervolgens de reactie van het lichaam te meten in de vorm van corrigerende krachten en beweging en deze te relateren aan de verstoringen, kan het onderliggende regelsysteem, de evenwichtsregulatie, worden beschreven.

Mechanische verstoringen

Mechanische verstoringen kunnen op verschillende manieren worden toegepast, bijvoorbeeld door middel van duwen en trekken (Engelhart e.a., 2016) of door een platform waarop iemand staat heen en weer te bewegen (van Asseldonk e.a., 2006). Met behulp van deze verstoringen kan de werking van de regelaar en actuator, het zenuwstelsel en de spieren, worden gemeten. Omdat mensen zowel rond hun enkel als heup bewegen bij het reguleren van het evenwicht, is het belangrijk om onderscheid te maken tussen de regeling van de enkel en de heup. Hiervoor moet er gebruik worden gemaakt van twee onafhankelijke verstoringen van het boven- en onderlichaam. Met behulp van mechanische verstoringen en systeemidentificatie is het mogelijk verschillen te detecteren tussen gezonde jongeren en ouderen die met de huidige evenwichtstesten niet kunnen worden vastgesteld; gezonde ouderen zijn stijver rond de heup vergeleken met jongeren (Engelhart e.a., 2016).

Sensorische verstoringen

Sensorische verstoringen worden gebruikt voor het identificeren van de bijdrage van de sensorische informatie afkomstig van de ogen, proprioceptie en evenwichtsorgaan. Sensorische verstoringen kunnen op verschillende manieren worden aangebracht; visuele informatie kan worden verstoord door het sluiten van de ogen of met rotaties van een scherm, proprioceptieve informatie met peesvibraties of rotaties van de ondergrond en informatie van het evenwichtsorgaan met elektrische stimulatie van het evenwichtsorgaan. Een sensorische verstoring verlaagt de betrouwbaarheid van de sensorische informatie. Het zenuwstelsel reageert hierop door deze informatie minder te gebruiken en compenseert hiervoor door meer te vertrouwen op de informatie afkomstig van de andere sensorische systemen. Hierdoor neemt de relatie tussen de verstoring en de beweging van het lichaam af, een maat voor de relatieve bijdrage van de sensorische informatie.

Onderzoek dat gebruik maakt van sensorische verstoringen laat zien dat mensen met een aangedaan sensorisch systeem minder gebruik maken van de informatie afkomstig van dit systeem, doordat deze informatie minder betrouwbaar is (Peterka, 2002), met andere woorden ze gebruiken de informatie van de andere systemen meer. Ook op oudere leeftijd maken we meer gebruik van bepaalde sensorische informatie, namelijk de proprioceptieve informatie (Pasma e.a., 2015). Door het verstoren van sensorische informatie met een toenemende grootte kan sensorische herweging worden gemeten (Peterka, 2002); een toenemende verstoring laat een afname zien in de relatie tussen de verstoring en de reactie van het lichaam. Dit betekent dat de verstoorte informatie minder wordt gebruikt, terwijl het gebruik van de informatie van de andere systemen toeneemt. Onderzoek laat zien dat er geen verschillen zijn in sensorische herweging tussen gezonde jongeren en ouderen (Pasma e.a., 2015).

Combinatie van sensorische en mechanische verstoringen

Met de BalRoom-methode (afbeelding 2) worden meerdere verstoringen tegelijk aangebracht; het duwen en trekken op heup- en schouder niveau wordt gecombineerd met rotaties van de ondergrond en van een scherm. Hiermee kunnen respectievelijk de regelaars van de enkel en heup en de relatieve bijdrage van proprioceptieve en visuele informatie worden gemeten. Er worden dus meerdere onderliggende systemen geïdentificeerd in slechts één experiment, wat tijdsbesparend en minder belastend is voor de patiënt.

De resultaten van de BalRoom zijn vergelijkbaar met eerder gevonden resultaten waarbij maar één verstoring tegelijk werd aangebracht. Dit toont aan

dat de BalRoom goed gebruikt kan worden voor het vaststellen van de onderliggende systemen. Onderzoek laat zien dat de reproduceerbaarheid en daardoor de betrouwbaarheid van deze methode gemiddeld is. Een verklaring hiervoor is dat er meerdere verstoringen tegelijk worden aangebracht, waardoor mensen hun evenwichtsstrategie kunnen aanpassen tijdens de test. Om een betrouwbare meting te verkrijgen, moet de test daarom een aantal keer worden herhaald binnen één experiment (Pasma e.a., 2016). Hierdoor wordt de totale meettijd groter, maar kan nog steeds binnen een half uur de evenwichtsregulatie worden gemeten.

Toekomstig onderzoek

Voordat systeemidentificatie gecombineerd met meerdere verstoringen kan worden geïntroduceerd in de kliniek, moet er nog een aantal stappen worden genomen. Als eerste moet de methode worden gevalideerd. Door de metingen uit te voeren bij verschillende populatiegroepen met specifiek aangedane systemen, kan worden onderzocht of de methode ook verandering in het verwachte systeem identificeert. Deze validatie is al wel uitgevoerd voor de proprioceptieve verstoring, maar nog niet voor meerdere verstoringen tegelijk.

Als tweede moet de sensitiviteit van de methode worden getest. Dit kan onder andere worden gedaan met behulp van medicatie. Van bepaalde medicatie weten we wat de onderliggende veranderingen zijn. Door de evenwichtsregulatie met en zonder medicatie te meten, kan worden onderzocht of deze methode gevoeliger is voor veranderingen in de evenwichtsregulatie dan huidige evenwichtstesten. Als laatste moet de methode in een klinische populatie worden getest, een heterogene populatie met allerlei ziekten en leeftijden. Hiermee kunnen we onderzoeken of de methode verschillende groepen met verschillende kenmerken kan onderscheiden. De resultaten van deze onderzoeken zullen de toegevoegde waarde van systeemidentificatie in combinatie met meerdere verstoringen laten zien in de kliniek.

Conclusie

Systeemidentificatie is een veelbelovende techniek voor het vaststellen van de onderliggende oorzaak van evenwichtsproblemen bij ouderen. Door meerdere verstoringen tegelijk aan te brengen met de BalRoom is het mogelijk om zowel de bijdrage van verschillende sensorische systemen als de regelaar van de enkel en heup te identificeren in slechts één experiment. Vervolgonderzoek zal laten zien of deze methode van toegevoegde waarde is in de kliniek, zodat er doelgerichtere behandelingen kunnen worden ontwikkeld en toegepast met als resultaat minder valpartijen bij ouderen.

Dit onderzoek is mede gefinancierd door Technologiestichting STW, die onderdeel is van de

Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) en deels gefinancierd wordt door het Ministerie van Economische Zaken (NeuroSIPE #10737 BalRoom) en door de Europese Unie (FP7-ICT project 610454 EMBalance).

Referenties

Asseldonk, E.H. van, Buurke, J.H., Bloem, B.R., Renzenbrink, G.J., Nene, A.V., Helm, F.C. van der, & Kooij, H. van der (2006). Disentangling the contribution of the paretic and non-paretic ankle to balance control in stroke patients. *Exp Neurol*, 201(2), 441–451.

Bean, J.F., Olveczky, D.D., Kiely, D.K., LaRose, S.I., & Jette, A.M. (2011). Performance-based versus patient-reported physical function: what are the underlying predictors? *Phys Ther*, 91(12), 1804–1811.

Bijlsma, A.Y., Pasma, J.H., Lambers, D., Stijntjes, M., Blauw, G.J., Meskers, C.G., & Maier, A.B. (2013). Muscle strength rather than muscle mass is associated with standing balance in elderly outpatients. *J Am Med Dir Assoc*, 14(7), 493–498.

Engelhart, D., Pasma, J.H., Schouten, A.C., Aarts, R.G.K.M., Meskers, C.G.M., Maier, A.B., & Kooij, H. van der (2016). Adaptation of multi-joint coordination during standing balance in healthy young and healthy old individuals. *J Neurophysiol*, 115(3), 1422–35.

Engelhart, D., Pasma, J.H., Schouten, A.C., Meskers, C.G., Maier, A.B., Mergner, T., & Kooij, H. van der (2014). Impaired standing balance in elderly: a new engineering method helps to unravel causes and effects. *J Am Med Dir Assoc*, 15(3), 227 e1–6.

Guralnik, J.M., Simonsick, E.M., Ferrucci, L., Glynn, R.J., Berkman, L.F., Blazer, D.G., Scherr, P.A., & Wallace, R.B. (1994). A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol*, 49(2), M85–94.

Horak, F.B., Shupert, C.L., & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging*, 10(6), 727–738.

Jemal, A., Ward, E., Hao, Y., & Thun, M. (2005). Trends in the leading causes of death in the United States, 1970–2002. *JAMA*, 294(10), 1255–1259.

Konrad, H.R., Girardi, M., & Helfert, R. (1999). Balance and aging. *Laryngoscope*, 109(9), 1454–1460.

Kooij, H. van der, Asseldonk, E. van, & Helm, F.C. van der (2005). Comparison of different methods to identify and quantify balance control. *J Neurosci Methods*, 145(1–2), 175–203.

Lin, H.W. & Bhattacharyya, N. (2012). Balance disorders in the elderly: Epidemiology and functional impact. *Laryngoscope*, 122(8), 1858–1861.

Muir, S.W., Berg, K., Chesworth, B., Klar, N., & Speechley, M. (2010). Quantifying the magnitude of risk for balance impairment on falls in community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Epidemiol*, 63(4), 389–406.

Pasma, J.H., Bijlsma, A.Y., Bij, M.D.W. van der, Arendzen, J.H., Meskers, C.G.M., & Maier, A.B. (2014b). Age-related differences in quality of standing balance using a composite score. *Gerontology*, 60(4), 306–14.

Pasma, J.H., Bijlsma, A.Y., Klip, J.M., Stijntjes, M., Blauw, G.J., Muller, M., Meskers, C.G.M., & Maier, A.B. (2014c). Blood pressure associates with standing balance in elderly outpatients. *PLoS ONE*, 9(9), e106808.

Pasma, J.H., Engelhart, D., Maier, A.B., Schouten, A.C., Kooij, H. van der, & Meskers, C.G.M. (2015). Changes in sensory reweighting of proprioceptive information during standing balance with age and disease. *Journal of Neurophysiology*, 114(6):3220–33.

Pasma, J.H., Engelhart, D., Schouten, A.C., Kooij, H. van der, Maier, A.B., & Meskers, C.G.M. (2014a). Impaired standing balance: The clinical need for closing the loop. *Neuroscience*, 267, 157–165.

Pasma, J.H., Engelhart, D., Maier, A.B., Aarts, R.G.K.M., Gerven, J.M.A. van, Arendzen, J.H., Schouten, A.C., Meskers, C.G.M., & Kooij, H. van der (2016). Reliability of system identification techniques to assess standing balance in healthy elderly. *PLoS ONE*, 11(3), e0151012.

Pasma, J.H., Boonstra, T.A., Campfens, S.F., Schouten, A.C., & Kooij, H. van der (2012). Sensory reweighting of proprioceptive information of the left and right leg during human balance control. *J Neurophysiol*, 108(4), 1138–1148.

Peterka, R.J. (2002). Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*, 88(3), 1097–1118.

Stijntjes, M., Pasma, J.H., Vuuren, M. van, Blauw, G.J., Meskers, C.G.M., & Maier, A.B. (2014). Low cognitive status is associated with a lower ability to maintain standing balance in elderly outpatients. *Gerontology*, 61(2), 124–130.

Sturnieks, D.L., St George, R., & Lord, S.R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*, 38(6), 467–478.

Visser, J.E., Carpenter, M.G., Kooij, H. van der, & Bloem, B.R. (2008). The clinical utility of posturography. *Clin Neurophysiol*, 119(11), 2424–2436.

Over de auteurs



Dr. ir. J.H. Pasma
Postdoc Biomechanical Engineering
Faculteit Werktuigbouwkunde,
Maritieme Techniek & Technische
Materiaalwetenschappen
Technische Universiteit Delft
j.h.pasma@tudelft.nl



Dr. C.G.M. Meskers
Revalidatiearts
Revalidatiegeneeskunde
VU Medisch Centrum, Amsterdam



Prof. dr. A.B. Maier
Full Professor of Ageing
Afdeling Bewegingswetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam



Dr. ir. A.C. Schouten
Universitair Hoofddocent Biomedische
werktuigbouwkunde
Instituut voor Biomedische
Technologie en Technische
Geneeskunde (MIRA)
Universiteit Twente, Enschede



Prof. dr. Ir. H. van der Kooij
Professor Biomechanics and
Rehabilitation Technology
Instituut voor Biomedische
Technologie en Technische
Geneeskunde (MIRA)
Universiteit Twente, Enschede