

Posturale controle

Een literatuurstudie naar de werking van het mechanisme
posturale controle bij mensen.



**Hazelzet J.D.M.
Herpt van M.W.E.
Kerckhoffs G.**

**Drs. J.G.A. Stevens
Dr. E.A.A. Rameckers**

**Hogeschool Zuyd, Faculteit Gezondheid en Techniek,
Opleiding Fysiotherapie**

Posturale controle

Een literatuurstudie naar de werking van het mechanisme posturale controle bij mensen.

Auteurs:

Hazelzet J.D.M.	2051249
Herpt van M.W.E.	2050411
Kerckhoffs G.	2060298

Begeleid door:

Drs. J.G.A. Stevens
Dr. E.A.A. Rameckers
Dr. L.M.L.A. van Etten

Mei 2009

**Hogeschool Zuyd, Faculteit Gezondheid en Techniek, Opleiding Fysiotherapie en
Stichting Revalidatie Limburg, Franciscusoord.**

“Even stilstaan...is vaak al een hele vooruitgang”

L. Brandt

© Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs.



Dankwoord

Graag willen wij onze dank betuigen aan alle mensen die ons geholpen hebben in het proces naar ons eindproduct. Mede dankzij hen is het ons gelukt na een jaar een scriptie aan u voor te leggen waar wij trots op zijn. Een extra woord van dank gaat uit naar onze familie en vrienden, die ons gesteund hebben gedurende het hele proces.

Deze scriptie had nooit tot stand kunnen komen zonder de prettige samenwerking met onze inhoudsdeskundige Eugène Rameckers en scriptiebegeleidster Anita Stevens. Tevens willen wij Ludo van Etten bedanken.



Voorwoord

Deze scriptie is geschreven in het kader van de afstudeeropdracht van de opleiding fysiotherapie aan de Hogeschool Zuyd te Heerlen.

Het onderwerp van deze scriptie is aangedragen door de afdeling fysiotherapie van Stichting Revalidatie Limburg (SRL), Franciscusoord: kinderrevalidatie, mytylschool en gehandicaptenzorg. De interesse in een literatuuronderzoek naar het begrip posturale controle komt voort uit de intentie om een gedegen meetinstrument te ontwikkelen. Om dit te bereiken is echter eerst een literatuuronderzoek nodig. Daarom is er vanaf juni 2008 door ons gestart met een systematisch literatuuronderzoek naar de werking van het mechanisme posturale controle bij de mens.

Om de scriptie met succes af te ronden is een goede samenwerking vereist. Zowel de samenwerking tussen ons drieën als de samenwerking met de begeleiders verliep zonder moeilijkheden. We vulden elkaar qua kennis en vaardigheden goed aan en stonden open voor feedback.

De ideeën over de indeling en inhoud van de scriptie zijn meerdere malen veranderd. We hebben geleerd dat het schrijven van een scriptie een proces is dat gaandeweg zijn definitieve vorm krijgt. Door een goede communicatie en flexibel handelen van ons alle drie, heeft dit geen problemen met zich meegebracht. Tijdens het uitvoeren van het onderzoek en het schrijven van de scriptie hebben we een kritische blik ontwikkeld en zijn we steeds nauwkeuriger gaan werken.

We hebben met veel plezier aan de scriptie gewerkt en zijn erg tevreden met het eindresultaat.

Wij wensen u veel plezier bij het lezen van onze scriptie.

Judith Hazelzet, Marijke van Herpt en Gaia Kerckhoffs.



Samenvatting

Doel: Een overzicht geven over wat er in de huidige wetenschappelijke literatuur bekend is over posturale controle, de ontwikkeling en werking van dit mechanisme en over de handhaving en verstoringen hiervan.

Methode: In 28 databases is aan de hand van trefwoorden gezocht naar bruikbare artikelen. Aan de hand van nieuw ontwikkelde scoringslijsten zijn na in- en exclusie 62 bruikbare artikelen overgebleven.

Resultaten en conclusies: Posturale controle is een complex mechanisme om balans te behouden, te herstellen of te bereiken gedurende elke houding of activiteit. De handhaving ervan is afhankelijk van een aantal samenwerkende sensorische systemen, die input ontvangen en verwerken. Deze input wordt gebruikt om de keuze te maken uit een bestaand motorisch programma. Dit programma zorgt voor een posturale reactie met als doel de posturale controle te handhaven. De ontwikkeling van de systemen, start vanaf de geboorte en per systeem is er een verschillend aantal jaren nodig om volgroeid te zijn.

Inhoudsopgave

	<u>Blz.</u>
Inleiding	1
1. Fase één: Systematisch zoeken naar literatuur	4
1.1 Methode	5
1.1.1 Zoekstrategie	6
1.1.2 Selectiecriteria	6
1.1.3 Methodologische kwaliteit	8
1.2 Resultaten	9
1.3 Discussie en conclusie	10
2. Fase twee: Ontwikkeling scoringslijsten	12
2.1 Methode	12
2.2 Resultaten	12
2.3 Discussie en conclusie	15
3. Fase drie: Scoren van methodologische kwaliteit	16
3.1 Methode	16
3.2 Resultaten	17
3.3 Discussie en conclusie	18
4. Fase vier: Wat is posturale controle?	20
4.1 Fundamentele aspecten van posturale controle	21
4.1.1 Evolutie	21
4.1.2 Functies van posturale controle	21
4.1.3 Het centrale zenuwstelsel	22
4.1.4 Posturale reflexen	23
4.1.5 Posturale controle tijdens stand en de verschillen tussen mannen en vrouwen	24
4.1.6 Posturale controle tijdens zit, de invloed van gewicht en lichaamslengte	24



4.1.7 Posturale controle tijdens bewegen	25
4.2 Verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie	25
4.2.1 Invloed van aandacht, cognitie en dubbeltaken op posturale controle	25
4.2.2. Invloed van het respiratoire systeem	26
4.2.3 Visuele input	26
4.2.4 Vestibulaire input	27
4.2.5 Somatosensorische en proprioceptieve input	27
4.2. 6 Interactie tussen signaalverwerkende systemen	28
4.2.7 Motorische strategieën voor het handhaven van posturale controle	28
4.2.8 Meetinstrument	29
4.3 Ontwikkelingsaspecten van posturale controle	29
4.3.1 Neurologische aspecten	29
4.3.2 Verklaringen voor de ontwikkeling van posturale controle	30
4.3.3 Fysiologische en musculaire aspecten	30
4.3.4 De ontwikkeling in vier perioden	30
4.3.5 Evenwichtsreacties	31
4.3.6 Sensorische input	32
4.3.7 Het ontwikkelen van posturale strategieën	32
4.3.8 Verschillen tussen jong en oud met betrekking tot de ontwikkelingsaspecten	33
4.4 Discussie en conclusie	33
Literatuurlijst	38
Bijlage: Geïnccludeerde artikelen	43



Inleiding

Posturale controle is waarschijnlijk de belangrijkste motorische taak in het dagelijks leven [1]. Het is een complex mechanisme dat gebruik maakt van verschillende feedbacksystemen: visuele, vestibulaire, somatosensorische en proprioceptieve [2, 3]. Er zijn verschillende benamingen voor dit mechanisme in omloop zoals balans, equilibrium en stabiliteit. In deze scriptie wordt de term ‘posturale controle’ gebruikt. Hiermee wordt het behouden, bereiken of herstellen van balans gedurende elke houding of activiteit bedoeld [4].

Posturale controle is vereist tijdens eenvoudige en complexe bewegingen, zoals rechtop staan, lopen over een balk, fietsen en schaatsen. Hierbij wordt constant gebruik gemaakt van feedbacksystemen, deze zorgen er voor dat het lichaam zich ongemerkt bij elke beweging aanpast, zodat het niet uit balans raakt [2, 3].

Er zijn tal van aandoeningen waarbij problemen met posturale controle een grote rol spelen, zoals bijvoorbeeld infantiele encefalopathie. Met dit begrip wordt een complex van neurologische functiestoornissen bedoeld, die ontstaan ten gevolge van een afwijking. Dit is een afwijking van het zenuwstelsel die ontstaat tijdens de ontwikkeling [5]. Bij deze aandoening kan de kwaliteit van leven ernstig beïnvloed worden door problemen met de handhaving van posturale controle [6]. Mensen met deze problemen kunnen gebaat zijn bij een fysiotherapeutische behandeling.

Door middel van verschillende oefeningen kan de posturale controle getraind worden, door bijvoorbeeld te balanceren op een oefentol of te lopen over een evenwichtsbalk. De soort training die gegeven wordt, zou gebaseerd moeten worden op de kennis over posturale controle in de (paramedische) gezondheidszorg [7]. Want wat wordt er nu precies getraind?

Wat is posturale controle eigenlijk en is dit precies hetzelfde als evenwicht, balans, equilibrium, enzovoorts? Een antwoord op deze vragen kan door weinig fysiotherapeuten gegeven worden, terwijl iedere fysiotherapeut en zelfs fysiotherapiestudent een balanstraining kan geven. Hoe is het mogelijk om een goede balanstraining te geven, als je eigenlijk niet precies weet wat je traint? Zouden deze trainingen niet veel beter kunnen worden met een goede kennis van de huidige wetenschappelijke denkbeelden over het mechanisme posturale controle?



Binnen de afdeling fysiotherapie van de Stichting Revalidatie Limburg, Franciscusoord, is over dit vraagstuk al veel nagedacht. Er kon geen consensus worden bereikt over wat posturale controle nu precies inhoudt en wat hiervoor de beste fysiotherapeutische behandeling zou kunnen zijn. Met name bij kinderen met infantiele encefalopathie, een groot deel van de patiëntenpopulatie binnen Franciscusoord, is evenwichtsproblematiek een groot probleem [6].

Om deze kinderen binnen Franciscusoord te kunnen onderzoeken en behandelen, volgens een evidence based methode, moet er een systematisch literatuuronderzoek naar dit onderwerp worden gedaan. Dat is de enige manier om duidelijkheid te verkrijgen over het mechanisme posturale controle. Momenteel wordt in Franciscusoord gebruik gemaakt van een subjectieve screeningslijst om posturale controle bij een kind te onderzoeken en vast te leggen. Deze lijst is gebaseerd op de ervaring en (niet wetenschappelijk onderbouwde) kennis van de therapeuten werkzaam binnen Franciscusoord. De kinderen worden geobserveerd en aan de hand van items van deze lijst wordt een score bepaald. Deze methode van meten is alles behalve evidence based. Wellicht kan er met meer basiskennis een evidence based meetinstrument ontwikkeld worden om posturale controle bij een kind vast te leggen. De basis voor het ontwikkelen van dit meetinstrument zal met deze literatuurstudie gelegd worden. Onze onderzoeksvraag luidt dan ook als volgt:

1: ‘Wat is er in de huidige wetenschappelijke literatuur bekend over posturale controle, over de ontwikkeling en werking van dit mechanisme en over de handhaving en verstoringen hiervan?’

Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, zijn een aantal subvraagstellingen opgesteld:

- 1a: ‘Welke definitie van het mechanisme posturale controle is het meest gangbaar?’
- 1b: ‘Wat is er in de literatuur bekend over de fundamentele aspecten van posturale controle?’
- 1c: ‘Welke interne en externe factoren beïnvloeden posturale controle?’
- 1d: ‘Wat is er bekend over de ontwikkelingsaspecten van posturale controle?’



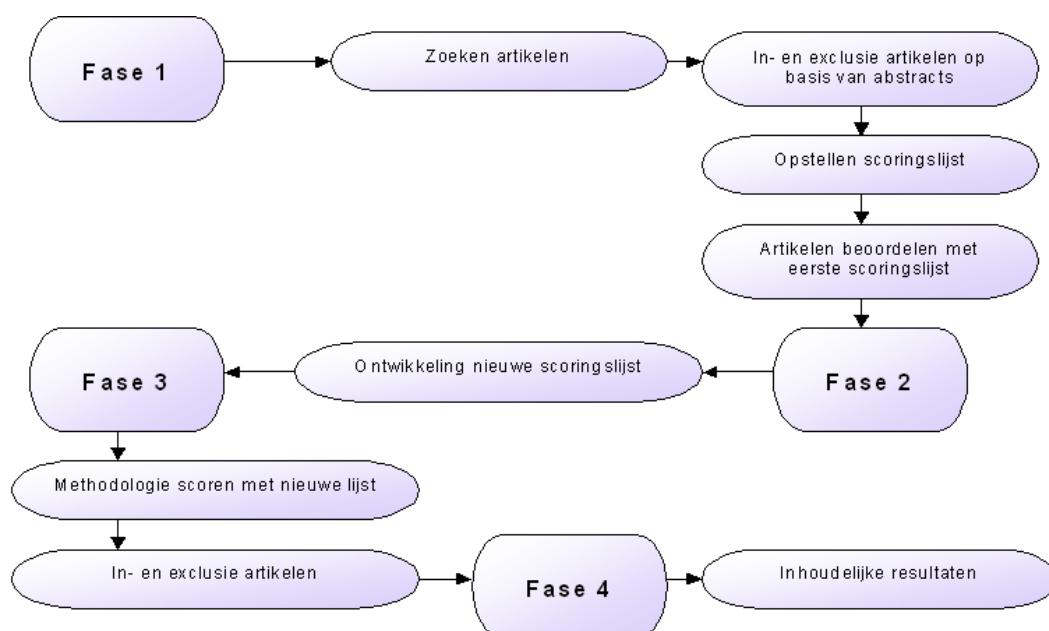
Dit systematisch literatuuronderzoek is ingedeeld in vier fases. Fase één zal onze zoektocht naar bruikbare literatuur weergeven en de in- en exclusie van deze literatuur beschrijven. Vervolgens zal ook de methodologische scoring van de geïnccludeerde artikelen weergegeven worden. In fase twee zal de ontwikkeling van een nieuwe scoringslijst uiteen worden gezet. Deze fase was noodzakelijk, omdat de scoringslijst uit fase één niet afdoende was om alle geïnccludeerde artikelen te kunnen scoren en vergelijken. Daarom is vraagstelling 2 voor fase twee geformuleerd:

2: ‘Op welke manier kan de methodologische kwaliteit van verschillende onderzoeksdesigns met elkaar vergeleken worden?’

In fase drie wordt de scoring van de artikelen beschreven, waarbij gebruik is gemaakt van de scoringslijst uit fase twee. Dit werd gedaan aan de hand van de derde vraagstelling:

3: ‘Wat is het resultaat van de scoring van de methodologische kwaliteit van de verschillende onderzoeksdesigns?’

Tot slot worden alleen de beste artikelen geïnccludeerd op basis van hun methodologische score. In fase vier zal onderzoeksvraag 1 beantwoord worden. Een overzicht van alle fases is te zien in figuur 1.



Figuur 1: Overzicht van de fases van het systematische literatuuronderzoek



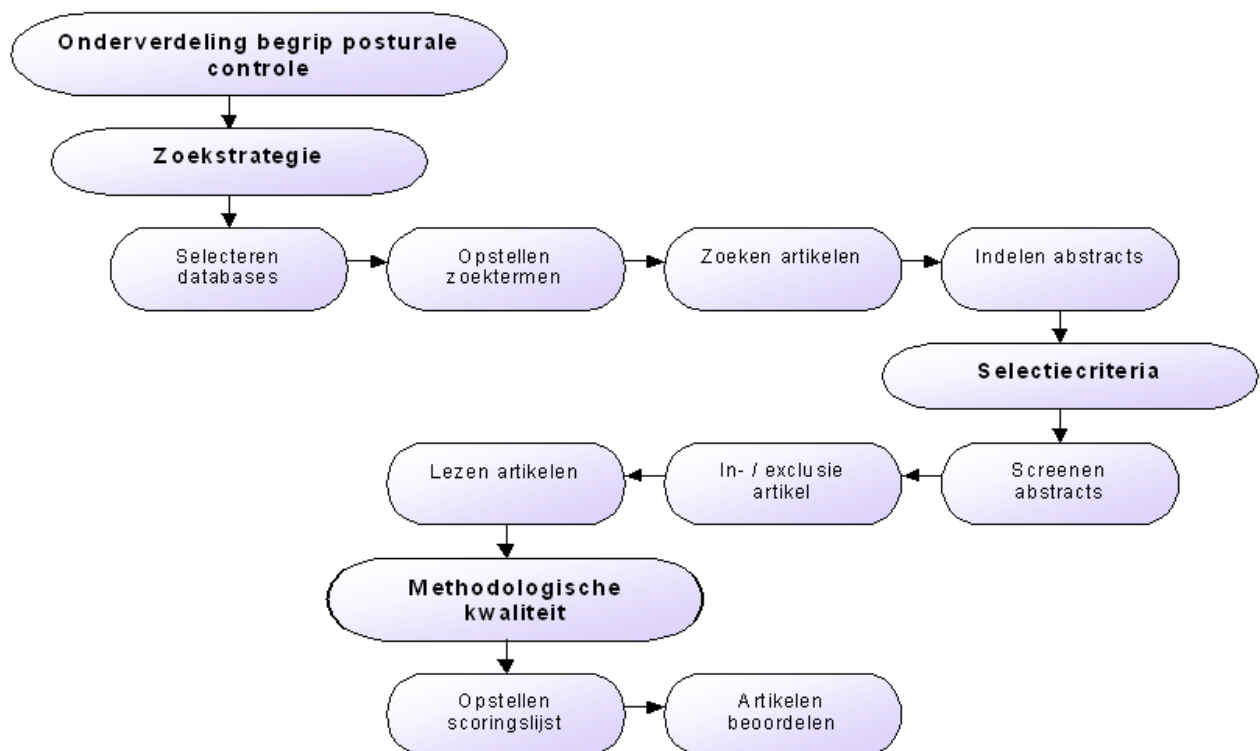
1. Fase één: Systematisch zoeken naar literatuur

In dit hoofdstuk zal de eerste fase van het systematisch literatuuronderzoek worden weergegeven, gebaseerd op de onderzoeksvraag: ‘Wat is er in de huidige wetenschappelijke literatuur bekend over posturale controle, over de ontwikkeling en werking van dit mechanisme en over de handhaving en verstoringen hiervan?’

In de eerste paragraaf zal een indeling worden weergegeven van het mechanisme posturale controle. In paragraaf 1.1.1, de zoekstrategie, wordt aangegeven op welke manier naar literatuur is gezocht. Paragraaf 1.1.2 beschrijft de selectiecriteria, waarin wordt vermeld waar de gevonden literatuur aan moet voldoen om geïnccludeerd te worden. De beoordeling van de artikelen op methodologische kwaliteit wordt tot slot uitgewerkt in paragraaf 1.1.3.

Dit alles wordt weergegeven in een stroomdiagram (zie figuur 2).

Na de methode zullen de resultaten, de discussie en conclusie weergegeven worden.



Figuur 2: Stroomdiagram van de methode van fase één



1.1 Methode

Om het complexe mechanisme posturale controle te kunnen beschrijven, is er voor gekozen om dit mechanisme te verdelen in vier onderwerpen: fundamentele aspecten van posturale controle, verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie, ontwikkelingsaspecten van posturale controle en posturale controle bij kinderen met infantiele encefalopathie. Deze onderwerpen zijn in overleg met de inhoudsdeskundige, die werkzaam is binnen Franciscusoord, gekozen.

Met fundamentele aspecten worden de neurofysiologische en anatomische aspecten van posturale controle bedoeld. Hierbij doelen we op de neurologie, anatomie, fysiologie en biomechanica met betrekking tot de mens. Met fundamentele aspecten doelen we op de kennis over processen en interacties, los van de directe toepassingen. De intentie van fundamenteel onderzoek is om de bestaande wetenschappelijke kennis uit te breiden zonder dat hierbij onmiddellijk een praktische toepassing wordt nagestreefd [8].

Binnen de dynamische systeemtheorie worden zowel de invloeden van buitenaf op posturale controle als de invloeden van binnenuit, zoals neuropsychologische factoren bedoeld [9]. Posturale controle is niet alleen afhankelijk van zijn fundamentele aspecten. Omgevingsinvloeden kunnen een grote rol spelen bij verstoringen van de posturale controle. Hierbij wordt gedacht aan verschillende steunoppervlakken, geluiden, licht en dubbeltaken.

Bij de ontwikkelingsaspecten van posturale controle wordt alles besproken met betrekking tot het vormen van de verschillende systemen die samen leiden tot posturale controle. De ontwikkeling wordt gevolgd vanaf de geboorte tot een jong volwassene. Vervolgens wordt de oudere volwassene met de jongere vergeleken. Wellicht heeft het ouder worden invloed op de posturale controle [10, 11].

Bij het laatste onderwerp worden alle artikelen ingedeeld die iets schrijven over posturale controle bij kinderen met infantiele encefalopathie. Hier komen de verschillen aan de orde tussen een normale ontwikkeling en die van een kind met infantiele encefalopathie.



1.1.1 Zoekstrategie

Om literatuur te zoeken is er eerst een lijst opgesteld met databases. Deze lijst is opgesteld aan de hand van de bibliotheeksite van Hogeschool Zuyd en de medische databases die te vinden zijn via de site van de Universiteitsbibliotheek Maastricht. Alle databases die bij de zoekterm 'postural control' resultaten weergaven, zijn geïncludeerd.

Uiteindelijk zijn de volgende databases doorzocht: Biomed, BMJ.com, Cinahl, Cochrane, DOAJ, Doonline, Embase, Emerald Insight, Eric, Informaworld, Medline, Narcis, NOD, OT seeker, OTDbase, Oxford Journals, Pedro, Picarta, Psychinfo, Psycarticles, Pubmed, Sage journals online, Science Direct, SocINDEX EBSCO, Trip database, Up-to-date en de Vakbibliotheek. Daarnaast is er een lijst opgesteld met zoektermen, zie tabel 1. De databases zijn verdeeld onder de drie beoordelaars en doorzocht met de hoofdzoektermen uit de eerste kolom van tabel 1. Als een zoekopdracht meer dan 200 resultaten gaf, zijn de hoofdzoektermen gecombineerd met de combinatie termen I en II. Voor de Nederlandse databases zijn de termen in het Nederlands vertaald.

Tabel 1: Zoektermen

Hoofdzoektermen	Combinatie termen I	Combinatie termen II
Postural control	Basic	Basic
Motor control	Elementary	Elementary
Brainstem	Working mechanisms	Working mechanisms
Balance	Theoretic concepts	Theoretic concepts
Posture	Fundamental	Fundamental
	Weigh-house	
	Equilibrium	
	Stabilisation / stabilization	
	Coördination	
	Vestibular	
	Ontogeny / ontogenesis	

1.1.2 Selectiecriteria

Tijdens het zoeken naar literatuur zijn een aantal in- en exclusiecriteria gehanteerd. Alle artikelen die in de titel of abstract iets over posturale controle beschreven zijn geïncludeerd.



Daarnaast zijn alleen Engels-, Nederlands- of Duitstalige artikelen geïnccludeerd. Artikelen die als proefpersonen enkel mensen met een pathologie hadden onderzocht, of artikelen waarin alleen onderzoek op dieren werd gedaan, zijn geëxcludeerd.

In overleg met de inhoudsdeskundige is het vierde onderwerp (posturale controle bij kinderen met infantiele encefalopathie) geëxcludeerd. Deze maatregel wordt in de discussie verder toegelicht.

De gevonden abstracts van de eerste drie onderwerpen werden verdeeld over de drie beoordelaars. Ieder abstract werd door twee beoordelaars gelezen en gescreend op een aantal trefwoorden of beschrijvingen van die woorden, zie tabel 2. De trefwoorden zijn wederom onderverdeeld in de drie onderwerpen, te weten: fundamentele aspecten van posturale controle, verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie en de ontwikkeling van posturale controle. Op deze manier kunnen de uiteindelijk geïnccludeerde artikelen meteen op onderwerp worden ingedeeld. Aan de hand van gevonden trefwoorden en een subjectieve indruk van de beoordelaar over de relevantie van de abstracts, wordt een artikel voorlopig bij één van de drie onderwerpen geplaatst of geëxcludeerd.

Tabel 2: Indeling abstracts aan de hand van de trefwoorden

Fundamentele aspecten	Dynamische systeemtheorie	Ontwikkeling
Neurophysiology	Environmental influences	Evolution/ development of postural control
Anatomy	Perturbations of postural control	Children/ adults
Centre of pressure	Influences of different positions	Different
Gait control	Different	
Proprioceptive input		
Tactile input		
Vestibular system		
Organs		
Somatosensory system		
Cerebellar system		
Different		



Vervolgens bespraken de twee beoordelaars de door hen gelezen abstracts. Samen werd definitief besloten of een artikel geïn- of geëxcludeerd werd en bij welk onderwerp het artikel hoorde. Deze in- en exclusie is gebaseerd op de subjectieve indrukken van de beoordelaars en de aanwezige trefwoorden of beschrijvingen van die woorden uit tabel 2. Als de twee beoordelaars er samen niet uit kwamen, kon de derde beoordelaar haar oordeel vestigen. De geïnccludeerde artikelen zijn verdeeld over de drie beoordelaars. Artikelen waar kosten aan verbonden zaten zijn geëxcludeerd evenals de artikelen waarvan niet de gehele tekst beschikbaar was.

1.1.3 Methodologische kwaliteit

Om de methodologische kwaliteit van de artikelen te kunnen beoordelen was het noodzakelijk om een nieuwe scoringslijst te ontwikkelen. Bestaande lijsten waren niet toereikend om de artikelen met verschillende onderzoeksdesigns te kunnen scoren. Met name de narrative reviews waren niet goed te beoordelen met bestaande lijsten. Aangezien er over de fundamentele aspecten van posturale controle geen artikelen zijn geschreven met een hoge methodologische kwaliteit, zoals randomised controlled trials en systematische reviews, was het noodzakelijk om artikelen met deze onderzoeksdesigns toch te includeren. Deze lijst, zie tabel 3, is in overleg met de inhoudsdeskundige opgesteld aan de hand van literatuur en bestaande scoringslijsten, zoals de PEDroScale en beoordelingslijsten van onder andere patiënt-controle onderzoek, systematische reviews en cohortonderzoek. Eerst is in de literatuur gezocht naar welke aspecten van een onderzoek bijdragen aan een hogere methodologische kwaliteit. Vervolgens is in bestaande scoringslijsten gekeken op welke items een artikel werd gescoord [12-14]. Van al deze aspecten is één lijst gevormd die artikelen met verschillende soorten onderzoeksdesigns kan scoren. Iedere beoordelaar heeft zijn eigen artikelen gelezen en aan de hand van een scoringslijst werd getracht de methodologische kwaliteit te beschrijven.



Tabel 3: Scoringlijst methodologische kwaliteit

1. Titel	
2. Jaartal van publicatie	
3. Proefpersonen	- Zijn de proefpersonen beschreven? - Zijn er eenduidige procedures weergegeven (met betrekking tot de selectie van proefpersonen)? - Zijn de proefpersonen geblindeerd? - Zijn de proefpersonen gerandomiseerd? - Is de randomisatie geblindeerd uitgevoerd? - Waren de groepen aan het begin van de trial vergelijkbaar? - Is een METC (medisch ethische toetsingscommissie) weergegeven? - Zijn de in-/exclusie criteria eenduidig weergegeven? - Zijn er uitvallers gemeld?
4. Opzet van het onderzoek	- Welk onderzoeksdesign is gebruikt? - Is de vraagstelling duidelijk geformuleerd? - Zijn in de vraagstelling instrumenten opgenomen? - Zijn de instrumenten beschreven m.b.t betrouwbaarheid, validiteit, test hertest? - Is er een duidelijke beschrijving van interventie? - Zijn de te vergelijken onderzoeksgroepen duidelijk gedefinieerd? - Zijn er meetinstrumenten gebruikt? - Zijn de taken gerandomiseerd in volgorde? - Zijn de taken meermaals afgenomen? - Is de onderzoeker geblindeerd? - Is de effectbeoordelaar geblindeerd? - Is er sprake van follow-up?
5. Conclusie	- Is er een conclusie aanwezig? - Worden alle vragen beantwoord? - Is er per vraag een conclusie?

1.2 Resultaten

Na het doorzoeken van alle databases zijn uiteindelijk 250 titels en abstracts gevonden.

Na de eerste in- of exclusie op basis van de abstracts bleven er 145 artikelen over.

Iedere beoordelaar kreeg 48 artikelen toegewezen die opgevraagd moesten worden. Bij de tweede in- of exclusie bleven 96 artikelen over, van de overige 49 artikelen was geen gehele tekst beschikbaar of waren kosten verbonden aan het opvragen hiervan. De derde in- of exclusie vond plaats na het lezen van de artikelen. Hierbij zijn nog 18 artikelen geëxcludeerd, omdat de inhoud niet overeenkwam met één van de drie onderwerpen. Uiteindelijk bleven dus 78 artikelen over.



1.3 Discussie en conclusie

Bij de eerste fase van onze literatuurstudie kunnen een aantal kanttekeningen geplaatst worden. Deze zullen hieronder worden weergegeven.

Om het mechanisme posturale controle te verduidelijken is een indeling gemaakt in vier onderwerpen. De indeling is aangedragen door een inhoudsdeskundige, iemand die gedurende het gehele onderzoek veel werd geraadpleegd. Een verbeterpunt zou zijn om meerdere inhoudsdeskundigen te raadplegen en niet enkel af te gaan op de visie van één persoon.

Zoals vermeld in paragraaf 1.1.2 is het vierde onderwerp geëxcludeerd. De reden hiervoor is dat het erg lastig zou zijn om binnen de beschikbare tijd alle onderwerpen goed te beschrijven. De eerste drie onderwerpen vormen tezamen de basis van het mechanisme posturale controle.

Een zwak punt van de literatuurstudie is dat alleen Engels-, Nederlands- en Duitstalige artikelen zijn geïnccludeerd. Dit was noodzakelijk gezien de taalkennis van de beoordelaars. Ook zijn een aantal artikelen geëxcludeerd doordat deze niet beschikbaar waren of omdat er kosten aan het opvragen van de gehele tekst verbonden waren. Er is geen budget voor dit onderzoek dat ons permitteert om deze artikelen te includeren.

Om de artikelen te beoordelen is gebruik gemaakt van een zelf opgestelde scoringslijst, zie tabel 3. De methodologische kwaliteit van deze scoringslijst is onbekend. Toch is er gekozen om van deze lijst gebruik te maken omdat er anders geen mogelijkheid was om de vele narrative reviews over dit onderwerp te beoordelen. Tijdens het literatuur onderzoek bleken alle artikelen verschillend opgebouwd te zijn. Er zijn artikelen gevonden waarin onderzoek volgens verschillende designs werd beschreven, daarnaast een aantal reviews die in meer of mindere mate systematisch zijn weergegeven. Uiteindelijk bleek na het lezen van de artikelen de door ons opgestelde scoringslijst niet afdoende te zijn voor het scoren van alle onderzoeksdesigns. De scoringslijst is wel gebruikt om de verschillende items van een artikel te beschrijven. Echter een score hieraan verbinden zonder rekening te houden met de verschillende onderzoeksdesigns is onmogelijk.



Dit discussiepunt in overweging nemende, moet geconcludeerd worden dat met de gehanteerde scoringslijst geen antwoord gegeven kan worden op de vraagstelling ‘Wat is er in de huidige wetenschappelijke literatuur bekend over posturale controle, over de ontwikkeling en werking van dit mechanisme en over de handhaving en verstoringen hiervan?’

Om deze vraagstelling uiteindelijk te kunnen beantwoorden moet eerst een nieuwe vraagstelling worden beantwoord:

2: ‘Op welke manier kan de methodologische kwaliteit van verschillende onderzoeksdesigns met elkaar vergeleken worden?’

2. Fase twee: Ontwikkeling scoringslijsten

In dit hoofdstuk zal de tweede fase van het systematisch literatuuronderzoek worden weergegeven aan de hand van vraagstelling 2: ‘Op welke manier kan de methodologische kwaliteit van verschillende onderzoeksdesigns met elkaar vergeleken worden?’

2.1 Methode

Alle gevonden onderzoeksdesigns en verschillende soorten artikelen zijn onder drie verschillende noemers geclassificeerd. De gevonden papers, essays en research reports zijn ingedeeld onder de noemer ‘narrative reviews’. Alle observationele onderzoeksdesigns zijn samengevoegd onder de term ‘longitudinaal onderzoek’. Onderzoek met betrekking tot een meetinstrument wordt aangeduid met ‘klinimetrisch onderzoek van een meetinstrument’. Voor elk van deze drie categorieën van onderzoek is een scoringslijst ontwikkeld. Om tot de items van de lijsten te komen is gebruik gemaakt van literatuur en websites waarin de methodologische kwaliteit van een artikel wordt beschreven [12-14]. Daarnaast heeft de inhoudsdeskundige de lijsten nagekeken en waar nodig aangevuld.

2.2 Resultaten

In de literatuur wordt vermeld aan welke eisen een artikel moet voldoen om een hoge methodologische kwaliteit te hebben. Een goed methodologisch onderzoek is vereist om geldende conclusies te kunnen trekken als antwoord op de vraagstelling. De keuze van een bepaalde onderzoeksopzet heeft hoe dan ook consequenties voor de geldigheid en geloofwaardigheid van de conclusies die uit het onderzoek worden getrokken. Een goed onderzoek met een adequate opzet is niet mogelijk zonder een inleiding en probleemstelling die als uitgangspunt voor het onderzoek fungeert. Hierin moet opgenomen worden wat, bij wie, hoe en wanneer dit onderzocht wordt. Dit vormt dan ook het eerste item in de nieuwe scoringslijsten [14].

Longitudinaal onderzoek en onderzoek naar meetinstrumenten, kan uitgevoerd worden met de hulp van proefpersonen. Deze proefpersonen dienen aan het begin van het onderzoek beschreven te worden en moeten met elkaar vergelijkbaar zijn.



Als de proefpersonen geblindeerd zijn en de indeling van proefpersonen gerandomiseerd is, verhoogt dit de methodologische kwaliteit. [14].

Het onderzoek dient goedgekeurd te worden door een medisch ethische toetsingscommissie (METC) [13, 14].

De taken die de proefpersonen moeten uitvoeren moeten in het artikel uitvoerig beschreven worden, zodat het onderzoek na te bootsen is. Behalve de indeling van de proefpersonen kan ook de volgorde van de taken al dan niet gerandomiseerd zijn. Randomisatie verhoogt de interne validiteit van het onderzoek. Daarnaast dienen taken herhaald te worden om een gemiddelde score uit te kunnen rekenen [14].

De validiteit van de meetinstrumenten die gebruikt worden in een onderzoek, is belangrijk voor de methodologische kwaliteit van het onderzoek. Bij onderzoeken waarin nieuwe meetinstrumenten ontwikkeld worden dienen deze te worden geijkt aan al reeds bestaande en valide instrumenten. Als de uitkomsten berekend worden door een beoordelaar die geblindeerd is, verhoogt dit de methodologische kwaliteit [14].

De uiteindelijke resultaten in een artikel geven weer of er antwoord gegeven kan worden op de probleemstelling van het onderzoek en of er een conclusie kan worden getrokken.

Bij de narrative reviews wordt vooral gekeken naar de opzet van het onderzoek. Is er duidelijk aangegeven hoe zoekprocedures zijn uitgevoerd en hoe de literatuur gewogen wordt [14]?

De items die hierboven genoemd worden, zijn opgenomen in de scoringslijsten per onderzoeksdesign, die respectievelijk weergegeven zijn in tabel 4, 5 en 6.

Tabel 4: Scoringslijst narrative review

Item	Ja	Nee
1. Is er een duidelijke doelstelling geformuleerd?		
2. Is er een duidelijke inleiding?		
3. Wordt in de tekst gerefereerd aan andere literatuur?		
4. Is de zoekactie adequaat uitgevoerd?		
5. Zijn de literatuurstudies beschreven?		
6. Zijn er duidelijke criteria voor inclusie/exclusie van de literatuur?		
7. Is gemeld op welke basis de literatuur gewogen is?		
8. Is de reviewprocedure helder expliciet en helder verwoord.		
9. Zijn de artikelen duidelijk samengevat?		
10. Worden de resultaten uit de artikelen helder weergegeven?		
11. Is er een conclusie aanwezig?		
12. Zijn de conclusies te herleiden uit de literatuur?		
13. Wordt de doelstelling bereikt?		



Posturale controle

Tabel 5: Scoringslijst longitudinaal onderzoek

Item	Ja	Nee
1. Is de onderzoeksvraagstelling duidelijk geformuleerd? (wat, bij wie, hoe en wanneer)		
2. Is een METC weergegeven?		
3. Zijn de proefpersonen beschreven?		
4. Zijn de proefpersonen aan het begin van de trial vergelijkbaar?		
5. Zijn de in- en exclusiecriteria van de proefpersonen duidelijk weergegeven?		
6. Zijn de proefpersonen geblindeerd?		
7. Zijn de proefpersonen gerandomiseerd?		
8. Zijn uitvallers gemeld?		
9. Zijn er uitvallers?		
10. Worden de taken/handelingen binnen het onderzoek duidelijk weergegeven (is het onderzoek reproduceerbaar)?		
11. Zijn de taken gerandomiseerd in volgorde?		
12. Zijn er meetinstrumenten gebruikt?		
13. Wordt de validiteit van de meetinstrumenten weergegeven?		
14. Zijn de taken meermaals afgenomen?		
15. Is de beoordelaar geblindeerd?		
16. Is er een conclusie aanwezig?		
17. Wordt de vraagstelling duidelijk beantwoord?		

Tabel 6: Scoringslijst klinimetrisch onderzoek van een meetinstrument

Item	Ja	Nee
1. Is de onderzoeksvraagstelling duidelijk geformuleerd? (wat, bij wie, hoe en wanneer)		
2. Is een METC weergegeven?		
3. Zijn de proefpersonen beschreven?		
4. Zijn de proefpersonen aan het begin van de trial vergelijkbaar?		
5. Zijn de in- en exclusiecriteria van de proefpersonen duidelijk weergegeven?		
6. Zijn de proefpersonen geblindeerd?		
7. Zijn de proefpersonen gerandomiseerd?		
8. Zijn uitvallers gemeld?		
9. Zijn er uitvallers?		
10. Is het onderzoek reproduceerbaar?		
11. Zijn de taken gerandomiseerd in volgorde?		
12. Zijn er meetinstrumenten gebruikt?		
13. Zijn de meetinstrumenten geijkt?		
14. Wordt de validiteit van de meetinstrumenten weergegeven?		
15. Is de beoordelaar geblindeerd?		
16. Is er een conclusie aanwezig?		
17. Wordt de vraagstelling duidelijk beantwoord?		



2.3 Discussie en conclusie

Een antwoord op de vraagstelling: ‘Op welke manier kan de methodologische kwaliteit van verschillende onderzoeksdesigns met elkaar vergeleken worden?’ kan gegeven worden. Een drietal nieuwe scoringslijsten is ontwikkeld, die ieder betrekking hebben op een ander onderzoeksdesign, te weten: narrative reviews, longitudinaal onderzoek en klinimetrisch onderzoek van een meetinstrument.

Er zijn echter nog een aantal discussiepunten. De scoringslijsten per onderzoeksdesign zijn ontwikkeld aan de hand van informatie uit literatuur en met hulp van de inhoudsdeskundige. De methodologische kwaliteit van deze scoringslijsten is niet getoetst. Ondanks dit gegeven hebben wij er toch voor gekozen om met deze lijsten te werken, aangezien er geen betere beschikbaar zijn.

Wederom is maar één inhoudsexpert benaderd. Het was wellicht beter geweest om meerdere inhoudsdeskundigen te raadplegen. Dat is niet gebeurd doordat de beschikbare tijd ons niet toe liet om meerdere mensen te benaderen en te wachten op hun advies.

De manier van scoren en vergelijken van de resultaten is nog niet beschreven. Daarom zal de volgende vraagstelling in fase drie worden beantwoord:

3: ‘Wat is het resultaat van de scoring van de methodologische kwaliteit van de verschillende onderzoeksdesigns?’



3. Fase drie: Scoren van methodologische kwaliteit

In dit hoofdstuk zal de derde fase van het systematisch literatuuronderzoek worden weergegeven aan de hand van de volgende vraagstelling: ‘Wat is het resultaat van de scoring van de methodologische kwaliteit van de verschillende onderzoeksdesigns?’

3.1 Methode

Aan de hand van de in fase twee opgestelde scoringslijsten zijn de 78 artikelen gescoord, elk artikel door één beoordelaar.

Het aantal items van de drie scoringslijsten verschilt van elkaar. Twee van deze lijsten, longitudinaal onderzoek en klinimetrisch onderzoek, bevatten 17 (dezelfde) items en de andere, die van de narrative reviews, 13 items. Om tot vergelijkbare scores te komen wordt de eindscore van de narrative reviews vermenigvuldigd met 1,3. De items kunnen gescoord worden met ‘ja’ (één punt) of ‘nee’ (nul punten). Bij item negen, zie tabel 5 en 6, wordt de score omgedraaid: ‘nee’ wordt gescoord met één punt en ‘ja’ met nul punten. Als het aantal uitvallers niet gemeld wordt, dus ‘nee’ bij item acht, wordt een vraagteken genoteerd bij item negen. Een vraagteken wordt gescoord met nul punten. Alle gescoorde artikelen zijn in alfabetische volgorde van auteur gezet en zijn genummerd, zie bijlage 1. Alle ingevulde scoringslijsten zijn op te vragen bij de auteurs van dit literatuuronderzoek.

Om de uiteindelijke in- en exclusie van een artikel te bepalen moeten er bepaalde afkappunten van de scores vastgesteld worden. Het afkappunt is zo gesteld, dat een score van zeven of hoger (40% van de maximale score, 17 punten) ‘gemiddeld’ betekend en een score van 12 of hoger (70% van de maximale score, 17 punten) ‘goed’. Hiervoor is gekozen nadat in de literatuur werd gevonden dat de waarden die gebruikt worden als afkappunt niet vast staan en door de beoordelaar zelf vastgesteld mogen worden. In overleg met de inhoudsdeskundige en gebaseerd op de systematiek van de PEDroScale is gekozen voor een ondergrens van 30-40% van de maximale score en een boven grens van 70-80% van de maximale score [13, 14].



3.2 Resultaten

In tabel 7 zijn de scoringsresultaten van de artikelen per design weergegeven. De genoemde artikelnummers in de volgende tabellen komen overeen met de artikelnummers uit bijlage 1. Van de 78 artikelen zijn negen ‘goede’ (blauw), 53 ‘gemiddelde’ (rood) en 16 ‘slechte’ artikelen (zwart).

Tabel 7: Uitkomst scoringslijsten per design

	Longitudinaal onderzoek	Klinimetrie	Narrative review
Score			
1			
2			
3			18
4			11
5	1, 6, 9, 34, 39, 72		14, 19, 49, 51, 53
6	22, 52, 56		
7	21, 30, 32, 66, 71		31, 36, 62
8	15, 28, 38, 41, 47, 48, 61		10, 25, 43, 57, 67, 77, 78
9	7, 24, 42, 55, 60, 65, 70		3, 4, 5, 26, 44, 76
10	2, 17, 20, 23, 37, 40, 59, 64, 69, 73		45
11	8, 46, 54, 63, 68, 75	16	
12	27, 33, 35, 74	13	50
13	12, 29, 58		
14			
15			
16			
17			

De artikelen zijn eveneens geordend op onderwerp, te zien in tabel 8. Wederom zijn de ‘gemiddelde’ en ‘goede’ artikelen gekleurd met rood en blauw. De grijze nummers geven artikelen weer die dubbel in de tabel staan, vijf in totaal. Dit zijn artikelen die bij meerdere onderwerpen ingedeeld kunnen worden.

In tabel 8 zijn tevens de percentages van het totaal aantal artikelen weergegeven. Van de 78 artikelen is 32% een narrative review, 65% beschrijft longitudinaal onderzoek en 3% klinimetrisch onderzoek.

Van de 78 geselecteerde artikelen heeft 29% op de fundamentele aspecten van posturale controle, 41% op verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie en in 30% komen de ontwikkelingsaspecten van posturale controle aan bod.



Het totale aantal artikelen bij deze percentages bedraagt 83, dit vanwege de vijf artikelen die bij meerdere onderwerpen zijn ingedeeld.

Fundamentele aspecten van posturale controle worden vooral in narrative reviews beschreven.

Over de verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie en de ontwikkeling van posturale controle wordt meer gevonden in artikelen die longitudinaal onderzoek beschrijven.

Tabel 8: Artikelen per onderwerp en design inclusief percentages

	Narrative review	Longitudinaal onderzoek	Klinimetrie	Totaal aantal artikelen n=83
Fundamentele aspecten	10, 11, 14, 18, 19, 36, 43, 44, 45, 49, 50, 51, 57, 62, 67	1, 7, 8, 9, 21, 58, 69, 70, 71		24 (29%)
Dynamische systeemtheorie	31, 76	2, 6, 12, 15, 17, 20, 22, 23, 24, 27, 32, 33, 34, 35, 37, 39, 40, 46, 48, 55, 56, 59, 60, 63, 64, 68, 72, 73, 74, 75	13, 16	34 (41%)
Ontwikkeling	3, 4, 5, 25, 26, 31, 53, 76, 77, 78	6, 12, 28, 29, 30, 38, 41, 42, 47, 52, 54, 59, 61, 65, 66		25 (30%)
Totaal aantal artikelen per design n=78	25 (32%)	51 (65 %)	2 (3%)	

3.3 Discussie en conclusie

Als antwoord op de vraagstelling: ‘Wat is de uitkomst van de scoring van de methodologische kwaliteit van de verschillende onderzoeksdesigns?’, kan gegeven worden dat er 53 ‘gemiddelde’ en negen ‘goede’ artikelen uitkomen.

Deze uitkomsten zijn tot stand gekomen door een berekening die door ons in samenwerking met de inhoudsdeskundige is opgesteld. Dit is eveneens het geval met de gekozen afkappunten. De methodologische kwaliteit van deze berekening is onbekend.

De weging van de items van de scoringslijsten brengt ons op het volgende discussiepunt. Elk item wordt nu gescoord met één punt of nul punten. De mate van belangrijkheid van de items is niet in overweging genomen. Dit zou in de toekomst verbeterd moeten worden.



Posturale controle

Er wordt aangenomen dat de methodologische kwaliteit van een artikel hoger is naarmate de score hoger is. Dit is een aanname die we niet hard kunnen maken aangezien de methodologische kwaliteit van onze scoringslijst niet getoetst is.

Na het uitvoeren van deze fase kan onderzoeksvraag 1 beantwoord worden. In fase 4 wordt dit met behulp van de subvraagstellingen, die geformuleerd zijn in de inleiding, gedaan.



4. Fase vier: Wat is posturale controle?

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de subvraagstellingen uit de inleiding, een antwoord gegeven op onderzoeksvraag 1: ‘Wat is er in de huidige wetenschappelijke literatuur bekend over posturale controle, over de werking van dit mechanisme en over de handhaving en verstoringen hiervan?’.

Van de 53 ‘gemiddelde’ en negen ‘goede’ artikelen kunnen aan de hand van de subvraagstellingen de volgende resultaten weergegeven worden:

Subvraagstelling 1a: ‘Welke definitie van het mechanisme posturale controle is het meest gangbaar?’ wordt verduidelijkt aan de hand van een opsomming van een aantal begrippen.

Posturale controle: het behouden, bereiken of herstellen van balans gedurende elke houding of activiteit, ook wel **houdingscontrole** genoemd [4].

Balans: een multidimensionaal concept, het vermogen van een individu om niet te vallen, ook wel **equilibrium** of **evenwicht** genoemd [4].

Stabiliteit: het essentiële vermogen van een individu, om in een bepaalde staat van balans te blijven of hiernaar terug te keren, zelfs in de aanwezigheid van krachten die normaal gesproken de staat of conditie zouden veranderen [4, 15-17].

Hieronder wordt de uitleg weergegeven van een aantal Engelse termen die in de resultaten zullen voorkomen.

Centre of gravity: Het zwaartepunt van het lichaam, ook wel **centre of mass** genoemd [18, 19].

Centre of pressure: Het middelpunt van de grondreactiekracht [19]. De grond reactiekracht is de kracht die vanaf de grond op een persoon werkt, tegengesteld aan de zwaartekracht. Het evenwicht tussen deze twee krachten die op de mens werken, zorgt ervoor dat we kunnen blijven staan, zitten of liggen. Het middelpunt van de grondreactiekracht is afhankelijk van het oppervlak van de mens dat contact maakt met de aarde [19].



4.1. Fundamentele aspecten van posturale controle

Aan de hand van de subvraagstelling: ‘Wat is er in de literatuur bekend over de fundamentele aspecten van posturale controle?’ worden de fundamentele aspecten van het mechanisme posturale controle uitgewerkt. Eerst zal een stukje weergegeven worden over de evolutie van menselijke anatomie, gevolgd door de functies van posturale controle. Dan zullen de aspecten met betrekking tot het centrale zenuwstelsel worden besproken en de werking van posturale reflexen. Deze paragraaf wordt afgesloten met informatie over het handhaven van de posturale controle in zit en in stand.

4.1.1 Evolutie

Volgens de evolutietheorie hebben er in de loop der jaren een aantal anatomische aanpassingen bij de mens plaatsgevonden om op twee benen te kunnen lopen. Het zwaartepunt lag eerst voor de lumbale wervelkolom en het heupgewricht en is verplaatst naar iets boven het heupgewricht. Er zijn veranderingen in de bouw van de voet opgetreden en er kwam een afname in mobiliteit van het knie- en heupgewricht. Het ilium en sacrum zijn breder en vlakker geworden en de lengte van de benen en armen is korter. De femurhals is langer en het ilium is verder van het lichaam af gaan staan. Deze aanpassing heeft als functie de hefboom van de heupabductoren te vergroten en daardoor het lopen op twee benen mogelijk te maken. Ook hebben bepaalde spieren een andere functie gekregen. Waar de gluteus musculatuur aan het begin van de evolutie werd gebruikt als heupextensoren en een grote rol speelde bij het gaan, functioneren deze spieren nu als heupabductoren. De belangrijkste functie van deze spieren is de stabilisatie van het bekken en de romp. Om uiteindelijk rechtop te kunnen staan moet de wervelkolom van horizontaal naar verticaal gedraaid worden. Doordat het sacrum een andere stand heeft gekregen is de extensie van de wervelkolom meer toegenomen, waardoor een rechtopstaande stand gerealiseerd kan worden [20].

4.1.2 Functies van posturale controle

De belangrijkste functies van het mechanisme posturale controle zijn: het handhaven van een houding tegen de zwaartekracht in en het handhaven van de balans [21, 22].



Deze functies zijn afhankelijk van vier componenten. De oriëntatie van lichaamssegmenten is hier één van. Met lichaamssegmenten worden het hoofd, de romp en de benen bedoeld, die elk met elkaar in verbinding staan door spieren. Deze spieren zorgen ervoor dat de specifieke oriëntatie van ieder segment behouden blijft. De proprioceptieve schakeling, van hoofd tot voeten, geeft de informatie over de positie van elk segment door aan de andere [23].

Het doel van de proprioceptieve houdingsketen is niet alleen specifiek gericht op posities van de lichaamssegmenten, maar ook op de lichamelijke houdingsoriëntatie met betrekking tot de buitenwereld [24]. De andere componenten zijn: de positie van de 'centre of gravity', multisensorische input waar posturale reacties op volgen en anticipatie voor het herstellen van balans na een verstoring [21, 23, 25].

In de literatuur zijn er twee verschillende standpunten wat betreft houding. In het ene standpunt wordt gesteld dat houding wordt gecontroleerd als één compleet geheel. In het andere standpunt is houding gebaseerd op segmenten: het hoofd, de romp en de benen [22].

4.1.3 Het centrale zenuwstelsel

Verscheidene hersengebieden spelen een rol bij de handhaving van posturale controle. Van de belangrijkste gebieden zal de werking hieronder worden toegelicht.

De motorische cortex, cerebellum en basale ganglia zijn allemaal betrokken bij de controle van houding en het leren van verschillende houdingstaken. Deze structuren spelen echter een andere rol in posturale controle en de leerprocessen. De basale ganglia zijn vooral betrokken bij het leren van een algemene strategie voor de controle van de 'centre of pressure', terwijl de functie van de motorische cortex voornamelijk betrekking heeft op het leren van een specifieke richting van de 'centre of pressure'. Het cerebellum is betrokken bij beide leerprocessen [20].

Het cerebellum is verdeeld in drie delen. Het eerste deel ontvangt vestibulaire input en is betrokken bij de posturale controle. Het tweede deel is met name verantwoordelijk voor de planning en initiatie van bewegingen, vooral de bewegingen die een nauwkeurige en snelle reactie van de ledematen vereisen. Het derde deel ontvangt somatosensorische, vestibulaire, visuele en auditieve informatie [17].

Ondanks dat de hersenstam, fylogenetisch gezien, het meest primitieve deel van de hersenen is, bevat het grote circuits die het evenwicht en veel van de automatische bewegingen van het lichaam controleren [17].



Het corticospinale systeem is het belangrijkste motorische systeem voor de controle van bewegingen die een grote vaardigheid en flexibiliteit vereisen. Het is het motorische systeem dat fylogenetisch gezien als laatste ontwikkeld is en een grote invloed heeft op posturale verstoringen [26]. Posturale aanpassingen zijn geen automatische spierreacties op verstoringen, maar corticaal gecontroleerde, voorbestemde bewegingen [27].

4.1.4 Posturale reflexen

Posturale controle komt tot stand via automatische posturale reflexen, ook wel houdingsreacties genoemd, die worden uitgelokt door een sensorische stimulus [4]. Deze reflexen werken via een enorm netwerk van perifere en centrale zenuwbanen. De zenuwbanen zijn ontwikkeld om directe input te verwerken van zowel interne als externe factoren. De verschillende posturale reflexen die een rol spelen bij de handhaving van posturale controle zijn: visueel, vestibulair, cervicaal, lichaam-tot-hoofd en lichaam-tot-lichaam gerichte reflexen [28].

Reflexmechanismen voor posturale controle worden gevonden in de huid- en gewrichtsreceptoren, somatische gravireceptoren en baroreceptoren door het hele lichaam. Echter veel van deze reflexmechanismen voor posturale controle zijn gevestigd en werkzaam in het hoofd en de cervicale wervelkolom.

Gesuggereerd wordt dat de posturale reflexen functioneren op een hiërarchische manier.

Al deze posturale reflexen kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van een posturaal lichaamsschema: een interne representatie van de externe omgeving.

Dit schema kan het referentiekader zijn waarin de posturale reflexen anticiperen en adapteren aan nieuwe omgevingen. Visuele en vestibulaire input, als wel gewrichts- en weke delen mechanoreceptoren detecteren en reageren op posturale stimuli en verstoringen. Deze stimuli kunnen posturale reflexen uitlokken [28].

De reflexmatige controle van de houding hangt af van zowel intrinsieke als extrinsieke feedback, welke essentieel zijn voor de handhaving van een stabiele houding. Deze stabiliteit wordt op een dynamische manier bereikt.

In het sagittale vlak werken de anteriore en posteriore spieren als antagonisten om het zwaartepunt van het lichaam binnen het smalle steunoppervlak, de voeten, te houden [20].



4.1.5 Posturale controle tijdens stand en de verschillen tussen mannen en vrouwen

Hieronder zullen verschillende aspecten worden toegelicht van posturale controle tijdens een staande houding. Er wordt gesproken over welke zaken invloed hebben op de posturale reacties in een staande houding, daarnaast komen de verschillen van posturale controle tussen mannen en vrouwen aan bod. Tot slot worden de houdingsreacties in stand toegelicht.

De mens heeft een rechtopstaande houding waarbij het gewicht gedragen moet worden door een smal steunoppervlak. Natuurkundig gezien is het lichaam overgeleverd aan verstoringen van de omgeving. Fysisch gezien echter is een volwassene met volledig ontwikkelde posturale reflexen erg stabiel [20].

Er zijn enkele anatomische verschillen tussen mannen en vrouwen die van invloed zijn op de posturale controle. Vrouwen hebben een meer anterior geroteerd bekken dan mannen en het lichaamszwaartepunt ligt lager [29]. Tezamen vormt dit een mogelijke oorzaak voor het feit dat vrouwen een betere balans hebben dan mannen [20].

Als het lichaam 'uit het lood staat', zullen de mediolaterale en anterior-posteriore bewegingen van de wervelkolom vergroot worden, het lichaam gaat meer 'schommelen'. Co-contractie van de plantairflexoren en dorsaalextensores zorgt ervoor dat het lichaam niet omvalt. Zodra een verstoring van de balans gedetecteerd wordt, zal de rol van proprioceptieve input versterkt worden. Dit gebeurt door de vergrootte frequenties van afferente banen van golgi-pees organen. Hierdoor wordt het correctieve proces van het centrale zenuwstelsel versneld [30]. De 'centre of mass', vooral bij het voetgebied, kan aanpassingen van de staande houding beïnvloeden [31]. De afstand tussen de voeten in stand speelt een belangrijke rol. Naarmate de voeten dichter bij elkaar staan, verslechtert de posturale controle. De optimale afstand tussen de voeten is minimaal tien centimeter [10].

4.1.6 Posturale controle tijdens zit, de invloed van gewicht en lichaamslengte

Bij het onderzoeken van bewegingen van 'the centre of pressure' tijdens zit op een instabiele ondergrond, bleek dat het voor zwaardere proefpersonen met een langer bovenlichaam moeilijker is om te blijven zitten, dan voor lichtere en kortere proefpersonen [32].



4.1.7 Posturale controle tijdens bewegen

Er zijn twee biomechanische nadelen die het lopen tot een uitdaging maken. Een mens loopt op twee benen, tijdens het lopen wordt het evenwicht verplaatst van het ene naar het andere been. Dit vereist een nauwkeurige sturing en controle. Daarnaast is het lichaamsgewicht niet optimaal verdeeld. Twee derde van het totale gewicht ligt namelijk in het bovenste gedeelte van het lichaam: in het hoofd, de armen en de romp [33].

Het centrale zenuwstelsel heeft twee manieren voor het handhaven van de houding tijdens beweging. Allereerst posturale reacties, veroorzaakt door sensorische informatie. Ten tweede anticiperende houdingsaanpassingen [31]. Deze anticiperende houdingsaanpassingen hebben drie functies: houdingsverstoringen zo klein mogelijk houden, het lichaam klaarmaken voor de beweging en helpen van de beweging met kracht of snelheid [34].

4.2 Verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie

Aan de hand van de subvraagstelling: ‘Welke interne en externe factoren beïnvloeden posturale controle?’ worden de verklaringen volgens de dynamische systeemtheorie uitgewerkt.

Eerst zal de invloed op posturale controle worden toegelicht van respectievelijk: aandacht en cognitie, dubbeltaken, het respiratoire systeem, visus, het vestibulaire orgaan en de proprioceptie. Deze verschillende vormen van input kunnen zowel een positief als een negatief effect op posturale controle hebben. Daarnaast komen de interactie tussen de systemen die deze input verwerken en de motorische strategieën aan bod. Tot slot wordt een meetinstrument beschreven, dat veranderingen in posturale controle kan vastleggen.

4.2.1 Invloed van aandacht, cognitie en dubbeltaken op posturale controle

Interne en externe focus op het bewegen (aandacht op het effect van de beweging, respectievelijk de beweging zelf), zijn beide van invloed op het handhaven van de posturale controle [10, 35, 36]. Bij een externe focus is de stabiliteit vergroot door een toegenomen spier- en gewrichtstijfheid. Deze ontstaat doordat het lichaam reageert op omgevingsinvloeden [36]. Interne focus voor balanstaken, uitgelokt door instructies verslechteren de balans [35].



Dit komt doordat deze instructies, zoals ‘blijf stil staan’, de automatische besturing verminderen [36]. Bij een interne focus is het reactievermogen trager dan bij een externe focus [36, 37].

Tot aan een bepaalde moeilijkheidsgraad beïnvloeden dubbeltaken de posturale controle niet [35]. Makkelijke cognitieve taken leiden de aandacht af van actieve posturale controle, waardoor een verminderde bewegingsuitslag ontstaat tijdens een staande houding. Bij deze dubbeltaken maakt het geen verschil of de taak verbaal of fysiek is [10].

Hoe moeilijker de taak, hoe meer cognitieve verwerking nodig is. Posturale controle en cognitieve processen halen hun informatie uit dezelfde hersengebieden [35, 38].

Het uitvoeren van een taak waarbij het gaat om de reactietijd verbetert de posturale controle, omdat de aandacht en spierstijfheid toeneemt [37, 39-41].

De hierboven beschreven relatie tussen cognitieve taken en posturale controle is als volgt weer te geven. Tijdens het krijgen van instructies om op de houding te letten verslechtert de posturale controle, tijdens de uitvoering van een makkelijke dubbeltaak verbetert de posturale controle en tijdens het uitvoeren van een moeilijke dubbeltaak verslechtert de posturale controle [10].

4.2.2 Invloed van het respiratoire systeem

Een verbale taak verslechtert de posturale controle, doordat articulatie bij een vocale respons op een dubbeltaak de instabiliteit vergroot. Tijdens articuleren wordt het respiratoire systeem aangesproken, dit systeem kan de posturale controle direct verstoren. Instabiliteit door articuleren kan ook het gevolg zijn van centrale bemiddeling. De spraak en balans maken namelijk gebruik van dezelfde structuren in het centrale zenuwstelsel [37, 39].

4.2.3 Visuele input

Visuele input is nodig om de positie van het hoofd en de bovenste helft van de romp te stabiliseren. Wanneer visuele input niet meer aanwezig is, zal de posturale controle afhankelijk zijn van input van het vestibulaire systeem en de proprioceptie. Zij zullen de visuele input niet volledig kunnen compenseren, de visus draagt namelijk bij aan de nauwkeurigheid van de uitvoering van bewegingen. Het bijstellen van bewegingen zal alleen goed plaats kunnen vinden wanneer de interactie van alle feedbacksystemen wordt gecombineerd [42, 43].



Bij afwezigheid van visuele input, kan de posturale controle gehandhaafd blijven mits andere zintuiglijke input aanwezig is en er geen sprake is van een hevige posturale verstoring [44]. Als een persoon met geopende ogen in een donker ruimte staat, is het lastiger om de posturale controle te handhaven dan wanneer hij de ogen gesloten heeft. Dit komt doordat de proefpersoon wellicht een visuele prikkel verwacht als de ogen geopend zijn. Het lichaam maakt dan gebruik van een specifiek motorisch programma en stelt zich in op visuele prikkels, waardoor andere signalen niet optimaal gebruikt worden [44].

4.2.4 Vestibulaire input

Het vestibulaire orgaan detecteert lineaire versnellingen van het hoofd in de ruimte en verschaft daarmee informatie over de positie van het hoofd. Daarnaast detecteert het hoekversnellingen, zoals de hoofdrotatie. Ondanks vestibulaire defecten kan posturale controle gehandhaafd blijven door andere efferente posturale input [28].

Een zittende houding kan gehandhaafd blijven op basis van vestibulaire input, zelfs zonder optimale proprioceptieve en visuele input. Het vestibulaire orgaan kan echter alleen optimaal functioneren, wanneer er een goede oriëntatie van het hoofd ten opzichte van de romp is. Door hoofdbewegingen in zit, met alleen de beschikbaarheid over vestibulaire input, verslechtert de zitbalans [45].

4.2.5 Somatosensorische en proprioceptieve input

Somatosensorische input omvat tast-, pijn-, temperatuur- en proprioceptieve prikkels. Met proprioceptie wordt de regulatie van posturale controle en gewrichtsstabiliteit bedoeld, die het spiergevoel initieert [46].

De mechanoreceptoren die verantwoordelijk zijn voor het registreren van proprioceptieve informatie worden vooral gevonden in spieren, pezen, ligamenten en kapsels. Daarnaast werken mechanoreceptoren, gelokaliseerd in het onderhuids bindweefsel mee aan de registratie van proprioceptieve informatie. Deze mechanoreceptoren worden oorspronkelijk geassocieerd met tactiele sensaties [46].

Proprioceptieve informatie speelt een belangrijke rol bij de handhaving van posturale controle tijdens statische houdingen. Het vestibulaire systeem detecteert slechts veranderingen in lichaamshouding bij een grote balansverstoring [47].



De proprioceptieve informatie afkomstig uit de cervicale musculatuur is verantwoordelijk voor het handhaven van de hoofd- en nekpositie, die op hun beurt weer noodzakelijk zijn voor het goed functioneren van het vestibulaire orgaan [28].

Normaliter staat een persoon niet onder een strikte balanscontrole, daardoor kan het individu makkelijk snelle bewegingen maken om te reageren op verstoringen van balans [48].

Gezonde personen zijn voor zeventig procent afhankelijk van hun somatosensorische input, voor tien procent van visuele en twintig procent van vestibulaire input met betrekking tot posturale controle [38].

4.2.6 Interactie tussen signaalverwerkende systemen

Het is de constante interactie die de controle van een rechtopstaande houding mogelijk maakt. Proprioceptieve input vanuit de cervicale wervelkolom en visuele input zorgen bijvoorbeeld voor het handhaven van de hoofd- en nekpositie, waardoor het vestibulaire orgaan weer beter kan functioneren. Terwijl de visuele input belangrijker is voor de constante houdingsreacties, is het vestibulaire systeem veel sneller in het reageren op vroege of kleine posturale verstoringen [28].

4.2.7 Motorische strategieën voor het handhaven van posturale controle

Er zijn drie motorische strategieën voor de posturale reacties op verstoringen van buitenaf, de enkel-, heup- en ‘suspensory’ strategie. De enkelstrategie wordt gebruikt om kleine verstoringen van het zwaartepunt op te vangen. Hierbij worden balansverplaatsingen uitgevoerd door de enkel. De heupstrategie wordt gebruikt wanneer het steunoppervlak erg smal is, of om grote verstoringen op te vangen. Verplaatsingen gebeuren hierbij voornamelijk door de heup. Bij de ‘suspensory’ strategie wordt door middel van flexie in de enkel, knie en heup getracht om de ‘center of gravity’ dichterbij de grond te krijgen [20, 49, 50].

Vanwege verschillen in lichaamsmorfologie, zoals gewicht en lengte, varieert de individuele stabiliteit. Deze variabiliteit kan effect hebben op de selectie van motorische strategieën [51]. Strategieën om posturale controle te handhaven variëren afhankelijk van het doel van het individu en de omgeving.



Een andere tweedeling die gemaakt kan worden in posturale strategieën is: 'fixed support' en de 'change in support'. 'Fixed support' is het vinden van de balans door gebruik te maken van de enkel- of heupstrategie. 'Change in support' is het verkrijgen van balans door het maken van een grijpbeweging of door een uitvalspas te maken [4, 21].

4.2.8 Meetinstrument

Approximate entropy (ApEn) is een meetinstrument waarbij gebruik gemaakt wordt van een platform, dat subtiele veranderingen in posturale controle detecteert. Door middel van het systematisch manipuleren van verschillende combinaties van visueel, vestibulair en somatosensorische stimulatie kan met ApEn veranderingen in de 'centre of pressure' gemeten worden bij volwassenen. Patiënten waarbij posturale controle niet verbetert gedurende de behandeling kunnen baat hebben bij ApEn. Hiermee kan de aard van neurofysiologische beperkingen opgespoord worden, die verbetering van posturale controle in de weg staan [52].

4.3 Ontwikkelingsaspecten van posturale controle

Aan de hand van de subvraagstelling: 'Wat is er bekend over de ontwikkelingsaspecten van posturale controle?' wordt de ontwikkeling van posturale controle toegelicht.

Allereerst worden neurologische aspecten met betrekking tot de ontwikkeling beschreven, vervolgens worden verklaringen voor de ontwikkeling van posturale controle gegeven.

Daarna wordt verder ingegaan op de ontwikkeling aan de hand van vier perioden. Ook de evenwichtsreacties, sensorische input en het ontwikkelen van posturale strategieën komen hierbij aan de orde. Tot slot wordt ingegaan op de verschillen tussen jong en oud.

4.3.1 Neurologische aspecten

Een model om de neurale basis van de ontwikkeling van houdings- en bewegingscontrole van kinderen te beschrijven is het reflexhiërarchisch model. Volgens dit model is het centrale zenuwstelsel georganiseerd als een hiërarchie. De primitieve reflexen, zoals stretch reflexen, komen vanuit het laagste niveau: het ruggenmergniveau.

(A)symmetrische tonische nekreflexen en tonische labyrint reflexen komen vanuit het volgende niveau, de hersenstam.



De opricht reacties komen vanuit de middenhersenen en de evenwichtsreacties vanuit het hoogste systeem van het centrale zenuwstelsel, de cortex [53, 54].

Motorische ontwikkeling wordt gezien als de verandering van reflexmatige naar vrijwillige controle [55]. Een mogelijke verklaring voor het gebrek aan posturale controle kan de aanwezigheid van primitieve reflexen zijn, die voorkomen dat hogere hersenniveaus kunnen functioneren en evenwichtsreacties optreden [51, 56].

4.3.2 Verklaringen voor de ontwikkeling van posturale controle

Voor de ontwikkeling van posturale controle kunnen twee verklaringen gegeven worden. Volgens de eerste verklaring verkennen kinderen de structurele en functionele relatie tussen verschillende lichaamssegmenten, vooral van het bovenlichaam ten opzichte van onderlichaam. Dit gebeurt omdat posturale controle coördinatie vereist van het gehele lichaam. Volgens de tweede verklaring verkent het kind de relatie tussen verschillende sensorische informatiebronnen en de acties van het lichaam [57].

4.3.3 Fysiologische en musculaire aspecten

De lordose en kyfose van de wervelkolom zijn nog niet volledig ontwikkeld bij de geboorte. Deze rondingen worden gevormd, doordat het lichaam zich aanpast aan de zwaartekracht. Tijdens het kruipen wordt de lordose van de lumbale wervelkolom gevormd en door het oprichten van het hoofd ontstaat de cervicale lordose. Door de rondingen van de wervelkolom kunnen rugspieren een rechtopstaande houding efficiënter handhaven. In het begin is rechtopstaande posturale controle een vrijwillige spiertaak. Naarmate de taak vaker herhaald wordt, wordt deze geautomatiseerd. Herhaalde vrijwillige beweging van een posturale taak wordt sneller en makkelijker als het netwerk van neuromotorische banen wordt uitgebreid [28, 58].

4.3.4 De ontwikkeling in vier perioden

Tijdens de ontwikkeling van posturale controle kunnen vier perioden onderscheiden worden. De eerste periode begint vanaf het eerste levensjaar en duurt totdat het kind kan staan. De posturale controle is descenderend, ‘top down’, georganiseerd. Dat wil zeggen dat de eerste activiteit in de nekspiermusculatuur plaatsvindt, daarna in de romp en als laatste in de onderste extremiteit.



Posturale controle begint met hoofdbalans. Al vroeg in het leven laten baby's zien dat zij hun hoofd kunnen optillen, dit komt tot stand door een hoofd-stretch-reflex, die door het vestibulaire orgaan wordt geïnitieerd [51, 59, 60]. De hoofdbalans wordt beter door reik- en grijpbewegingen [61]. Vervolgens laten kinderen een zitpositie zien, die descenderend georganiseerd wordt. Zodra de staande houding wordt gehandhaafd, moeten jonge kinderen het hele lichaam controleren ten opzichte van de zwaartekracht [59].

De tweede periode begint met het onafhankelijke staan en is ascenderend, 'bottom up', georganiseerd. In een staande houding betekent dit van de voeten naar het hoofd. Vervolgens leert het kind lopen. Tijdens het lopen moet het kind de knie en de enkel leren coördineren, waarbij het cerebellum een grote rol speelt.

De stabiliteit op één been moet hierbij gehandhaafd blijven, waardoor het steunoppervlak kleiner en het lichaam instabieler wordt. Om het lichaam te stabiliseren dient kracht opgebouwd te worden in de onderste extremiteit. In het looppatroon laat een kind zes maanden na de eerste stapjes zien, dat het kan anticiperen op omgevingsinvloeden. Vanaf deze leeftijd is balans controle vanuit de heupen georganiseerd: van de heupen naar het hoofd ascenderend en van de heupen naar de voeten descenderend. Als de leeftijd van zeven jaar is bereikt, laat het kind een gelijkwaardige posturale controle zien aan die van de volwassene, mits gebruik gemaakt kan worden van alle sensorische systemen [59].

De derde periode begint vanaf het zevende levensjaar. Tijdens deze periode wordt het hoofd in de ruimte gestabiliseerd. Hierbij wordt nauwkeurig gebruik gemaakt van visuele en vestibulaire input. In de vierde periode wordt men volwassen en wordt gebruik gemaakt van selectieve controle van de cervicale wervelkolom [59].

4.3.5 Evenwichtsreacties

Bij een kind worden tijdens de eerste tot de derde levensmaand duidelijke evenwichtsreacties waargenomen. Vervolgens verdwijnen deze en bereiken een dieptepunt rond de derde maand, om na vijf maanden weer terug te keren. Hierna ontwikkelen deze bewegingen zich tot evenwichtsreacties die te zien zijn bij een gezond volwassen persoon. Deze evenwichtsreacties zijn nodig om te reageren op signalen van buitenaf [38, 51].



4.3.6 Sensorische input

Verschillende combinaties van de drie belangrijke sensorische informatiebronnen, visuele, somatosensorische en vestibulaire, worden door kinderen gebruikt, afhankelijk van de omgevingssituatie [59, 62]. Baby's en jonge kinderen gebruiken veelal visuele input bij het handhaven van statische posturale controle. Kinderen van twee maanden rekenen op visuele prikkels om het hoofd en lichaam te oriënteren [63-65]. Van drie tot zes maanden laat het kind een voortdurende vooruitgang in zijn bewegingen zien [51, 60]. Wanneer kinderen beginnen te kruipen, gaat andere sensorische input een belangrijke rol spelen zoals proprioceptieve en vestibulaire input. De afhankelijkheid van visuele feedback neemt dan af [63]. Op een leeftijd van zeven jaar is met name vestibulaire input belangrijk [64]. Jongens rond die leeftijd vertonen een grotere posturale instabiliteit dan meisjes. Op die leeftijd is de vestibulaire functie bij meisjes meer ontwikkeld [66]. Vanaf acht- en negenjarige leeftijd tot aan de volwassenheid wordt de visuele input weer belangrijker voor het handhaven van posturale controle [59, 63]. De ontwikkeling van visuele, vestibulaire en somatosensorische systemen kan ervoor zorgen dat leeftijdsgerelateerde veranderingen de balanscontrole vergroten [67].

Kinderen van drie tot vier jaar laten somatosensorische functies zien die gelijk zijn aan een volwassene. De visuele functie ontwikkelt zich langzamer. Een kind van 14 tot 15 jarige leeftijd laat hetzelfde visuele niveau als die van een volwassene zien. De vestibulaire functie ontwikkelt zich weer langzamer dan de visuele [51].

Zelfs op 14 tot 15 jarige leeftijd is nog niet het niveau van een volwassene bereikt. Dit laat dus zien dat het vestibulaire systeem zich veel langzamer ontwikkelt dan de twee andere systemen [66, 68].

4.3.7 Het ontwikkelen van posturale strategieën

De eerste stap voor kinderen, met betrekking tot het handhaven van posturale controle, is een repertoire aan posturale strategieën opbouwen. De tweede stap is het selecteren van de juiste strategie afhankelijk van de taak en beweging [64]. Vanaf een leeftijd van zes maanden is een kind in staat om deze strategie te kiezen en kunnen de juiste spieren worden geactiveerd om evenwicht te handhaven.

Het kind van zes maanden is in staat om gericht te reiken. Dit duidt erop dat er een overgang plaatsvindt van onwillekeurig naar willekeurig bewegen.



Daarnaast is een kind van zes maanden in staat om zelfstandig te zitten. De enige manier waardoor dit mogelijk is, is het vermogen om gebruik te maken van evenwichtsreacties. Tussen zes en negen á tien maanden wordt het kind beter in staat de juiste strategie te kiezen. [51, 60].

4.3.8 Verschillen tussen jong en oud met betrekking tot de ontwikkelingsaspecten

Hieronder worden allereerst een aantal algemene verschillen tussen jong en oud weergegeven. Vervolgens de verschillen tussen jong en oud tijdens het uitvoeren van cognitieve taken. Daarnaast zullen veranderingen van motorische strategieën aan bod komen. Tot slot wordt het effect van het inactiever worden van de oudere mens beschreven.

Jonge kinderen (vier tot 14 jaar) hebben in vergelijking met volwassenen een kleiner steunoppervlak. Daarnaast hebben ze een grotere bewegingsuitslag tijdens het stilstaan.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat kinderen instabieler zijn dan volwassenen.

De belangrijkste factoren die bepalend zijn voor de stabiliteit zijn de fysische factoren als gewicht, lengte en grootte van de voeten [18].

Bij het ouder worden, verslechtert en vertraagt de posturale controle door een verminderde sensorische input, een verminderde spierkracht en een verminderde elasticiteit van pezen [51, 69, 70].

Bij de uitvoering van cognitieve taken is de leeftijd van invloed op de posturale controle. Als de cognitieve taken moeilijker worden, is de posturale controle voor mensen ouder dan zeventig jaar lastiger te handhaven dan voor jongere volwassenen rond de 24 jaar [10]. Bij het uitvoeren van dubbeltaken vallen ouderen vaker en de hersteltijd na het verstoren van balans is langer [37, 40]. Beperkingen met betrekking tot de posturale controle die ouderen ondervinden, leiden tot een verlies van functionaliteit [71, 72].

4.4 Discussie en conclusie

Aan de hand van onze resultaten kan onderzoeksvraag 1: ‘Wat is er in de huidige wetenschappelijke literatuur bekend over posturale controle, over de ontwikkeling en werking van dit mechanisme en over de handhaving en verstoringen hiervan?’ beantwoord worden. Daarnaast zullen een aantal aanbevelingen voor toekomstig onderzoek gedaan worden.



Posturale controle is een complex mechanisme om balans te behouden of te bereiken. De handhaving ervan is afhankelijk van een aantal samenwerkende sensorische systemen die input, afkomstig van de omgeving en van binnen in het lichaam, verwerken.

Dit zijn het visuele, vestibulaire, somatosensorische, proprioceptieve, corticospinale en neuromusculaire systeem. Deze input wordt gebruikt om de keuze te maken uit een bestaand motorisch programma. Dit programma zorgt voor een posturale reactie met als doel de posturale controle te handhaven. De werking van deze mechanismen kan beïnvloed worden door neuropsychologische factoren zoals aandacht die vereist is bij het uitvoeren van dubbeltaken. Ook het respiratoire systeem kan van invloed zijn [37, 39].

De ontwikkeling van de systemen, die tezamen zorgen voor posturale controle, start vanaf de geboorte en per systeem is er een verschillend aantal jaren nodig om volgroeid te zijn.

Als de leeftijd van zeven jaar is bereikt, laat het kind een gelijkwaardige posturale controle zien aan die van de volwassene, mits gebruik gemaakt kan worden van alle sensorische systemen [59]. Op een leeftijd van 14 tot 15 jaar functioneren alle systemen afzonderlijk zoals bij gezonde volwassenen, behalve het vestibulaire systeem.

Door per onderwerp onze subvragen te beantwoorden zal nog iets dieper worden ingegaan op het antwoord van onze vraagstellig.

1a: ‘Welke definitie van het mechanisme posturale controle is het meest gangbaar?’

Er worden een aantal definities door elkaar gebruikt die in wezen allemaal hetzelfde aanduiden. Met de begrippen posturale controle, houdingscontrole en stabiliteit wordt geduid op het handhaven van de balans. Balans of equilibrium is een staat waarin een individu, ondanks allerlei verstoringen, niet valt en uiteindelijk weer terugkeert naar zijn begin positie. Het begrip posturale controle verschilt van de andere begrippen doordat het expliciet het behouden van balans is tijdens elke houding en activiteit [4, 15-17, 46].

1b: ‘Wat is er in de literatuur bekend over de fundamentele aspecten van posturale controle?’

In de huidige literatuur is niet veel fundamenteel onderzoek van een hoge methodologische kwaliteit bij mensen gedaan. Veel fundamentele onderzoek is uitgevoerd op dieren.

Conclusies uit deze onderzoeken kunnen echter niet gegeneraliseerd worden naar mensen, aangezien zij uniek zijn in hun tweebenigheid en hierdoor een andere anatomische bouw hebben [20]. Toekomstig onderzoek zou zich hier meer op moeten richten.



Een aantal conclusies die getrokken kunnen worden uit fundamenteel onderzoek bij mensen luiden als volgt. De motorische cortex, het cerebellum, de hersenstam en de basale ganglia zijn betrokken bij de posturale controle. De motorische cortex speelt van deze drie structuren de grootste rol [20]. Posturale controle komt tot stand via automatische reflexen die werken via een enorm netwerk van perifere en centrale zenuwbanen. Ze worden uitgelokt door een sensorische stimulus [4]. In andere studies wordt beschreven dat de posturale controle werkt volgens motorische programma's [20, 49, 50]. Hoe de interactie tussen deze twee systemen plaatsvindt, als er al sprake is van interactie, is onduidelijk. Hier zou meer onderzoek naar gedaan moeten worden.

Daarnaast worden in de literatuur verschillende opvattingen gevonden over de werking van posturale controle. Er wordt gesteld dat houding wordt gecontroleerd als één compleet geheel, terwijl andere auteurs van mening zijn dat houding gebaseerd is op segmenten: het hoofd, de romp en de benen [22, 25]. Ook dit zou in de toekomst verder uitgediept kunnen worden.

1c: 'Welke interne en externe factoren beïnvloeden posturale controle?'

Sensorische systemen zijn een vereiste om posturale controle te handhaven, onder welke omstandigheden en omgeving dan ook. Gezonde personen zijn voor zeventig procent afhankelijk van hun somatosensorische input, voor tien procent van visuele en twintig procent van vestibulaire input met betrekking tot posturale controle [38]. Dit zijn de drie belangrijkste sensorische informatiebronnen. Over de precieze werking van elk systeem is tegenstrijdige informatie gevonden in de literatuur. Er wordt gesteld dat het vestibulaire systeem grote posturale verstoring vereist om een verandering in lichaamsoriëntatie te kunnen detecteren [47]. In andere studies wordt beschreven dat het vestibulaire systeem veel sneller is in het reageren op kleine posturale verstoringen dan het visuele systeem [28]. Over de precieze werking van dit systeem zou meer onderzoek naar gedaan moeten worden.

Wat betreft de wederzijdse afhankelijkheid van de sensorische systemen zijn er verschillende opvattingen.

Volgens enkele studies kan de afwezigheid van visuele input niet volledig worden gecompenseerd door input van de andere sensorische systemen [42, 43]. Volgens anderen hoeft de afwezigheid van visuele input totaal geen invloed te hebben op de posturale controle, zolang er andere sensorische input aanwezig is [44].



Het corticospinale en neuromusculaire systeem helpen mee met de verwerking van alle input. Afhankelijk van de input wordt een keuze gemaakt uit één van de drie motorische programma's die gebruikt worden om de posturale controle te handhaven: de enkel-, de heup of de 'suspensory' strategie.

Een aantal factoren kunnen zorgen voor verstoringen van de posturale controle of voor een veranderde werking van de sensorische systemen. Neuropsychologische factoren zijn bijvoorbeeld van invloed doordat aandacht gericht op het handhaven van de posturale controle deze juist verslechtert. Het afleiden van de aandacht op het handhaven van de balans, door een makkelijke dubbeltaak, verbetert de posturale controle. De posturale controle tijdens het uitvoeren van een moeilijke taak wordt juist weer slechter, doordat er een grotere mentale activiteit nodig is. Om al deze invloeden te bestuderen kan gebruik gemaakt worden van Approximate entropy (ApEn), een meetinstrument, dat subtiele veranderingen in posturale controle detecteert [52].

1d: 'Wat is er bekend over de ontwikkelingsaspecten van posturale controle?'

Al vanaf de eerste maand worden duidelijke evenwichtsreacties bij baby's waargenomen [38, 51, 73]. Motorische ontwikkeling wordt gezien als de verandering van reflexmatige naar vrijwillige controle [55]. Ook kinderen maken gebruik van motorische programma's, deze moeten wel eerst gevormd worden. Vanaf een leeftijd van zes maanden is een kind in staat om het juiste programma te kiezen en de corresponderende spieren te activeren om het evenwicht te handhaven [63].

De ontwikkeling van de sensorische systemen verschilt per systeem. Het somatosensorische systeem is op een leeftijd van drie tot vier jaar gelijk aan dat van een volwassene. Het visuele systeem is pas volledig ontwikkeld op een leeftijd van 14 tot 15 jaar.

Op deze leeftijd is het vestibulaire systeem nog niet gelijk aan dat van een volwassene. De ontwikkeling van dit systeem duurt het langst [51, 66, 68]. Vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op de precieze leeftijd waarop het vestibulaire systeem ontwikkeld is.

Tijdens de eerste levensmaanden verschilt per maand welk sensorisch systeem het meest gebruikt wordt. Op latere leeftijd worden verschillen gezien in de ontwikkeling van deze systemen bij jongens en meisjes. De vestibulaire functie is op zeven- en achtjarige leeftijd bij meisjes duidelijk beter ontwikkeld dan bij jongens. Jongens hebben op die leeftijd ook een grotere posturale instabiliteit [66].



Met betrekking tot posturale controle worden een aantal veranderingen gezien die gepaard gaan met het ouder worden. In vergelijking tot jongeren hebben ouderen meer moeite met de handhaving van posturale controle. Posturale reacties vertragen en worden zwakker, waardoor de mogelijkheid om zich aan te passen aan verstoringen vermindert. Dit komt deels doordat de sensorische input vermindert en de vestibulaire sensitiviteit verslechtert. Daarnaast spelen zowel vermindering in spierkracht als mechanische aspecten een rol bij het verslechteren van de posturale controle [51, 69, 70].

Met deze literatuurstudie hopen wij de basis gelegd te hebben voor verder onderzoek naar posturale controle en de toepassingen hiervan.

Als vervolgonderzoek op deze literatuurstudie zouden wij een onderzoek willen aanbevelen naar posturale controle bij kinderen met infantiele encefalopathie. Op basis van onze literatuurstudie, tezamen met een studie naar posturale controle bij kinderen met infantiele encefalopathie, kan mogelijk een meetinstrument ontwikkeld worden. Met dit meetinstrument zou binnen de afdeling fysiotherapie van de Stichting Revalidatie Limburg, Franciscusoord en andere instellingen, posturale controle gemeten kunnen worden bij kinderen met infantiele encefalopathie.



Literatuurlijst

- [1] Chiari L, Cappello A. Musculoskeletal modeling in the control of posture. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2005;6(3):271-6.
- [2] McNevin NH, Wulf G. Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human movement science*. 2002;21(2):187-202.
- [3] Rey F, Lê T, Kapoula Z. Saccades horizontal or vertical at near or far do not deteriorate postural control. *Auris Nasus Larynx*. 2008;35(2):185-91.
- [4] Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? *Clinical Rehabilitation*. 2000;14(4):402-6.
- [5] Brande van den JL, Heymans HSA, Monnens LAH. *Kindergeneeskunde*. Maarssen: Elsevier gezondheidszorg 1998.
- [6] Gramsbergen A, Hadders-Algra M. *Posture in the Picture: On the Relevance of Postural Control in Children with Developmental Motor Disorders*. Freund Publishing House. 2005;12(2-3).
- [7] Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006;35.
- [8] Staal JF, Lissens RF, Devreker A, Presser J, Wiggers AJ. *De Grote Winkler Prins Encyclopedieën*. 7 ed: Elsevier Amsterdam-Brussel 1966.
- [9] Thelen E, Smith LB. *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge 1994.
- [10] Huxhold O, Li SC, Schmiedek F, Lindenberger U. Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*. 2005;69:294-305.
- [11] Bugnariu N, Fung J. Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2007;4(19):4-19.
- [12] Scorelijsten ter beoordeling kwaliteit van onderzoek. [cited; Available from: <http://www.nvsha.nl/tekst/autolist/algemeen/Evidence%20Based%20Medicine/EBM%20Scorelijsten%20wetenschappelijk%20onderzoek.pdf>]
- [13] PEDro Scale. [cited; Available from: http://www.pedro.org.au/scale_item.html]
- [14] Bouter LM, Dongen van MCIM. *Epidemiologisch onderzoek Opzet en interpretatie*. Houten: Bohn Stafleu Van Loghum bv 2000.



- [15] Thomas CL. Taber's Cyclopedic Medical Dictionary. 17 ed. Philadelphia: Davis, F.A. 1993.
- [16] Johansson R, Magnusson M. Human postural dynamics. Critical Reviews Biomechanica England. 1991;18:413-37.
- [17] Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, part 1: the physiologic basis of functional joint stability. Journal of Athletic Training. 2002;37(1):71-9.
- [18] Riach CL, Starkers JL. Stability limits of quiet standing postural control in children and adults. Gait and Posture. 1993;1:105-11.
- [19] Kirshenbaum N, Riach CL, Starkes JL. Non-linear development of postural control and strategy use in young children: a longitudinal study. Experimental Brain Research. 2001;140:420-31.
- [20] Bridger RS. Some fundamental aspects of posture related to ergonomics International Journal of Industrial Ergonomics. 1991;8(1):3-15.
- [21] Massion J. Postural control system. Current Opinion in Neurobiology. 1994;4(6):877-87.
- [22] Gurfinkel EV. Physical foundations of stabilography. Agressologie. 1973;14:9-13.
- [23] Roll JP. Contribution de la proprioception musculaire a` la perception et au contro`le du mouvement chez l`homme. The`se de Doctorat e`s-Sciences. 1981.
- [24] Mergner T, Hlavacka F, Schweigart G. Interaction of vestibular and proprioceptive inputs. Journal of Vestibular Research. 1993;3(41-57).
- [25] Assaiante C, Amblard B. Ontogenesis of head stabilization in space during locomotion in children: influence of visual cues. Experimental Brain Research. 1993;93:499-515.
- [26] Martin JH. The corticospinal system: from development to motor control. The Neuroscientist. 2005;11(2):161-73.
- [27] Slobounov S, Hallet M, Stanhope S, Shibasaki H. Role of the cerebral cortex in human postural control: an EEG study. Clinical Neurophysiology. 2005;116(2):315-23.
- [28] Morningstar M, Pettibon B, Schlappi H, Schlappi M, Ireland TV. Reflex control of the spine and posture: a review of the literature from a chiropractic perspective. Chiropractic & Osteopathy. 2005;13(16).
- [29] Danis CG, Krebs DE, Gill-Body KM, Sahrman S. Relationship between standing posture and stability. Physical Therapy. 1998;78(5):502-17.
- [30] Rougier P. The influence of having the eyelids open or close don undisturbed postural control. Neuroscience Research. 2003;47(1):73-83.



- [31] Massion J. Postural control systems in developmental perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 1998;22(4):465-72.
- [32] Cholewicki J, Polzhofer GK, Radebold A. Postural control of trunk during unstable sitting. *Journal of Biomechanics*. 2000;33:1733-7.
- [33] Rose J, Gamble JG. *Human walking*; Baltimore Md Williams and Wilkins 1995.
- [34] Woollacott M, Horak F. *Posture and Gait: Control Mechanisms*; University of Oregon Books 1992.
- [35] McNevin NH, Wulf G. Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control. *Human movement science*. 2002;21(2):187-202.
- [36] Vuillerme N, Nafati G. How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing. *Psychological Research*. 2005;71:192-200.
- [37] Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait and Posture*. 2002;16(1):1-14.
- [38] Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls. *Age Ageing*. 2006;35(2):7-11.
- [39] Bouisset S, Duchenne JL. Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? *Neuroreport*. 1994;5:957-60.
- [40] Redfern MS, Jennings JR. Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait and Posture*. 2001;14(3):211-6.
- [41] Andersson G, Yardley L, Luxon L. A dual task study of interference between mental activity and control of balance. *The American Journal of Otology*. 1998;19(5):632-7.
- [42] Harrison DE, Janik TJ, Harrison DD, Cailliet R, Harmon SF. Can the thoracic kyphosis be modeled with a simple geometric shape? The results of circular and elliptical modeling in 80 asymptomatic patients. *Journal of Spinal Disorders*. 2002;15:213-20.
- [43] Silfies SP, Cholewicki J, Radebold A. The effects of visual input on postural control of the lumbar spine in unstable sitting. *Human movement science*. 2003;22(3):237-52.
- [44] Hafström A, Fransson P, Karlberg M, Ledin T, Magnusson M. Visual influence on postural control, with and without visual motion feedback. *Acta Oto-Laryngologica*. 2002;122(4):392-7.
- [45] Blouin J, Teasdale N, Mouchnino L. Vestibular signal processing in a subject with somatosensory deafferentation: The case of sitting posture. *BMC Neurology*. 2007;7(25).



- [46] Sherrington CS. The Integrative Action of the Nervous System. New York: NY: C Scribner's Sons 1906.
- [47] Vaugoyeau M, Viel S, Amblard B, Azulay JP, C. A. Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans. *Gait and Posture*. 2008;27(2):294-302.
- [48] Chow CC, Lauk M, Collins JJ. The dynamics of quasi-static posture control. *Human movement science*. 1999;18(5):725-40.
- [49] Nashner LM, McCollum G. The organization of human postural movements: a formal basis and experimental synthesis. *Behavioural Brain Science*. 1985;9:135-72.
- [50] Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configuration. *Journal of Neurophysiology*. 1986;55:1369-81.
- [51] Woollacot MH, Tang PF. Balance control during walking in the older adult: research and its implications. *Physical Therapy*. 1997;77(6):646-60.
- [52] Cavanaugh JT, Mercer VS, Stergiou N. Approximate entropy detects the effect of a secondary cognitive task on postural control in healthy young adults: a methodological report. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2007;4(42):4-42.
- [53] Chandler LS, Andrews MS, Swanson MW. Movement Assessment of infants: A manual. Washington: Rolling Bay Press 1980.
- [54] Ebgen SK. Integration of the plantar grasp reflex as an indicator of ambulation potential in developmentally disabled infants. *Physical Therapy*. 1982;62:433-5.
- [55] Gilfoyle EM, Grady AP, Moore KC. Children Adapt: Slack Inc 1986.
- [56] Holt KS. Movement and Child Development. Philadelphia: JB Lippincott Co 1975.
- [57] Metcalfe JS, Clark JE. Sensory information affords exploration of posture in newly walking infants and toddlers. *Infant Behavior and Development*. 2000;23(3-4):391-405.
- [58] Harbst KB, Wilder PA. Neurophysiologic, motor control, and motor learning basis of closed kinetic chain exercise. *Orthopedic Physical Therapy Clin N Am*. 2000;9:137-49.
- [59] Assaiante C, Amblard B. An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans. *Human movement science*. 1995;14(1).
- [60] Hadders-Alga M. Development of postural control during the first 18 months of life *Neural Plasticity*. 2005;12(2-3):99-108.



- [61] Assaiante C. Development of locomotor balance control in healthy children
Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 1998;22(4):527-32.
- [62] Nashner LM, Berthoz A. Visual contribution to rapid motor responses during posture control. Brain Kes. 1978;150:403-7.
- [63] Woollacott M, Debu B. Neuromuscular control of posture in the infant and child. Journal of Motor Behaviour. 1987;19:167-8.
- [64] Assaiante C, Mallau S, Viel S, Jover M, Schmitz C. Development of postural control in healthy children: a functional approach. Neural Plasticity. 2005;12(2-3):109-18.
- [65] Butterworth G, Hicks L. Visual proprioception and postural stability in infancy: A developmental study. Perception. 1977;6:255-62.
- [66] Hirabayashi S, Iwasaki Y. Developmental perspective of sensory organization on postural control. Brain and Development. 1995;17(2):111-3.
- [67] Nolan L, Grigorenko A, Thorstensson A. Balance control: sex and age differences in 9- to 16-year-olds. Developmental Medicine and Child Neurology. 2005;47(7):449-54.
- [68] Schmid M, Conforto S, Lopez L, Renzi P, D'alessio T. The development of postural strategies in children: a factorial design study. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2005;2(29).
- [69] Keshner EA, Allum HJH, Honegger F. Predictors of less stable postural responses to support surface rotation in healthy human elderly. Vestibular Research. 1993;3:419-129.
- [70] Menz HB, Lord SR, Fitzpatrick RC. Age-related differences in walking
Age and Ageing. 2003;32:137-42.
- [71] Shimada H, Obuchi S, Kamide N, Shiba Y, Okamoto M, Kakurai S, et al. Relationship with dynamic balance function during standing and walking. American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation. 2003;82(7):511-6.
- [72] Gauchard GC, Gangloff P, Jeandel C, Perrin PP. Physical activity improves gaze and posture control in the elderly. Neuroscience Research. 2003;45:409-17.
- [73] Hedberg A, Carlberg EB, Forssberg H, Hadders-Algra M. Development of postural adjustments in sitting position during the first half year of life. Development Medicine & Child Neurology. 2005;47(5):312-20.



Bijlage 1: Geincludeerde artikelen

1. Allum JHJ, Honegger F, et all.
Differential control of leg and trunk muscle activity by vestibulo-spinal and proprioceptive signals during human balance corrections
2. Andersson G, Yardley L, et all.
A dual task study of interference between mental activity and control of balance
3. Assaiante C
Development of locomotor balance control in healthy children
4. Assaiante C, Amblard B
An ontogenetic model for the sensorimotor organization of balance control in humans
5. Assaiante C, Mallau S, et all.
Development of postural control in healthy children: a functional approach.
6. Berger W, Quintern J, et all.
Stance and gait perturbations in children: developmental aspects of compensatory mechanisms
7. Bessou M, Séverac Cauquil A, et all.
Specificity of the monocular crescents of the visual field in postural control
8. Blouin J, Teasdale N, et all.
Vestibular signal processing in a subject with somatosensory deafferentation: The case of sitting posture
9. Bottaro A, Yasutake Y, et all.
Bounded stability of the quiet standing posture: an intermittent control model
10. Bridger RS
Some fundamental aspects of posture related to ergonomics
11. Brooks VB
Motor control. How posture and movements are governed
12. Bugnariu N, Fung J
Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance
13. Cavanaugh JT, Mercer VS, et all.
Approximate entropy detects the effect of a secondary cognitive task on postural control in healthy young adults: a methodological report
14. Chiari L, Cappello A
Musculoskeletal modeling in the control of posture
15. Cholewicki J, Polzhofer GK, et all.
Postural control of trunk during unstable sitting
16. Chow CC, Lauk M, et all.
The dynamics of quasi-static posture control.
17. Danis CG, Krebs DE, et all.
Relationship between standing posture and stability
18. Dichgans J, Diener HC
The contribution of vestibulo-spinal mechanisms to the maintenance of human upright posture
19. Dietz V
Interaction between central programs and afferent input in the control of posture and locomotion
20. Dietz V, Schubert M, et all.
Influence of visuoproprioceptive mismatch on postural adjustments.



21. Feldman AG, Levin MF, et all.
Multi-muscle control in human movements
22. Forssberg H, Nashner .
Ontogenetic development of postural control in man: adaptation to altered support and visual conditions during stance
23. Foudriat BA, Di Fabio RP, et all.
Sensory organization of balance responses in children 3-6 years of age: a normative study with diagnostic implications
24. Gauchard GC, Gangloff P, et all.
Physical activity improves gaze and posture control in the elderly
25. Hadders-Alga M.
Development of postural control during the first 18 months of life
26. Hadders-Alga M, Brogren E, et all.
Development of postural control- differences between ventral and dorsal muscles
27. Hafstrom A, Fransson P, et all.
Visual influence on postural control, with and without visual motion feedback
28. Harbourne RT, Stergiou N
Nonlinear analysis of the development of sitting postural control
29. Hedberg A, Brogren E, et all.
Development of postural adjustments in sitting position during the first half year of life
30. Hirabayashi S, Iwasaki Y
Developmental perspective of sensory organization on postural control
31. Horak FB
Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls
32. Horstmann G, Dietz V
A basic posture control mechanism: the stabilization of the centre of gravity
33. Huxhold O, Li S, et all.
Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention
34. Hytönen M, Pyykkö I, et all.
Postural control and age
35. Iles JF, Baderin R, et all.
Human standing and walking: comparison of the effects of stimulation of the vestibular system
36. Ioffe ME, Chernikova LA, et all.
Role of cerebellum in learning postural tasks
37. Isableu I, Ohlmann T, et all.
Differential approach to strategies of segmental stabilisation in postural control
38. Kirshenbaum N, Riach C, et all.
Non-linear development of postural control and strategy use in young children: a longitudinal study
39. Kleiber M, Horstmann A, et all.
Body sway stabilization in human posture
40. Lacoste M, Therrien M, et all.
Assessment of seated postural control in children: comparison of a force platform versus a pressure mapping system



41. Lafond D, Descarreaux M, et al.
Postural development in school children: a cross-sectional study
42. Laughton, C.A., Slavin, M., et al.
Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment.
43. Martin JH
The corticospinal system: from development to motor control
44. Massion J
Postural control system
45. Massion J
Postural control systems in developmental perspective
46. McNevin NH, Wulf G
Attentional focus on supra-postural tasks affects postural control
47. Menz HB, Lord SR, et al.
Age-related differences in walking
48. Metcalfe JS, Clark JE
Sensory information affords exploration of posture in newly walking infants and toddlers
49. Morasso PG, Baratto L, et al.
Internal models in the control of posture
50. Morningstar MW, Pettibon BR, et al.
Reflex control of the spine and posture: a review of the literature from a chiropractic perspective
51. Morton SM, Bastian AJ
Cerebellar control of balance and locomotion
52. Newell KM, Slobounov SM, et al.
Short-term non-stationary and the development of postural control
53. Newell KM, Slobounov SM, et al.
Stochastic processes in postural center-of-pressure profiles
54. Nolan L, Grigorenko A, et al.
Balance control: sex and age differences in 9- to 16-year-olds
55. Petersen H, Magnusson M, et al.
Vestibular disturbance at frequencies above 1 Hz affects human postural control
56. Peterson ML, Christou E, et al.
Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old
57. Pollock AS, Durward BR, et al.
What is balance?
58. Preuss R, Fung J
Musculature and biomechanics of the trunk in the maintenance of upright posture
59. Redfern MS, Jennings JR, et al.
Attention influences sensory integration for postural control in older adults
60. Rey F, Lê T, et al.
Saccades horizontal or vertical at near or at far do not deteriorate postural control
61. Riach CL, Starkers P
Stability limits of quiet standing postural control in children and adults
62. Riemann BL, Lephart SM
The sensorimotor system, part 1: the physiologic basis of functional joint stability
63. Rougier P.



- The influence of having the eyelids open or close don undisturbed postural control
64. Rougier P, Burdet C, et all.
Backward and forward leaning postures modelled by an fBm framework
 65. Schmid M, Conforto S, et all.
The development of postural strategies in children: a factorial design study
 66. Shimada H, Obuchi S, et all.
Relationship with dynamic balance function during standing and walking
 67. Sieb RA
Proposed mechanisms for cerebellar coordination, stabilization and monitoring of movements and posture.
 68. Silfies SP, Cholewicki J, et all.
The effects of visual input on postural control of the lumbar spine in unstable sitting.
 69. Slijper H, Latash ML
The effects of muscle vibration on anticipatory postural adjustments
 70. Slobounov S, Hallet M, et all.
Role of the cerebral cortex in human postural control: an EEG study
 71. Solopova IA, Kazennikov OV, et all.
Postural instability enhances motor responses to transcranial magnetic stimulation in humans
 72. Sundermier L, Woollacott M, et all.
The development of balance control in children: comparisons of EMG and kinetic variables and chronological and development groupings
 73. Vaugoyeau M, Viel S, et all.
Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans
 74. Vuillerme N, Nafati G
How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing
 75. Vuillerme N, Nougier V, et all.
Effects of a reaction time task on postural control in humans
 76. Woollacott M, Shumway-Cook A.
Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research.
 77. Woollacott MH, Shumway-Cook A
Changes in posture control across the life span – a systems approach
 78. Woollacott MH, Tang PF.
Balance control during walking in the older adult: research and its implications