

De invloed van een vestibulaire disfunctie op de motorische prestatie van kinderen met een gehoorstoornis

Alexandra De Kegel (PT, PhD)^{1,2}, Hilde Van Waelvelde (PT, PhD)¹,
Ingeborg Dhooge (MD, PhD)^{2,3} en Leen Maes (AUD, PhD)⁴

¹ Faculteit Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen, Vakgroep Revalidatiewetenschappen en Kinesitherapie, Universiteit Gent

² Medische dienst Neus-, Keel en Oorheelkunde, Universitair Ziekenhuis Gent

³ Faculteit Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen, Vakgroep Neus-, Keel- en Oorheelkunde, Universiteit Gent

⁴ Faculteit Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen, Vakgroep Spraak-, Taal- en Gehoorwetenschappen, Universiteit Gent

Samenvatting

De doelstelling van deze studie is het identificeren van het voorspellend vermogen van vestibulaire functietests op de motorische prestaties van kinderen met een gehoorstoornis. Hiervoor werden 51 typisch ontwikkelende kinderen en 48 kinderen met een gehoorverlies tussen 3 en 12 jaar getest met behulp van de Movement Assessment Battery for Children (2^{de} editie) (Movement ABC-2), klinische evenwichtstests, posturografie, een draaistoeltest en de registratie van vestibulair uitgelokte spierpotentialen in de nek (cVEMP-test). De resultaten tonen aan dat kinderen met een gehoorverlies een verhoogd risico op evenwichtsstoornissen hebben en dat vestibulaire functietests gebruikt kunnen worden om de motorische evenwichtsprestatie van deze kinderen te voorspellen.

Deze studie kaderde in een project dat mede werd ondersteund door de
Adviesraad Wetenschappelijk Onderzoek van Sig.

1. Inleiding

Kinderen met een gehoorstoornis hebben een verhoogd risico op motorische stoornissen, meer bepaald op evenwichtsstoornissen (Hartman, Houwen & Visscher, 2011; Effgen, 1981; Siegel, Marchetti & Tecklin, 1991; Butterfield & Ersing, 1986; Horak, Shumway-Cook, Crowe & Black, 1988; Rine e.a., 2004; Coll, 1991; Gayle & Pohlman, 1990; Lindsey & O'Neal, 1976; Potter & Silverman, 1984; Boyd, 1967; Butterfield, 1986; Geddes, 1978; Long, 1932; Wiegersma & Vandervelde, 1983; Myklebust, 1964; Cushing, Papsin, Rutka, James & Gordon, 2008; Livingstone & McPhillips, 2011). Een adequate evenwichtscontrole vereist integratie van visuele, vestibulaire en somatosensorische informatie in het centraal zenuwstelsel om motorische antwoorden uit te lokken, waardoor het lichaam in staat is om een toestand van evenwicht te kunnen behouden (Shumway-Cook & Woolacott, 2001; Horak e.a., 1988). Evenwichtsstoornissen van kinderen met een gehoorstoornis zijn niet verrassend, aangezien het vestibulaire orgaan anatomisch nauw verbonden is met het gehoororgaan in het binnenoor. De schade aan het binnenoor die het neurosensorieel gehoorverlies veroorzaakt, kan ook de perifere vestibulaire functie verstoren (Cushing e.a., 2009). Als gevolg hiervan hebben kinderen met een gehoorstoornis een hoger risico op vestibulaire stoornissen (Kasai e.a., 2010; Shinjo, Jin & Kaga, 2007; Tribukait, Brantberg & Bergenius, 2004).

Het is aangetoond dat de prevalentie van vestibulaire disfuncties hoger is bij kinderen met een diepgaand neurosensorieel gehoorverlies (Tribukait e.a., 2004; Maes, De Kegel, Van Waelvelde & Dhooge, 2014), bij verworven doofheid (Tribukait e.a., 2004; Cushing e.a., 2009; Selz, Girardi, Konrad & Hughes, 1996) en in geval van bepaalde syndromen die geassocieerd zijn met een gehoorverlies zoals de syndromen van Usher, Waardenburg en Pendred (Brookhouser, Cyr & Beauchaine, 1982). Daarnaast houdt het plaatsen van een cochleair implantaat (CI), een algemeen aanvaarde behandelmethode voor kinderen met een gehoorstoornis, een bijkomend risico in voor vestibulaire schade (Tien & Linthicum, 2002; Wagner e.a., 2010; Jacot, Van Den Abbeele, Debre & Wiener-Vacher, 2009; Migliaccio, la Santina, Carey, Niparko & Minor, 2005; Licameli, Zhou & Kenna, 2009; Filipino e.a., 2006).

Het mature vestibulaire systeem genereert drie motorische reflexen: de vestibulo-oculaire reflex (VOR) is verantwoordelijk voor visuele stabilisatie, de vestibulo-collische reflex (VCR) is verantwoordelijk voor nekstabilisatie en de vestibulo-spinale reflex (VSR) is verantwoordelijk voor de oriëntatie van het lichaam in de ruimte en draagt bij aan de posturale tonus die nodig is voor het verwerven van motorische vaardigheden (Tribukait e.a., 2004; Nandi & Luxon, 2008). Om de VOR te evalueren bestaan er traditionele technieken zoals een calorische proef en draaistoeltest, waarmee de functie van de horizontale semicirculaire kanalen en de nervus vestibularis superior geëvalueerd kunnen worden. De VCR kan geëvalueerd worden door middel van de cVEMP-test (cervical Vestibular Evoked Myogenic Potential) waarbij geïnhibeerde spierpotentialen in de tonisch gecontraheerde M. Sternocleidomastoïdeus (SCM) geregistreerd worden als antwoord op

luide geluiden met behulp van elektromyografie. Een cVEMP-test is een kindvriendelijke optie om de functie van de sacculus en nervus vestibularis inferior te evalueren. Tot slot kunnen posturografie en klinische evenwichtstests ter evaluatie van de VSR gebruikt worden om het resultaat van de complexe interactie tussen corticale controle van lagere motorische centra via piramidale en extrapiramidale banen, vestibulaire invloeden door de mediale en laterale vestibulaire-spinale banen en de reticulo-spinale baan te evalueren (Nandi & Luxon, 2008).

Enkele auteurs hebben de relatie onderzocht tussen de vestibulaire disfunctie en de motorische ontwikkelingsvertraging en/of de evenwichtsstoornissen van kinderen met een gehoorstoornis.

Rapin (1974) en Kaga, Suzuki, Marsh en Tanaka (1981) toonden aan dat hypoactieve calorische responsen bij kinderen met een gehoorstoornis geassocieerd zijn met een vertraagde ontwikkeling van het zitten en het zelfstandig stappen.

Horak en collega's (1988) toonden geen verband aan tussen de vestibulaire disfunctie en de motorische prestatie op de Bruininks-Oseretsky test of Motor Proficiency (BOTMP), maar wel met de prestaties op klinische evenwichtstests en posturografie. Ze stelden vast dat de groep kinderen met een gehoorstoornis waarbij een vestibulaire disfunctie vastgesteld werd door middel van een draaistoeltest een licht verhoogde posturale instabiliteit vertoonden bij posturografie in condities waarin accurate visuele en proprioceptieve informatie aanwezig was. Ze vertoonden echter een abnormaal verhoogde posturale instabiliteit in condities waarin ze volledig afhankelijk waren van het vestibulaire systeem. De groep kinderen met een gehoorstoornis waarbij een vestibulaire disfunctie vastgesteld werd, presteerden daarentegen normaal op de BOTMP, op klinische evenwichtstests en op posturografie.

Recent toonden Shall (2009) en Jafari en Asad (2011) een significant verband aan tussen statische evenwichtsprestaties en de afwezigheid versus aanwezigheid van de cVEMP-respons. Cushing en collega's (2008) toonden daarentegen aan dat de resultaten op een draaistoeltest beter correleerden met de evenwichtsprestaties op de Bruininks-Oseretsky test (2^{de} editie) dan de cVEMP-test en de calorische proef.

Blijkbaar zijn de oorzakelijke factoren van de evenwichtsstoornissen van kinderen met een gehoorstoornis nog onvoldoende systematisch ontrafeld. Het doel van de studie waarover we hier rapporteren is dan ook het identificeren van het voorspellend vermogen van vestibulaire functietestresultaten, alsook van andere factoren zoals de ernst van het gehoorverlies, de oorzaak van het gehoorverlies, een cochleaire implantaat en bijkomende beperkingen op de motorische prestaties van kinderen met een gehoorstoornis.

2. Methode en materialen

2.1 Deelnemers

Voor deze studie werden 48 kinderen met een gehoorstoornis tussen 3 en 12 jaar oud gerekruteerd (23 meisjes, 25 jongens; gemiddelde leeftijd 7 jaar 6 maanden, standaarddeviatie 2 jaar 5 maanden) via de dienst Neus-, Keel- en Oorheelkunde van het Universitair Ziekenhuis Gent, alsook via een revalidatiecentrum en multifunctioneel centrum voor personen met een auditieve beperking. Van die 48 kinderen hadden 9 kinderen een unilateraal gehoorverlies van meer dan 40 dB HL en 39 kinderen een bilateraal gehoorverlies van meer dan 40 dB HL in het beste oor. Verder werden 51 typisch ontwikkelende kinderen gerekruteerd (22 meisjes, 29 jongens; gemiddelde leeftijd 8 jaar 0 maanden, standaarddeviatie 2 jaar 3 maanden) via verschillende reguliere scholen. Exclusiecriteria waren neuromotorische aandoeningen zoals hersenverlamming, orthopedische afwijkingen en visuele afwijkingen die niet gecorrigeerd konden worden met een bril. Alle kinderen met een gehoorstoornis hadden een non-verbaal IQ hoger dan 80 op basis van een gestandaardiseerde IQ-test, die werd afgenomen uiterlijk twee jaar voor de eigenlijke tests. Alle typisch ontwikkelende kinderen liepen school in het regulier onderwijs in het leerjaar dat overeenkwam met hun kalenderleeftijd.

De kenmerken van de groep kinderen met een gehoorstoornis worden gepresenteerd in Tabel 1. We zien dat 23 kinderen een cochleair implantaat (CI) hebben, 15 unilateraal en 8 bilateraal. De oorzaken van de gehoorstoornis waren: erfelijk niet-syndromaal (connexine 26), erfelijk syndromaal [Pendred, Waardenburg, EVA (Vergrote vestibulaire aqueductus) en DOOR-syndroom (doofheid, onychodystrophy, osteodystrophy en retardatie)], verworven (ototoxische medicatie, cytomegalovirus, meningitis en ziekte van Ménière) of ongekend. In de groep kinderen met een gehoorstoornis hadden 17 kinderen een bijkomende beperking: 6 hadden een aandachtstoornis, 3 een autismespectrumstoornis, 5 een leerstoornis en 6 hadden andere aandoeningen zoals een atriaal septumdefect, een schildklierdisfunctie of een stofwisselingsziekte.

De studie werd goedgekeurd door het Ethisch Comité van het Universitair Ziekenhuis Gent en toestemmingsformulieren werden gehandtekend door alle ouders van de kinderen.

Tabel 1: Eigenschappen van de groep kinderen met een gehoorstoornis

	Totale Groep kinderen met gehoorverlies (N=48)	Bilateraal gehoorverlies (N = 39)	Unilateraal gehoorverlies (N = 9)
Gehoorverlies (PTA)	M = 87.6 dB SD = 29.5 dB	M = 88.1 dB SD = 29.0 dB	M = 85.5 dB SD = 33.7 dB
Mate van gehoorverlies			
Matig (40-60 dB HL)	14	11	3
Ernstig (61-80 dB HL)	6	4	2
Diepgaand (>81 dB HL)	28	24	4
Cochleair implantaat			
CI	23	23 (15 UCI - 8 BICI)	0
Geen CI	25	16	9
Oorzaak gehoorverlies			
Erfelijk niet-syndromaal	14	13	1
Erfelijk syndromaal	11	8	3
verworven	11	8	3
ongekend	12	10	2
Bijkomende beperkingen			
Neen	31	26	5
Ja	17	13	4
Schooltype			
Regulier onderwijs	32	24	8
Buitengewoon onderwijs	16	15	1

Afkortingen: M = gemiddelde, SD = standaard deviatie, PTA = Pure Tone Average, CI = Cochleair implantaat, UCI = unilateraal CI, BICI = Bilateraal CI

2.2 Testbatterij

Alle kinderen werden onderworpen aan een motorische en een vestibulaire testbatterij. De motorische testbatterij bestond uit een algemene motorische test (Movement Assessment Battery for Children, 2^{de} editie), klinische evenwichtstests en posturografie. De vestibulaire testbatterij bestond uit een cVEMP-test en een draaistoeltest.

De Movement ABC (Henderson, Sugden & Barnett, 2007) is een test om motorische stoornissen te identificeren bij kinderen van 3 t.e.m. 16 jaar oud. De test bevat acht items die verdeeld zijn in drie subdomeinen: handvaardigheid, balvaardigheid en evenwicht. Standaardscores (SS) en percentielscores worden berekend op basis van een Nederlandstalige normgroep (Smits-Engelsman & Niemeijer, 2010). De Movement ABC-2 is een betrouwbaar en valide meetinstrument (Henderson, Sugden & Barnett, 2007).

De klinische evenwichtstests bestonden uit twee dynamische en twee statische evenwichtstests.

Achterwaarts stappen op een evenwichtsbalk en hinkelen over blokken zijn twee items uit de Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) (Kiphard & Schilling, 1974), die dynamisch evenwicht evalueren. Bij het achterwaarts stappen over evenwichtsbalken moet het kind driemaal achterwaarts stappen op drie evenwichtsbalken van verschillende breedte. Bij hinkelen over blokken moet het kind hinkelen over een toenemend aantal schuimblokken. Beide items vertonen een uitstekende test-hertestbetrouwbaarheid (De Kegel e.a., 2011).

Unipodaalstand (OLS) werd geëvalueerd aan de hand van een gestandaardiseerd testprotocol (Atwater, Crowe, Deitz & Richardson, 1990). Het kind moet zo lang mogelijk op één been staan met een maximum van 20 seconden voor elke afzonderlijke poging. De scores van drie pogingen worden voor beide benen met de ogen open (OLS EO) en met de ogen gesloten (OLS EC) opgeteld. Betrouwbaarheid van dit protocol is uitstekend (De Kegel e.a., 2011).

Vervolgens werd posturografie uitgevoerd. Hierbij wordt de gemiddelde zwaaisnelheid van de verplaatsing van de Center of Pressure gemeten door middel van een AccuGait-krachtenplatform (Advanced Medical Technology, Inc., Watertown, MA). Deze parameter vertoont een hoge betrouwbaarheid zoals aangetoond door De Kegel e.a. (2011). Elk kind voerde drie tests uit op het krachtenplatform: de mCTSIB is een test waarmee de bijdrage van de verschillende zintuigen voor het behoud van evenwicht wordt geëvalueerd, alsook de Unipodaalstandtest (US) en de Tandemstandtest (TS) (hiel-tot-teen stand). De mCTSIB bestaat uit vier condities in bipodale stand op schouderbreedte: ogen open op een stevige ondergrond (EO), ogen gesloten op een stevige ondergrond (EC), ogen open op een schuimkussen (CEO) en ogen gesloten op een schuimkussen (CEC). Elke conditie werd driemaal uitgevoerd gedurende tien seconden. De kinderen waren blootvoets en kregen de opdracht om zo stabiel mogelijk te staan met de armen afhangend. Een meer gedetailleerde beschrijving van dit protocol is beschikbaar in De Kegel e.a. (2011).

Bij de draaistoeltest wordt de patiënt in een volledig verduisterde kamer in het horizontale vlak rondgedraaid, waarbij een rotatie naar rechts zal leiden tot een horizontale nystagmus naar rechts en een rotatie naar links tot een horizontale nystagmus naar links. De VOR wordt opgemeten door horizontale oogbewegingen te registreren met behulp van kleefelektroden rond de ogen tijdens drie sinusoidale harmonische versnellingstests (SHAT) aan een frequenties van 0,01 Hz, 0,05 Hz en 0,1 Hz. De volgende responsparameters werden berekend: gain, fase en asymmetrie. De parameter gain drukt de verhouding van de maximale oogsnelheid in de trage fase van de nystagmuslagen uit ten opzichte van de maximale hoofdsnelheid. De parameter fase geeft uiting aan de temporele relatie tussen de maximale oog- en de maximale hoofdsnelheid, uitgedrukt in graden. De parameter asymmetrie beschrijft het procentuele verschil tussen de maximale oogsnelheid naar rechts en naar links. Een meer gedetailleerde beschrijving van dit protocol is beschikbaar (Maes e.a., 2008).

Voor de afname van de cVEMP-test ligt het kind op de rug op een comfortabele stoel met een helling van 30° ten opzichte van het horizontale vlak. EMG-activiteit van de musculus sternocleidomastoideus (SCM) wordt geregistreerd terwijl het kind het hoofd 30° van de stoel optilt, waardoor de SCM bilateraal worden opgespannen. Ondertussen worden geluidsignalen aangeboden via oordopjes in de gehoorgang aan een intensiteit van 95 dB HL. De volgende responsparameters werden opgemeten: P1- en N1-latenties (ms), interpiek-amplitude (μV) en asymmetrieratio (%). De absolute latencies van P1 en N1 zijn de tijd in ms tussen de start van de meting en de maximale piek van respectievelijk P1 en N1. De interpiek-amplitude is het amplitudebereik tussen P1 en N1, waarbij beide toppen uitgedrukt worden in μV ten opzichte van de basislijn. De parameter asymmetrie wordt berekend door het interauraal interpiek-amplitudeverschil te delen door de som van de interpiekamplitude van beide oren. Een gedetailleerde beschrijving van het protocol is beschikbaar in Maes en collega's (2009). Om een conductieve component uit te sluiten werden voorafgaand aan de cVEMP steeds otoscopie en tympanometrie uitgevoerd.

2.3 Data analyse

De Kolmogorov-Smirnovtest werd gebruikt om de normaalverdeling te controleren. Groepsverschillen werden geëvalueerd aan de hand van Pearson χ^2 tests (voor categorische variabelen), ANCOVA-tests met de leeftijd als covariaat (voor ruwe scores) en onafhankelijke t-tests (voor standaard scores). Als de omvang van de steekproeven van de groepen zeer verschillend was, werden niet-parametrische Mann Whitney *U* tests gebruikt. Vanwege het grote aantal vergelijkingen dat werd uitgevoerd, werd een Bonferroni-correctie toegepast voor de groep vergelijkingen van de motorische testresultaten om het risico op type 1 fouten te verkleinen. Het significantieniveau werd bepaald op $p \leq 0.10 / 14 = 0.007$. Daarenboven werd een significantieniveau van $p \leq 0.05$ voorzichtig als een trend beschouwd. De effectgrootte werd uitgedrukt door de partiële eta-square waarden te berekenen voor alle vergelijkingen tussen de beide groepen. Partiële eta-square waarden van respectievelijk 0,01, 0,06 en 0,14 worden als een klein, middelgroot en groot effect gedefinieerd (Portney & Watkins, 2009).

Voor de regressieanalyses werden de meest discriminerende evenwichtsparameters als de te voorspellen variabelen beschouwd. In de groep kinderen met een gehoorstoornis werden bivariate regressieanalyses uitgevoerd om de voorspellende waarde van alle vestibulaire parameters en de mate van het gehoorverlies na te gaan op de evenwichtsparameters. Bovendien werden in de groep kinderen met een gehoorstoornis AN(C)OVA-groepvergelijkingen uitgevoerd op de te voorspellen variabelen met Categorische variabelen als CI, oorzaak van het gehoorverlies en bijkomende beperkingen. Nadat gecontroleerd werd voor multicollineariteit, werden significante en borderline significante variabelen ($p < 0.2$) uit de bivariate regressieanalyses en AN(C)OVA's opgenomen in meervoudige regressieanalyses (Enter-methode).

3. Resultaten

Vergelijking van beide groepen toonde geen verschillen aan op het vlak van leeftijd ($t(97) = -1.078$, $p = 0.284$) en geslacht ($\chi^2(1) = 0.228$; $p = 0.689$).

In Tabel 2 worden de motorische prestaties tussen beide groepen vergeleken. We stellen vast dat kinderen met een gehoorstoornis significant zwakker presteerden dan typisch ontwikkelende kinderen op de totale score van de Movement ABC-2, alsook voor het evenwichtssubdeel van de Movement ABC-2, terwijl voor handvaardigheid en balvaardigheid een trend tot zwakker scores werd vastgesteld. Kinderen met een gehoorstoornis presteerden significant zwakker op alle klinische evenwichtstests en vertoonden tevens een significant verhoogde posturale zwaaisnelheid in de condities CEC en US van het posturografisch testprotocol in vergelijking met typisch ontwikkelende kinderen.

Bij de groep kinderen met een gehoorstoornis werd een 2 x 2 AN(C)OVA uitgevoerd met de factor classificatie op basis van ernst van gehoorverlies (gehoorverlies < 80 dB HL versus > 81 dB HL) en de factor lokalisatie van het gehoorverlies (unilateraal versus bilateraal). Deze toonde geen effect alsook geen interactie-effect aan voor beide factoren op alle motorische parameters.

De aan- of afwezigheid van de cVEMP-respons is een eerste belangrijke klinische interpretatie van de cVEMP-resultaten (Maes e.a., 2011). In de huidige proefgroep hadden zeven kinderen met een gehoorstoornis uni- of bilateraal afwezige cVEMP-respons(en) (cVEMP was afwezig in 11 van de 76 oren met gehoorverlies) ondanks normale bevindingen op otoscopie en tympanometrie. Alle typisch ontwikkelende kinderen hadden daarentegen bilateraal aanwezige cVEMP-responsen. De zeven kinderen met afwezige cVEMP-responsen hadden een bilateraal diepgaand gehoorverlies en hadden allen één of twee CI's (4 bilateraal CI en 3 unilateraal CI). Omdat de kinderen met afwezige cVEMP-responsen voor alle regressieanalyses met cVEMP-parameters uitgesloten waren, aangezien de cVEMP-parameters niet berekend konden worden, vergeleken we de motorische prestaties in de groep kinderen met een gehoorstoornis tussen degenen met bilaterale aanwezige cVEMP-responsen en degenen met uni- of bilaterale afwezige cVEMP-responsen door middel van Mann Whitney U tests. Tabel 3 toont aan dat de kinderen met afwezige cVEMP-responsen zwakker presteerden voor het evenwichtssubdeel van M ABC-2 en OLS EC en een grotere posturale zwaaisnelheid vertoonden in CEC dan kinderen met een gehoorstoornis met aanwezige cVEMP-responsen.

Tabel 2: Vergelijking van de motorische parameters tussen de groep kinderen met een gehoorstoornis en de controlegroep van typisch ontwikkelende kinderen

	Kinderen met gehoorstoornis M (SD)	N	Typisch ontwikkelende kinderen M (SD)	N	P	Effectgrootte Partiële eta squared
Movement ABC-2						
Handvaardigheid (SS)	8.1 (2.3)	48	9.3 (2.1)	51	<u>0.01</u> *	0.067
Balvaardigheid (SS)	9.2 (2.9)	48	10.3 (2.6)	51	<u>0.033</u> *	0.046
Evenwicht (SS)	7.2 (3.4)	48	10.9 (2.3)	51	<0.001 *	0.287
Totaal (SS)	7.3 (2.7)	48	10.3 (2.1)	51	<0.001 *	0.285
Klinische evenwichtstests						
Evenwichtsbalk (RS)	17.0 (15.3)	48	33.2 (14.8)	51	<0.001 [°]	0.284
Hinkelen (RS)	23.6 (20.5)	48	39.3 (21.7)	51	<0.001 [°]	0.223
OLS EO (RS)	61.7 (42.0)	48	92.7 (33.6)	51	<0.001 [°]	0.221
OLS EC (RS)	16.6 (16.4)	48	43.5 (27.5)	51	<0.001 **	0.262
Posturografie						
EO (cm/s)	2.4 (1.2)	48	2.0 (0.8)	51	0.106 [°]	0.027
EC (cm/s)	3.6 (2.2)	48	2.8 (1.3)	51	0.061 [°]	0.036
CEO (cm/s)	4.0 (2.3)	48	3.1 (1.5)	51	<u>0.047</u> [°]	0.041
CEC (cm/s)	8.7 (4.6)	48	5.6 (1.9)	51	<0.001 **	0.173
TS (cm/s)	5.0 (1.9)	24	4.5 (1.4)	41	0.101 [°]	0.043
US (cm/s)	6.4 (2.5)	22	5.1 (1.8)	37	0.003 [°]	0.143

Afkortingen: SS = Standaardscore, RS = Ruwe Score, OLS EO = unipodaalstand met ogen open, OLS EC = unipodaalstand met ogen gesloten, EO = bipodale stand met ogen open, EC = bipodale stand met ogen gesloten, CEO = bipodale stand op kussen met ogen open, CEC = bipodale stand op kussen met ogen gesloten, TS = Tandemstand, US = Unipodaalstand

[°] ANCOVA met de leeftijd als covariaat; * T-test voor gelijke varianties; ** T-test voor ongelijke varianties; Bold = Bonferroni correctie: 0.10/14 = 0.007 => p < 0.007; Onderlijnd = p < 0.05

Tabel 3: Vergelijking van de motorische parameters binnen de groep kinderen met een gehoorstoornis tussen degenen met bilateraal aanwezige cVEMP-responsen en degenen met uni- of bilateraal afwezige cVEMP-respons(en)

	cVEMP aanwezig (n = 35) M (SD)	cVEMP afwezig (n = 7) M (SD)	Man Whitney U (p-waarde)
Leeftijd (jaren)	7.4 (2.2)	7.7 (3.1)	0.869
Movement ABC-2			
Handvaardigheid (SS)	8.0 (2.4)	8.3 (2.0)	0.792
Balvaardigheid (SS)	9.3 (2.8)	8.6 (4.5)	0.692
Evenwicht (SS)	7.6 (3.2)	3.6 (2.5)	0.003
Totaal (SS)	7.5 (2.8)	5.4 (2.8)	0.122
Klinische Evenwichtstesten			
Evenwichtsbalk (RS)	17.5 (15.4)	8.0 (10.2)	0.099
Hinkelen (RS)	24.0 (21.4)	18.7 (20.9)	0.597
OLS EO (RS)	63.1 (41.3)	52.0 (53.0)	0.426
OLS EC (RS)	18.7 (17.4)	4.6 (6.2)	0.013
Posturografie			
EO (cm/s)	2.4 (1.0)	2.6 (2.2)	0.644
EC (cm/s)	3.6 (1.8)	4.9 (3.8)	0.692
CEO (cm/s)	4.0 (2.2)	3.7 (2.8)	0.671
CEC (cm/s)	7.8 (3.4)	13.6 (5.5)	0.008

Afkortingen: SS = Standaardscore, RS = Ruwe Score, OLS EO = unipodaalstand met ogen open, OLS EC = unipodaalstand met ogen gesloten, EO = bipodale stand met ogen open, EC = bipodale stand met ogen gesloten, CEO = bipodale stand op kussen met ogen open, CEC = bipodale stand op kussen met ogen gesloten, TS = Tandemstand, US = Unipodaalstand, Bold = $p < 0.05$

De volgende te voorspellen variabelen werden geselecteerd voor de regressieanalyses: de standaardcores op het evenwichtssubdeel van de Movement ABC-2, de ruwe scores op de klinische evenwichtstests en de posturale zwaaisnelheid in CEC. Omdat de leeftijd een significante voorspeller is van de ruwe scores op de klinische evenwichtstests en de posturale zwaaisnelheid in CEC, werd de leeftijd ingevoerd als een covariaat in de bivariate regressieanalyses met deze te voorspellen variabelen. Bivariate regressieanalyses toonden aan dat de drie belangrijkste voorspellers van de motorische parameters de gain-waarden op de SHAT aan een frequentie van 0,05 Hz en 0,01 Hz van de rotatietest, alsook de cVEMP-asymmetrieratio waren. De gain-waarde van de frequentie 0,05 Hz is een significante voorspeller van de motorische prestatie op het evenwichtssubdeel van de Movement ABC-2 (R^2 aangepast = 0.088; $p = 0,025$), het achterwaarts stappen op evenwichtsbalken (R^2 aangepast = 0,500; $p = 0.011$), het hinkelen (R^2 aangepast = 0.770; $p = 0.038$) en OLS EC (R^2 aangepast = 0.393; $p = 0.009$). De gain-waarde van de frequentie 0,01 Hz is een significante voorspeller van de motorische prestatie op het evenwichtssubdeel van Movement ABC-2 (R^2 aangepast = 0.083; $p = 0.032$), het achterwaarts stappen op evenwichtsbalken (R^2 aangepast = 0.486; $p = 0.001$), OLS EC (R^2 aangepast = 0.428; $p = 0.001$) en CEC (R^2 aangepast = 0,177; $p = 0.005$). De cVEMP-asymmetrieratio is een significante

voorspeller van de motorische prestatie op het evenwichtssubdeel van Movement ABC-2 (R^2 aangepast = 0.112; $p = 0.040$) en het achterwaarts stappen op evenwichtsbalken (R^2 aangepast = 0.574; $p = 0.046$). Bovendien bleek ook dat de gain-waarde van de frequentie 0,1 Hz een significante voorspeller was van de motorische prestatie op het achterwaarts stappen op evenwichtsbalken (R^2 aangepast = 0.531; $p = 0.009$), de mate van het gehoorverlies een significante voorspeller was van OLS EC (R^2 aangepast = 0.379; $p = 0,025$) en de asymmetriewaarde bij de frequentie 0,01 Hz een significante voorspeller was van CEC (R^2 aangepast = 0.190; $p = 0.045$).

Binnen de groep van kinderen met een gehoorstoornis werden daarnaast AN(C)OVA-tests uitgevoerd op de te voorspellen variabelen met de volgende categorische variabelen: CI (ja versus neen), oorzaak van de gehoorstoornis (Erfelijk non syndromaal, erfelijk syndromaal, verworven en ongekend) en bijkomende beperkingen (ja versus neen). Uit deze analyses bleek dat de factor bijkomende beperkingen een significant effect heeft op OLS EC ($F(2,45) = 4.590$; $p = 0.038$) alsook de factor CI ($F(2,45) = 5.123$; $p = 0.028$) op OLS EC.

Tabel 4 presenteert de zes definitieve predictiemodellen voor de zes te voorspellen variabelen. Het model met de hoogste verklarende variantie, uitgedrukt in de aangepaste R^2 , is het predictiemodel van de klinische evenwichtstest: hinkelen over blokken. Dit model verklaart 88,4 procent van de variantie ($F(8,20) = 27.653$; $p < 0,001$; R^2 aangepast = 0.884) gebaseerd op de leeftijd van het kind, de asymmetrie en de gain-waarde van de rotatietest aan een frequentie van 0,05 Hz, de asymmetrieratio en de latentie van N1 van de cVEMP-test samen met de oorzaak van het gehoorverlies. Twee andere modellen zijn in staat om meer dan 70 procent van de variantie te verklaren, namelijk het predictiemodel van het achterwaarts stappen op evenwichtsbalken ($F(7,21) = 12.199$; $p < 0,001$; R^2 aangepast = 0.737) en het predictiemodel van OLS EO ($F(8,21) = 9.869$; $p < 0,001$; R^2 aangepast = 0.710). De resterende predictiemodellen van OLS EC, Evenwichtssubdeel van Movement ABC-2 en CEC zijn in staat om respectievelijk 67, 37,1 en 34,3 procent van de variantie te verklaren aan de hand van vestibulaire parameters in combinatie met de oorzaak van het gehoorverlies en/of bijkomende beperkingen.

Tabel 4: Finale meervoudige regressiemodellen van de zes te voorspellen motorische variabelen

	Df	F-waarde	Aangepaste R ²	Helling (B)	p-waarde
M ABC-2 Evenwicht (SS)	(3.26)	6.708	0.371		0.002
F 0,05 asymmetrie				-0.161	0.017
F 0,05 gain				0.086	0.025
cVEMP AR				-0.055	0.025
Evenwichtsbalk (RS)	(7.21)	12.199	0.737		< 0.001
Leeftijd				0.363	< 0.001
F 0,05 asymmetrie				-0.569	0.012
F 0,1 gain				0.180	0.140
cVEMP AR				-0.237	0.004
Oorzaak gehoorverlies					0.050
– Erfelijk NS vs ongekend				-7.939	0.048
– Erfelijk S vs ongekend				-8.992	0.006
– Verworven vs ongekend				-10.160	0.115
Hinkelen (RS)	(8.20)	27.653	0.884		< 0.001
Leeftijd				0.784	< 0.001
F 0,05 asymmetrie				-0.586	0.010
F 0,05 gain				0.133	0.265
cVEMP AR				-0.203	0.037
cVEMP Latentie N1				-2.227	0.010
Oorzaak gehoorverlies					0.152
– Erfelijk NS vs ongekend				-7.939	0.078
– Erfelijk S vs ongekend				-8.992	0.069
– Verworven vs ongekend				-10.160	0.050
OLS EO (RS)	(8.21)	9.869	0.710		< 0.001
Leeftijd				1.085	< 0.001
F 0,05 asymmetrie				-1.461	0.019
F 0,1 gain				0.590	0.108
cVEMP AR				-0.304	0.199
cVEMP Latentie P1				-8.226	0.040
Oorzaak gehoorverlies					0.058
– Erfelijk NS vs ongekend				-24.031	0.092
– Erfelijk S vs ongekend				-35.524	0.018
– Verworven vs ongekend				-35.992	0.017
OLS EC (RS)	(8.21)	7.834	0.670		< 0.001
Leeftijd				0.380	< 0.001
F 0,05 asymmetrie				-0.846	0.002
cVEMP AR				-0.170	0.078
cVEMP Latentie P1				-4.704	0.008
Oorzaak gehoorverlies					0.012
– Erfelijk NS vs ongekend				-20.618	0.001
– Erfelijk S vs ongekend				-15.158	0.020
– Verworven vs ongekend				-16.939	0.010
Bijkomende beperking (Nee vs Ja)				8.742	0.058
CEC (cm/s)	(7.32)	3.833	0.343		0.004
Leeftijd				-0.043	0.014
F 0,05 gain				0.044	0.074
F 0,01 fase				0.083	0.007
F 0,01 asymmetrie				-0.088	0.061
Oorzaak gehoorverlies					0.193
– Erfelijk NS vs ongekend				-1.773	0.173
– Erfelijk S vs ongekend				0.489	0.733
– Verworven vs ongekend				-2.321	0.125

Afkortingen: SS = Standaardscore, RS = Ruwe Score, OLS EO = unipodaalstand met ogen open, OLS EC = unipodaalstand met ogen gesloten, EO = bipodale stand met ogen open, EC = bipodale stand met ogen gesloten, CEO = bipodale stand op kussen met ogen open, CEC = bipodale stand op kussen met ogen gesloten, TS = Tandemstand, US = Unipodaalstand, Erfelijk NS = Erfelijk non-syndromaal, Erfelijk S = Erfelijk syndromaal, F 0,01 = Frequentie 0,01 Hz, F 0,05 = Frequentie 0,05 Hz, F 0,1 = Frequentie 0,1 Hz, cVEMP AR = cVEMP Asymmetry Ratio, Bold = p < 0.05

4. Discussie

De belangrijkste problemen van kinderen met een gehoorstoornis zijn beperkingen in communicatie en taal. Deze kinderen hebben echter ook een verhoogd risico op motorische stoornissen, meer bepaald op evenwichtsstoornissen die vaak over het hoofd gezien worden. De resultaten van deze studie bevestigen de reeds eerder gerapporteerde studies (Hartman e.a., 2011; Horak e.a., 1988; Cushing e.a., 2008; Livingstone & McPhillips, 2011) die aantoonde dat kinderen met een gehoorstoornis evenwichtsproblemen vertonen. Deze studie toonde bovendien aan dat kinderen met een gehoorstoornis een trend vertonen om ook zwakker te presteren op hand- en balvaardigheden, gemeten aan de hand van de Movement ABC-2. Deze bevindingen kunnen mogelijk verklaard worden door het feit dat een adequate posturale controle een noodzakelijke voorwaarde is voor een adequate motorische ontwikkeling alsook door het feit dat kinderen met een erfelijk syndromale of verworven gehoorstoornis grotere risico's hebben op milde motorische stoornissen als gevolg van neurologische schade.

Vorige studies naar de vestibulaire disfuncties (Jafari & Asad, 2011; Tribukait e.a., 2004; Kaga, Shinjo, Jin & Takegoshi, 2008; Shall, 2009) en de evenwichtsstoornissen (Hartman e.a., 2011; Gheysen, Loots & Van Waelvelde, 2008; Rine e.a., 2004; Suarez e.a., 2007) van kinderen met een gehoorstoornis werden meestal uitgevoerd op een groep van kinderen met een bilateraal diepgaand gehoorverlies. Deze studie omvatte echter naast kinderen met een bilateraal diepgaand gehoorverlies ook kinderen met een unilateraal of een matig gehoorverlies. We stelden vast dat deze allen gelijk presteerden op motorische tests. Dit wil zeggen dat de groep van kinderen met een matig of een unilateraal gehoorverlies met minder risico's voor beperkingen in communicatie en taal, gelijkaardige risico's vertonen voor motorische en evenwichtsstoornissen dan kinderen met een bilateraal diepgaand gehoorverlies. Deze bevindingen tonen aan dat deze groep dan ook niet verwaarloosd mag worden.

De resultaten van de onze studie toonden aan dat de evenwichtsprestaties van kinderen met een gehoorstoornis voorspeld kunnen worden aan de hand van vestibulaire functietests, meer bepaald aan de hand van een draaistoeltest en de cVEMP-test, in combinatie met de oorzaak van de gehoorstoornis.

De aanwezigheid van een cVEMP-respons is een eerste belangrijke klinische parameter. De vergelijking van de motorische prestaties van de groep kinderen met een gehoorstoornis en de groep met aanwezige en afwezige cVEMP-responsen toonde significante verschillen aan op het vlak van statische evenwichtstests waarbij de visuele en/of somatosensorische informatie onbetrouwbaar is. Deze bevinding bevestigt dat de sacculus een belangrijke rol speelt in de ontwikkeling van statisch evenwicht. Onze resultaten stemmen overeen met die van Jafari en Asad (2011) en Shall (2009), maar zijn tegenstrijdig met die van Cushing e.a. (2008), die geen verband aantoonde. Dit verschil kan

worden verklaard door het feit dat de huidige studie aanwezige cVEMP-responsen registreerde in 86,6 procent van de gehorgestoorde oren. Dit percentage ligt veel hoger dan deze van Cushing e.a. (2008), Shall (2009) en Jafari en Asad (2011), maar is gelijkaardig aan dat van Shinjo e.a. (2007). Factoren zoals de oorzaak van het gehoorverlies, de ernst van het gehoorverlies, de aanwezigheid van CI, maar ook stimulustype en de manier van spieractivering van de SCM-spijer tijdens de afname van de cVEMP-test, kunnen de verschillen in de incidentie van aanwezige cVEMP-responsen binnen de groep kinderen met een gehoorstoornis verklaren. Alle kinderen met een afwezige cVEMP-respons in deze studie hadden een bilateraal diepgaand gehoorverlies en een CI. Deze bevinding suggereert dat het uitblijven van een cVEMP-respons gerelateerd kan worden aan de ernst van het gehoorverlies of een gevolg kan zijn van een letsel in het binnenoer tijdens de implantatie. Longitudinaal onderzoek met gegevens van vóór en na de implantatie zijn echter noodzakelijk om de impact van een CI op de evenwichtsprestatie na te gaan. Omdat een cVEMP-test al mogelijk is om af te nemen bij zeer jonge baby's, raden we de afname van een cVEMP-test aan bij jonge baby's bij wie een gehoorverlies werd vastgesteld. Op die manier kan zo vroeg mogelijk gestart worden met motorische interventies.

Aan de hand van bivariate regressieanalyses blijken de drie belangrijkste voorspellende parameters op de motorische prestatie de gain-waarde van de draaistoeltest bij de frequenties 0,01 Hz en 0,05 Hz alsook de VEMP-asymmetrieratio te zijn. Meervoudige regressieanalyses suggereren dat de VOR-asymmetriewaarde op de frequentie van 0,05 Hz van de draaistoeltest alsook de oorzaak van de gehoorstoornis een bijkomende voorspellende waarde vertonen.

Van alle draaistoelparameters blijkt de gain-parameter de belangrijkste voorspellende waarde te hebben op de motorische prestaties, waarschijnlijk omdat deze parameter ideaal is om de omvang van een bilaterale vestibulaire disfunctie of een duidelijke unilaterale vestibulaire hypofunctie uit te drukken (Maes e.a., 2011). Als de cVEMP-respons aanwezig is, is de cVEMP-asymmetrieratio een belangrijke parameter. Deze parameter weerspiegelt een asymmetrie in sacculaire functie tussen beide oren en heeft daarom een sterk verband met de evenwichtsprestaties.

Hoewel er geen significant effect aangetoond kon worden voor de oorzaak van het gehoorverlies op de motorische prestaties met behulp van AN(C)OVA, bleek deze factor wel een belangrijke meerwaarde te hebben in het voorspellen van de motorische prestaties met behulp van de meervoudige regressieanalyses. Kinderen met een verworven gehoorstoornis en kinderen met een erfelijk syndromaal gehoorverlies presteerden steeds zwakker dan deze met een erfelijk niet-syndromaal gehoorverlies.

Hoewel deze studie niet de bedoeling had om de impact van een CI op de motorische prestaties na te gaan, had een CI een significant effect op OLS EC. CI had echter in geen enkel meervoudig regressiemodel een voorspellende waarde.

Ondanks de kleine steekproef en de noodzaak voor verdere validatie, zijn de resultaten van onze studie klinisch van grote waarde voor iedereen die werkt met kinderen met een gehoorverlies. Deze studie suggereert dat identificatie van de vestibulaire functie door middel van een draaistoeltest en cVEMP-test extra informatie kunnen bieden aan kinesitherapeuten bij het opstellen van het kinesitherapeutisch behandelplan plan ter stimulering van de motorische ontwikkeling en ter bevordering van de kwaliteit van het leven. Kinderen met vestibulaire disfuncties moeten leren gebruikmaken van aangepaste sensorische en motorische strategieën en moeten gevaarlijke situaties waarin visuele en somatosensorische informatie onbetrouwbaar is (zoals bijvoorbeeld 's nachts lopen op het strand) leren herkennen en er leren mee omgaan. Hoewel de gevolgen van CI op de motorische prestaties nog steeds onduidelijk zijn, raden we toch aan om de vestibulaire functie te evalueren bij alle CI-kandidaten, zowel voor als na de operatie. Op die manier kunnen de effecten van CI, meer bepaald van bilateraal CI, op de motorische prestaties in de toekomst in kaart gebracht worden.

5. Conclusie

Kinderen met een gehoorstoornis hebben een verhoogd risico op evenwichtsstoornissen. De evenwichtsprestaties van deze kinderen kunnen voorspeld worden aan de hand van vestibulaire functietests, meer bepaald via een draaistoeltest en de cVEMP-test, in combinatie met de oorzaak van de gehoorstoornis. De aanwezigheid van een cVEMP-respons is een belangrijke klinische parameter met een belangrijke invloed op het statisch evenwicht. De drie belangrijkste voorspellende parameters op de motorische prestatie blijken de gain-waarden van de draaistoeltest bij de frequenties 0,01 Hz en 0,05 Hz alsook de cVEMP-asymmetrieratio te zijn. Meervoudige regressieanalyses suggereren dat de VOR asymmetriewaarde op de frequentie van 0,05 Hz van de draaistoeltest alsook de oorzaak van de gehoorstoornis een bijkomende voorspellende waarde vertonen.

Referenties

- Atwater, S.W., Crowe, T.K., Deitz, J.C., & Richardson, P.K. (1990). Interrater and test-retest reliability of two pediatric balance tests. *Physical Therapy, 70*, 79-87.
- Boyd, J. (1967). Comparison of motor behavior in deaf and hearing boys. *American Annals of the Deaf, 112*, 598-605.

- Brookhouser, P.E., Cyr, D.G., & Beauchaine, K.A. (1982). Vestibular findings in the deaf and hard of hearing. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *90*, 773-777.
- Butterfield, S.A. (1986). Gross Motor Profiles of Deaf-Children. *Perceptual and Motor Skills*, *62*, 68-70.
- Butterfield, S.A. & Ersing, W.F. (1986). Influence of age, sex, etiology, and hearing loss on balance performance by deaf children. *Perceptual and Motor Skills*, *62*, 659-663.
- Coll, J. (1991). [Balance in deaf children]. *Revue de Laryngologie Otologie Rhonologie*, *112*, 159-160.
- Cushing, S.L., Papsin, B.C., Rutka, J.A., James, A.L., Blaser, S.L., & Gordon, K.A. (2009). Vestibular end-organ and balance deficits after meningitis and cochlear implantation in children correlate poorly with functional outcome. *Otology & Neurotology*, *30*, 488-495.
- Cushing, S.L., Papsin, B.C., Rutka, J.A., James, A.L., & Gordon, K.A. (2008). Evidence of vestibular and balance dysfunction in children with profound sensorineural hearing loss using cochlear implants. *Laryngoscope*, *118*, 1814-1823.
- De Kegel, A., Dhooge, I., Cambier, D., Baetens, T., Palmans, T., & Van Waelvelde, H. (2011). Test-retest reliability of the assessment of postural stability in typically developing children and in hearing impaired children. *Gait & Posture*, *33*, 679-685.
- Effgen, S.K. (1981). Effect of an exercise program on the static balance of deaf children. *Physical Therapy*, *61*, 873-877.
- Filipo, R., Patrizi, M., La Gamma, R., D'Elia, C., La Rosa, G., & Barbara, M. (2006). Vestibular impairment and cochlear implantation. *Acta Oto-Laryngologica*, *126*, 1266-1274.
- Gayle, G.W., & Pohlman, R.L. (1990). Comparative study of the dynamic, static, and rotary balance of deaf and hearing children. *Perceptual & Motor Skills*, *70*, 883-888.
- Geddes, D. (1978). Motor development profiles of preschool deaf and hard-of-hearing children. *Perceptual & Motor Skills*, *46*, 291-294.
- Gheysen, F., Loots, G., & Van Waelvelde, H. (2008). Motor development of deaf children with and without cochlear implants. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, *13*, 215-224.
- Hartman, E., Houwen, S., & Visscher, C. (2011). Motor skill performance and sports participation in deaf elementary school children. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *28*, 132-145.
- Henderson, S.E., Sugden, D.A., & Barnett, A.L. (2007). *Movement Assessment Battery for Children (Second edition). Examiner's manual*. London: Pearson assessment, Inc.
- Horak, F.B., Shumway-Cook, A., Crowe, T.K., & Black, F.O. (1988). Vestibular function and motor proficiency of children with impaired hearing, or with learning disability and motor impairments. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *30*, 64-79.
- Jacot, E., Van Den Abbeele, T., Debre, H.R., & Wiener-Vacher, S.R. (2009). Vestibular impairments pre- and post-cochlear implant in children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *73*, 209-217.
- Jafari, Z., & Asad, M.S. (2011). The effect of saccular function on static balance ability of profound hearing-impaired children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *75*, 919-924.
- Kaga, K., Shinjo, Y., Jin, Y., & Takegoshi, H. (2008). Vestibular failure in children with congenital deafness. *International Journal of Audiology*, *47*, 590-599.
- Kaga, K., Suzuki, J.I., Marsh, R.R., & Tanaka, Y. (1981). Influence of labyrinthine hypoactivity on gross motor development of infants. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *374*, 412-420.

- Kasai, M., Hayashi, C., Iizuka, T., Inoshita, A., Kamiya, K., Okada, H. et al. (2010). Vestibular function of patients with profound deafness related to GJB2 mutation. *Acta Oto-Laryngologica*, 130, 990-995.
- Kiphard, E.J. & Schilling, F. (1974). *Körperkoordinationstest für Kinder*. Weinheim: Beltz Test GmbH.
- Licameli, G., Zhou, G., & Kenna, M.A. (2009). Disturbance of vestibular function attributable to cochlear implantation in children. *Laryngoscope*, 119, 740-745.
- Lindsey, D., & O'Neal, J. (1976). Static and dynamic balance skills of eight year old deaf and hearing children. *American Annals of the Deaf*, 121, 49-55.
- Livingstone, N., & McPhillips, M. (2011). Motor skill deficits in children with partial hearing. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 53, 836-842.
- Long J. (1932). Motor abilities of deaf children. *Contribution to education*. No. 514. New York, NY: Columbia University Teachers' College.
- Maes, L., De Kegel, A., Van Waelvelde, H., & Dhooge, I. (2014). Rotatory and collic vestibular evoked myogenic potential testing in normal-hearing and hearing-impaired children. *Ear and Hearing*, 35, e21-e32.
- Maes, L., Dhooge, I., De Vel, E., D'haenens, W., Bockstael, A., Keppler, H. et al. (2008). Normative data and test-retest reliability of the sinusoidal harmonic acceleration test, pseudorandom rotation test and velocity step test. *Journal of Vestibular Research*, 18, 197-208.
- Maes, L., Vinck, B.M., De Vel, E., D'haenens, W., Bockstael, A., Keppler, H. et al. (2009). The vestibular evoked myogenic potential: A test-retest reliability study. *Clinical Neurophysiology*, 120, 594-600.
- Migliaccio, A.A., la Santina, C.C., Carey, J.P., Niparko, J.K., & Minor, L.B. (2005). The vestibulo-ocular reflex response to head impulses rarely decreases after cochlear implantation. *Otology & Neurotology*, 26, 655-660.
- Myklebust, H.R. (1964). *The psychology of deafness* (second edition). New York, NY: Grune & Stratton, Inc 1964, 180-201.
- Nandi, R., & Luxon, L.M. (2008). Development and assessment of the vestibular system. *International Journal of Audiology*, 47, 566-577.
- Portney, L.G., & Watkins, M.P. (2009³). *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Potter, C.N., & Silverman, L.N. (1984). Characteristics of vestibular function and static balance skills in deaf children. *Physical Therapy*, 64, 1071-1075.
- Rapin, I. (1974). Hypoactive labyrinths and motor development. *Clinical Pediatrics (Phila)*, 13, 922-9, 934.
- Rine, R.M., Braswell, J., Fisher, D., Joyce, K., Kalar, K., & Shaffer, M. (2004). Improvement of motor development and postural control following intervention in children with sensorineural hearing loss and vestibular impairment. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 68, 1141-1148.
- Selz, P.A., Girardi, M., Konrad, H.R., & Hughes, L.F. (1996). Vestibular deficits in deaf children. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 115, 70-77.
- Shall, M.S. (2009). The importance of saccular function to motor development in children with hearing impairments. *International Journal of Otolaryngology*, ID 972565.

- Shinjo, Y., Jin, Y., & Kaga, K. (2007). Assessment of vestibular function of infants and children with congenital and acquired deafness using the ice-water caloric test, rotational chair test and vestibular-evoked myogenic potential recording. *Acta Oto-Laryngologica*, *127*, 736-747.
- Shumway-Cook, A., & Woolacott, M. (2001). Normal postural control. In M. Woolacott (Red.), *Motor Control: Theory and practical application* (pp. 163-191). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Siegel, J.C., Marchetti, M., & Tecklin, J.S. (1991). Age-related balance changes in hearing-impaired children. *Physical Therapy*, *71*, 183-189.
- Smits-Engelsman, B.C., & Niemeijer, A.S. (2010). Movement Assessment Battery for Children, tweede editie. Movement ABC-2. *Nederlands Tijdschrift voor Kinderfysiotherapie*, *22* (64), 9-13.
- Suarez, H., Angeli, S., Suarez, A., Rosales, B., Carrera, X., & Alonso, R. (2007). Balance sensory organization in children with profound hearing loss and cochlear implants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *71*, 629-637.
- Tien, H.C., & Linthicum, F.H. Jr. (2002). Histopathologic changes in the vestibule after cochlear implantation. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, *127*, 260-264.
- Tribukait, A., Brantberg, K., & Bergenius, J. (2004). Function of semicircular canals, utricles and saccules in deaf children. *Acta Oto-Laryngologica*, *124*, 41-48.
- Wagner, J.H., Basta, D., Wagner, F., Seidl, R.O., Ernst, A., & Todt, I. (2010). Vestibular and taste disorders after bilateral cochlear implantation. *European Archives of Oto-rhino-laryngology*, *267*, 1849-1854.
- Wiegersma, P.H., & Vandervelde, A. (1983). Motor Development of Deaf-Children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *24*, 103-111.