

Mismatch responses bij spraaksignalen van kinderen t/m 3 jaar en volwassenen; een systematische literatuurreview

Bachelorscriptie Taalwetenschap
Universiteit Utrecht
Faculteit Geesteswetenschappen
Datum: 02-02-2020
Student: Maaïke Klomp (5995515)
Scriptiebegeleider: Prof. dr. F.N.K. Wijnen
Tweede beoordelaar: Dr. K.E. Wanrooij

Samenvatting

In deze scriptie is onderzocht wat er bekend is over de ontwikkeling van de mismatch response (MMR) (gemeten met EEG) tijdens het luisteren naar spraaksignalen bij normaal ontwikkelende kinderen t/m 3 jaar. Tevens is gekeken hoe deze MMR zich verhoudt tot wat er bekend is over dit signaal bij volwassenen. Het onderzoek is uitgevoerd door middel van een systematische literatuurreview. Hiervoor is een zoekopdracht uitgevoerd in PubMed. Het bleek dat pasgeboren kinderen voornamelijk late positieve MMR's laten zien, maar dat deze naarmate kinderen ouder werden eerder voorkomen en vaker een negatieve MMR (MMN) te zien is, zoals bij volwassenen. De studies met kinderen lieten echter veel variatie zien in deze ontwikkeling. De studies met volwassenen bevestigden het klassieke beeld van de MMN bij volwassenen. Er is geprobeerd om verklaringen te vinden voor de variatie in MMR's door de variabelen leeftijd en grootte van de deviant te onderzoeken, maar dit bleek geen alomvattende verklaring te kunnen bieden. Er zal meer onderzoek uitgevoerd moeten worden om de verschillen tussen studies te kunnen verklaren. Een limitatie van de scriptie is het beperkte aantal studies dat is geïncludeerd. Voor een volgende review is het aan te raden om ook andere databases te raadplegen.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	p. 4
2. Methode	p. 7
3. Resultaten	p. 8
3.1 Eigenschappen studies	p. 9
3.2 Resultaten studies	p. 10
3.2.1 Pasgeboren kinderen (0-13 dagen oud)	p. 11
3.2.2 Kinderen jonger dan 1 jaar	p. 12
3.2.3 Kinderen van 1 t/m 3 jaar	p. 15
3.2.4 Volwassenen	p. 16
3.3 Vergelijking MMR's kinderen en volwassenen	p. 17
4. Discussie	p. 19
5. Conclusie	p. 21
6. Referenties	p. 22

1. Inleiding

Baby's worden geboren met het vermogen om alle spraakklankcontrasten die in een taal mogelijk fonematisch kunnen zijn te onderscheiden (Kuhl, Conboy, Padden, Nelson, & Pruitt, 2005). Naarmate zij ouder worden krijgen ze meer talige input uit hun omgeving. Hierdoor gaat het auditief systeem zich steeds meer richten op de foneemcontrasten die in het fonologisch systeem van de moedertaal belangrijk zijn en tegen het einde van het eerste levensjaar is dit systeem volledig toegespitst op de moedertaal. Waar zowel Japanse als Nederlandse baby's het onderscheid tussen /l/ en /r/ kunnen horen (een contrast dat betekenisonderscheidend is in het Nederlands), kunnen alleen de Nederlandse kinderen dit nog wanneer hun eerste verjaardag in zicht komt. Het kunnen discrimineren van contrasten is dus een reflectie van hoe het fonologisch systeem van kinderen zich ontwikkelt. In deze scriptie is middels een systematische literatuurreview onderzocht wat er bekend is over de ontwikkeling van de mismatch response van kinderen t/m 3 jaar tijdens het luisteren naar spraaksignalen. Dit is vergeleken met wat er bekend is over de mismatch response tijdens het luisteren naar spraaksignalen van volwassenen.

Een methode om spraakverwerking te meten in het brein is electro-encefalografie (EEG). Dit is een non-invasieve methode, waarbij er een aantal elektrodes op verschillende plaatsen op de hoofdhuid worden geplaatst. Deze elektrodes meten de elektrische activiteit die plaatsvindt in de hersenen. De meetbare elektrische activiteit bestaat uit veranderende elektrische voltages veroorzaakt door samengevoegde actiepotentialen afkomstig van grote aantallen neuronen, synapsen, neurale netwerken en systemen (Tomé, Barbosa, Nowak, & Marques-Teixeira, 2015). Een groot voordeel van EEG is de zeer goede temporele resolutie. Wanneer de potentiaalveranderingen die op de schedel worden gemeten (samenhangend met een specifieke gebeurtenis) worden gemiddeld en de ruis (activiteit die niet met de gebeurtenis samenhangt) door het middelen naar de achtergrond verdwijnt, ontstaan event-related potentials (ERP's). Alleen de activiteit die samenhangt met de gebeurtenis ('event') blijft over. Een gebeurtenis kan zowel exogeen als endogeen zijn. Onder exogene gebeurtenissen vallen bijvoorbeeld sensorische stimuli. Endogene gebeurtenissen zijn afkomstig uit de hersenen zelf, bijvoorbeeld bij besluitvorming. ERP's worden geclassificeerd aan de hand van hun latentie en polariteit. In de volgende alinea zullen de voor deze review relevante ERP's worden toegelicht.

Een ERP-component die vaak voorkomt in studies naar spraakverwerkingsdata is de mismatch response (MMR). De MMR is een ERP-component die voorkomt wanneer een serie identieke stimuli wordt onderbroken door een afwijkende stimulus en laat het vermogen zien om verandering te detecteren (Volkmer & Schulte-Körne, 2018). De MMR wordt berekend door de reactie op de deviante stimulus af te trekken van de reactie op de standaard stimulus, waardoor duidelijk wordt of er een verschil in reactie optreedt (Cheng et al., 2013). Bij volwassenen is deze MMR bij spraaksignalen over het algemeen negatief (mismatch negativity, MMN) en frontocentraal gedistribueerd (Rivera-Gaxiola, Csibra, Johnson, & Karmiloff-Smith, 2000; Volkmer & Schulte-Körne, 2018). De amplitude van de MMN neemt toe en de latentie af naarmate het verschil tussen de standaard en deviant groter wordt (Cheng et al., 2013). De latentie van de MMN bij volwassenen is rond de 100-250ms na onset van de stimulus (Yu et al., 2019). Bij jonge kinderen wordt echter vaak een positieve MMR

gevonden (P-MMR) gevonden (Kostilainen et al., 2019, maar zie ook Pang et al., 1998). Naarmate kinderen ouder worden verandert de P-MMR naar een meer volwassen MMN. Over de oorzaken van deze verandering is nog veel onbekend. Kushnerenko, Čeponienė, Balan, Fellman en Näätänen (2002) onderzochten het verloop van de MMN bij kinderen vanaf hun geboorte tot 12 maanden oud. Ze constateerden dat de P-MMR in een MMN veranderde tussen de 3 en 6 maanden. Dit wijst erop dat de verandering van polariteit onder meer te wijten is aan neurale maturatie. Echter zijn er ook aanwijzingen dat de ontwikkeling door kan gaan tot 6-7 jarige leeftijd (Maurer, Bucher, Brem, & Brandeis, 2003).

Een ander verschil-signaal dat regelmatig wordt gevonden in studies naar spraakverwerking is de late discriminative negativity (LDN) (Bishop, Hardiman en Barry, 2011; Volkmer & Schulte-Körne, 2018). De precieze werking van de LDN is nog niet bekend, maar het lijkt erop dat het signaal aangeeft wanneer een verandering in auditieve stimulus wordt waargenomen. Dit kenmerk heeft de LDN dus gemeen met de MMR. Volgens Bishop, Hardiman en Barry (2011) is de LDN groter voor kinderen dan voor volwassenen en sterker voor spraaksignalen dan voor non-spraaksignalen. De MMR en de LDN vinden ook plaats als er niet actief op de stimulus wordt gelet (Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978; Cheour, Korpilahti, Martynova, & Lang, 2001).

Een klassiek experimenteel design waarin de MMN kan worden uitgelokt is het oddball paradigma. Hierbij luistert de proefpersoon naar een serie identieke stimuli die af en toe wordt onderbroken door een deviante stimulus. Daarnaast wordt er ook gebruik gemaakt van het multifeature paradigma, waarin de identieke stimuli worden afgewisseld met meerdere soorten deviante stimuli (Niemitalo-Haapola, Haapala, Jansson-Verkasalo, & Kujala, 2015). Een voorbeeld van de stimuli uit beide paradigma's is te zien in Figuur 1. Het multifeature paradigma geeft soortgelijke MMR's als het oddball paradigma (Näätänen, Pakarinen, Rinne, & Takegata, 2004; Cheng et al. 2015). Er wordt gesteld dat het multifeature paradigma het meest op natuurlijke spraak lijkt (Kujala, Tervaniemi, & Schröger, 2007). Bij natuurlijke spraak is er constante variatie in het spraaksignaal. Het multifeature paradigma komt hiermee overeen in het feit dat er meerdere variaties in de aangeboden (deviante) stimuli zitten. Dit is in tegenstelling tot het oddball paradigma, waarin slechts een soort deviante stimulus zit.

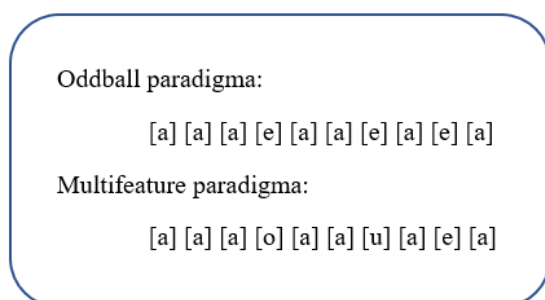


Fig. 1. Voorbeeld stimultrein oddball en multifeature paradigma. De [a] is in beide paradigma's de standaard en de [e], [o] en [u] vormen de devianten.

Project ePODIUM doet onderzoek naar de mogelijkheid om dyslexie te voorspellen op basis van spraakverwerkingsdata van kinderen ("EPODIUM", z.d.). Een vroege opsporing

van dyslexie maakt het mogelijk om tijdig interventies te doen en zo kinderen te ondersteunen bij hun ontwikkeling. Hiervoor is het belangrijk om te weten hoe de mismatch response zich ontwikkelt bij normaal ontwikkelende kinderen. Een afwijking van deze algemene ontwikkeling kan duiden op een latere taalstoornis, bijvoorbeeld dyslexie. Er is voor gekozen om voorschoolse kinderen (t/m 3 jaar) te onderzoeken om eventuele invloed op de MMR door leesonderwijs uit te sluiten. Vaak worden kinderen pas gediagnosticeerd met dyslexie op de basisschool (of zelfs later), wanneer zij (moeite ondervinden met) leren lezen en schrijven (Blomert, 2005). Hoe eerder dyslexie opgespoord wordt, hoe beter we kinderen kunnen ondersteunen bij hun ontwikkeling. Bij volwassenen is de MMR al goed gedocumenteerd (Näätänen, Paavilainen, Rinne, & Alho, 2007), maar in studies die de MMR bij kinderen onderzoeken wordt nog veel variabiliteit gevonden (Volkmer & Schulte-Körne, 2018). Een systematische literatuurreview maakt het mogelijk om overzicht over vele studies te krijgen en eventuele patronen waar te nemen. Dit maakt het een zeer geschikte methode voor het huidige onderzoek.

De vraag die deze literatuurreview tracht te beantwoorden is: *Wat is er bekend over de ontwikkeling van de mismatch response (gemeten met EEG) tijdens het luisteren naar spraaksignalen bij normaal ontwikkelende kinderen t/m 3 jaar en hoe verhoudt zich dit tot de mismatch response tijdens het luisteren naar spraaksignalen bij gezonde volwassenen?*

De opbouw van de scriptie is als volgt. In het volgende hoofdstuk zal de methode worden beschreven. Daarna zullen de resultaten worden uitgelicht en wordt er gekeken naar de resultaten van verschillende leeftijdsgroepen. Aansluitend daarop volgt een discussie, waarin de resultaten in breder perspectief worden geplaatst en wordt stilgestaan bij enkele kritische punten. De scriptie wordt afgesloten met een conclusie.

2. Methode

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is een systematische literatuurreview uitgevoerd. Voor deze review is gezocht in PubMed. PubMed is een zoekstelsel dat meer dan 30 miljoen referenties uit de biomedische literatuur doorzoekt, afkomstig van MEDLINE, life-science journals en online boeken ("PubMed", z.d.). Bij het zoeken naar literatuur is gebruik gemaakt van de PRISMA-richtlijn (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009) om de replicerbaarheid te bevorderen.

Voor het selecteren van de artikelen zijn de volgende inclusiecriteria gebruikt:

- De proefpersonen in het onderzoek waren ofwel normaal ontwikkelende, eentalige kinderen tot en met 3 jaar oud ofwel gezonde volwassenen.
- De studies maken gebruik van ofwel een oddball paradigma, ofwel een multifeature paradigma.
- De data is verzameld middels EEG.
- De stimuli in het onderzoek bestaan uit spraaksignalen.
- Er is een (variant op de) MMR of LDN gevonden.

De zoekopdracht (all fields) werd uitgevoerd met behulp van de volgende zoekterm:

“(MMN OR mismatch negativity OR mismatch response OR MMR OR late discriminative negativity OR LDN OR ERP OR event-related potential OR EEG OR electroencephalography) AND (speech OR vowel OR consonant OR phoneme OR syllable) AND (oddball OR multifeature) AND (children OR infants OR toddlers OR preschoolers) NOT (autism OR syndrome OR cochlear implant OR impairment OR impaired OR epilepsy OR schizophrenia OR premature).”

De artikelen die de zoekopdracht terug gaf werden door een tweede en derde beoordelaar bekeken. Na deze beoordeling werd bepaald welke artikelen er geïncludeerd werden in de huidige review.

3. Resultaten

In totaal gaf de zoekopdracht 79 artikelen. Hiervan zijn er 15 geselecteerd voor verdere analyse. De overige 64 zijn geëxcludeerd om verschillende redenen. De voornaamste redenen waren dat de kinderen in de studies te oud waren of dat de gebruikte methode verschilde van de vereisten. Een flow diagram van het selectieproces is te vinden in Figuur 2. Alle gevonden artikelen zijn geschreven in het Engels. De artikelen zijn gepubliceerd tussen 1992 en 2019.

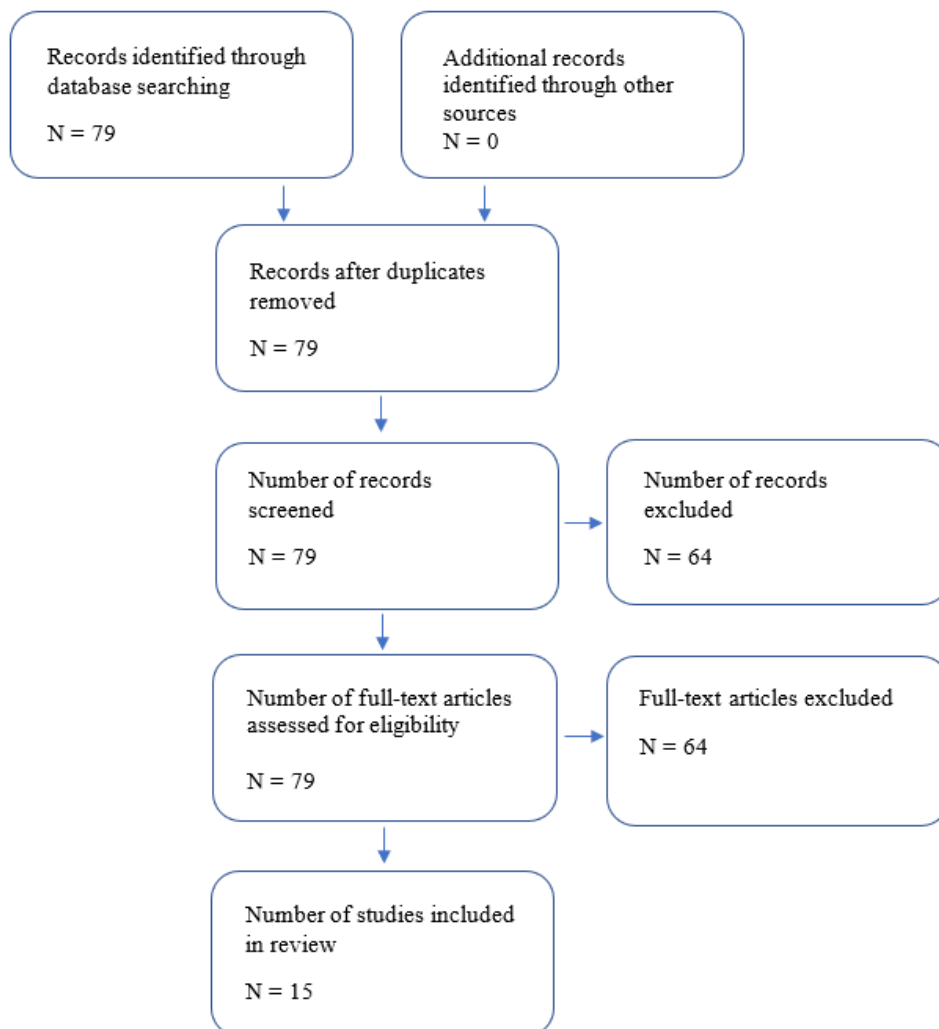


Fig. 2. Flow diagram van het selectieproces (Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2009 (aangepast)).

In 15 studies werden kinderen onderzocht en in 3 studies werd er gekeken naar volwassenen, waarvan er in 2 ook kinderen werden onderzocht. De studie die exclusief op volwassen proefpersonen gericht was (Wanrooij, Boersma, & Van Zuijlen, 2014a) is geïncludeerd omdat dit een vervolg bleek op een eerdere studie naar kinderen die ook is meegenomen in deze review (Wanrooij, Boersma, & Van Zuijlen, 2014b).

3.1 Eigenschappen studies

In Tabel 1. staan de eigenschappen van de 24 geïncludeerde studies. De N in Tabel 1. verwijst naar het aantal proefpersonen dat aan de eisen voldeed. Er waren enkele onderzoeken die niet normaal ontwikkelende kinderen als proefpersonen hadden, maar wel een normaal ontwikkelende controlegroep. Bij deze studies is de controlegroep in onderstaande tabel opgenomen. De steekproefgrootte van de studies varieerde van 9 tot 71.

Studie	Leeftijd (gem. of range)	N	Paradigma	Stimuli	Lengte stimulus (ms)	Inter-stimulus interval (ms)	Gevonden signaal	Slaapfase
Čeponienė et al. (2003)	37m	9	oddball	standaard: /a/ devianten: - genasaliseerde /a/ - /o/	200	500	MMN LDN	wakker
Cheng & Lee (2018)	Groep 1: 12m Groep 2: 18m Groep 3: 24m	Groep 1: 14 Groep 2: 20 Groep 3: 19	multifeature	standaard: /yi3/ devianten: - /yi1/ - /yi2/	250	500	P-MMR MMN	wakker
Cheng et al. (2015)	0-13d en 6:0-6:15m 18-28j	Pasgeborenen: 32 6mo: 21 Volw.: 18	multifeature	klinkerconditie: - /da/ standaard - /du/ grote deviant - /di/ kleine deviant eerste consonant- conditie: - /ba/ standaard - /ga/ grote deviant - /da/ kleine deviant	250	500	P-MMR MMN	slapend wakker wakker
Friedrich et al. (2009)	4m en 5m	4mo: 32 5mo: 39	oddball	/ba:ba/ /baba:/	750	855	MMR P-MMR	niet genoemd
Haapala et al. (2014)	22-26m	19	multifeature	Standaard: /ke:/ en /pi:/ devianten: - consonantidentiteit - frequentie - intensiteit - klinkeridentiteit - klinkerduuratie (-50ms)	170-120	500-450	MMN	wakker
Kostilainen et al. (2019)	0-0.1w	11	multifeature	/ta-ta/ devianten: - /ta-ta:/ - /ta-to/	336 400 336	314 250 314	P-MMR	actieve en stille slaap
Niemitalo-Haapola et al. (2015)	22-26m	18	multifeature	Standaard: /ke:/ en /pi:/ devianten: - consonantidentiteit - frequentie - intensiteit - klinkeridentiteit - klinkerduuratie (-50ms)	170-120	500-450	MMN	wakker
Ovchinnikova et al. (2019)	Jong: 10.1m Oud: 16.9m,	Jong: 17 Oud: 25	oddball	/du:/ devianten: - /dʒu:/ - /gu:/	246 242 246	600	-	wakker

Partanen et al. (2013)	0.5-4d	28	oddball + multifeature	standaard: /te:/ en /pi:/ devianten: - consonantidentiteit - frequentie - intensiteit - klinkerduur (-70ms) - klinkeridentiteit	170 100 170	480 550 480	P-MMR MMN	actieve en stille slaap
Peter et al. (2016)	9;16m 28.67j	16 20	oddball	/i/, /u/ en /a/ in infant directed speech en adult directed speech	±104	500	P-MMR MMN	wakker
Ragó et al. (2014)	6.05m 10.73m	6mo: 10 10mo: 15	oddball	standaard: /banán/ devianten: - /panán/ - /ban:án/	-	730-830	P-MMR MMN	wakker
Van Zuijlen et al. (2013)	2m	12	oddball	verschillende stappen uit het continuüm van /bAk/ naar /dAk/	450	350	P-MMR	slapend en wakker
Wanrooij et al. (2014a)	22j	39	oddball	Unimodal: [ɛ]-[æ] [æ]-[ɛ] Bimodal: [ɛ]-[æ] [æ]-[ɛ]	100	707	MMR	wakker
Wanrooij et al. (2014b)	8-12w	32	oddball	Unimodal: [ɛ]-[æ] [æ]-[ɛ] Bimodal: [ɛ]-[æ] [æ]-[ɛ]	100	707	MMR	slapend
Yu et al. (2019)	Groep 1: 3-5m Groep 2: 6-12m Groep 3: 13-24m	49	oddball	[ɛ] en [ɪ]	250	400	MMR	wakker

Tabel 1. Eigenschappen studies.

3.2 Resultaten studies

Hieronder bespreek ik, gesplitst op leeftijd, alle resultaten van de studies die een (variant op de) MMR vermelden. In 4 studies werden er geen expliciete amplitudes vermeld, maar wel grafieken waar de waarden uit af te lezen waren (Cheng et al, 2015; Cheng & Lee, 2018; Ragó, Honbolygó, Róna, Beke, & Csépe, 2014; Van Zuijlen, Plakas, Maassen, Maurits, & Van der Leij, 2013). Met gebruik van de tool DigitizeIt (“DigitizeIt”, z.d.) zijn de latenties (wanneer de MMR plaatsvond) en/of amplitudes (hoogte van de MMR) geschat. In de tabellen zijn deze waarden cursief. In twee studies werden er geen amplitudes vermeld of was het niet mogelijk om deze te reconstrueren (Friedrich, Herold, & Friederici, 2009; Peter, Kalashnikova, Santos, & Burnham, 2016), waardoor deze niet in de tabellen staan. De resultaten uit desbetreffende studies staan uitgeschreven onder de tabel.

3.2.1 Pasgeboren kinderen (0-13 dagen oud)

Studie	Leeftijd (gem. of range)	Standaard-deviant	Latentie (ms)	Elektrode(s)	Amplitude MMR (μ V)
Kostilainen et al. (2019)	0-0.1w	/ta-ta-/ta-to/	400-500	C4	1.0
			550-650	C4	1.2
Partanen et al. (2013)	0.5-4d	/te:/-pe:/ en /pi:/-ti:/	200-400	C3	1.41
			350-600	F3	1.86
				C3	1.73
				Cz	1.85
				C3	1.88
		Klinkerduratie (-70ms)	200-400	C4	1.74
			350-600	F3	2.18
			F4	1.81	
			C3	2.93	
			Cz	2.77	
	/te:/-ti:/ en /pi:/-pe:/	350-600	C3	2.10	
Cheng et al. (2015)	0-13d	/da-/du/	300-348	F3	0.70
			288-322	C3	0.80
		/da-/di/	294-416	F3	0.91
			328-422	C3	0.96
			282-388	F4	0.96
			292-368	C4	1.02
		/ba-/ga/	418-448	F3	1.01
			288-332	C3	0.96
			298-382	F4	0.99
			398-476		1.22
/ba-/da/	272-332	C4	1.01		
	316-396	F3	1.01		
	286-412	C3	1.21		

Tabel 2. Resultaten van de studies met pasgeboren kinderen.

In drie studies werden er pasgeboren kinderen onderzocht. In Tabel 2. worden de resultaten van deze onderzoeken gerapporteerd. Deze studies met pasgeborenen vonden allemaal een P-MMR. De latentie van de MMR's lag tussen de 200 en 650ms. Alle onderzochte kinderen sliepen tijdens de onderzoeken (Cheng et al., 2015; Kostilainen et al., 2019; Partanen, Pakarinen, Kujala, & Huotilainen, 2013).

In de studie van Kostilainen et al. (2019) luisterden kinderen in een multifeature paradigma naar bisyllabische pseudoworden (standaard: /ta-ta/, devianten: /ta-ta:/ en /ta-to/). Alleen voor de /ta-to/-deviant werd er een significante P-MMR gevonden met een vrij late latentie (tijdvensters 400-500 en 550-650ms).

Cheng et al. (2015) maakten ook gebruik van het multifeature paradigma. Zij lieten pasgeborenen luisteren naar consonant-klinkersyllaben in twee condities; een klinkerconditie (waarin de devianten van de standaard verschilden in klinker) en een eerste consonantconditie (waarin de devianten van de standaard verschilden in consonant). In iedere conditie was er (naast de standaarden /da/ en /ba/, 80% kans) een grote deviant (respectievelijk /du/ en /ga/) en een kleine deviant (respectievelijk /di/ en /da/) die ieder 10% kans hadden om voor te komen.

Partanen, Pakarinen, Kujala en Huotilainen (2013) maakten gebruik van zowel een multifeature als oddball paradigma. De stimuli bestonden uit consonant-klinker syllaben (standaard: /te:/ en /pi:/). De devianten varieerden op gebied van consonantidentiteit, F0

frequentie, intensiteit, klinkerduur en klinkeridentiteit. In het oddball paradigma was de kans op de standaard 90% en op de deviant 10%. In het multifeature paradigma was de kans op de standaard 50% en 10% op ieder van de devianten. Er werden P-MMR's gevonden bij verandering in consonantidentiteit, klinkerduur en klinkeridentiteit. De onderzoekers vonden echter voor een klein aantal proefpersonen ook een negatieve MMN (details niet gerapporteerd in studie). Er werd geen significant verschil gevonden tussen de resultaten uit het oddball en multifeature paradigma.

3.2.2 Kinderen jonger dan 1 jaar

Studie	Leeftijd (gem. of range)	Standaard-deviant	Latentie (ms)	Elektrode(s)	Amplitude MMR (μ V)	
Van Zuijlen et al. (2013)	2m	/bAk/-/dAk/	426	F4	2.03	
Wanrooij et al. (2014b)	2-3m	Unimodal: [ε]-[æ] [æ]-[ε] Bimodal: [ε]-[æ] [æ]-[ε]	100-500	Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, T7 en T8	-0.59	
					1.21	
					2.26	
					0.48	
Friedrich et al. (2009)	4-5m	/ba:ba/-/baba:/ /baba:/-/ba:ba/	-	-	-	
Yu et al. (2019)	3-5m	/ε/ en /I/	200-240	F3, Fz en F4 met elk drie aangelegen Geodesic sites	0.95	
			240-280		0.65	
			280-320		0.93	
			160-200		0.38	
	6-12m		200-240		0.65	
			240-280		1.01	
			280-320		1.05	
			320-360		0.87	
Cheng et al. (2015)	6;0-6;15m	/da/-/du/	196-234	F3	-3.35	
			284-428		7.74	
			172-206	C3	-3.39	
			294-416		5.77	
			272-420	F4	8.64	
			294-420	C4	7.42	
			276-440	F3	7.91	
			282-412	C3	6.04	
		/da/-/di/	268-404	F4	9.07	
			278-404	C4	6.61	
			/ba/-/ga/	266-380	F3	4.52
				274-368	C3	4.47
				266-384	F4	4.74
				272-384	C4	4.15
			/ba/-/da/	274-350	F3	3.15
				300-330	C3	2.85
294-334	C4	2.59				
Ragó et al. (2014)	6.05m	/banán/-/panán/	250-350	F3	9.83	
				Fz	7.34	
				F4	8.58	
				C3	6.75	
				Cz	1.92	
			450-550	C4	2.86	
				F3	1.64	
				Fz	3.50	

				F4	2.20
				C3	-2.26
				Cz	-2.94
				C4	1.19
		/banán/-/ban:án/	550-650	F3	4.35
				Fz	4.53
				F4	4.51
				C3	-0.45
				Cz	-0.48
				C4	1.03
	10.73m	/banán/-/panán/	250-350	F3	6.55
				Fz	6.48
				F4	5.80
				C3	3.72
				Cz	5.13
				C4	3.61
			450-550	F3	-1.95
				Fz	-1.79
				F4	-1.77
				C3	-3.00
				Cz	-2.06
				C4	-3.43
		/banán/-/ban:án/	550-650	F3	10.40
				Fz	10.20
				F4	9.53
				C3	8.66
				Cz	7.92
				C4	6.05
Peter et al. (2016)	9;16m	/i/, /u/ en /a/ in infant directed speech (IDS) en adult directed speech (ADS)	-	-	-
Ovchinnikova et al. (2019)	10.1m	/du:/ devianten: - /ɖu:/ - /gu:/	-	-	-
Cheng & Lee (2018)	Groep 1: 12m	/yi3/-/yi1/ /yi3/-/yi2/	150-185 300-360 300-370 385-465	C4 F3 C3 C4	-1.94 3.02 3.05 2.36

Tabel 3. Resultaten van de studies met kinderen onder de 1 jaar.

In negen studies werd gekeken naar kinderen onder de 1 jaar. De resultaten van deze onderzoeken zijn te vinden in Tabel 3. In de studies van Friedrich, Herold en Friederici (2009) en Peter, Kalashnikova, Santos en Burnham (2016) werden er geen amplitudes vermeld of was het niet mogelijk om deze te reconstrueren. De kinderen in de studie van Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014b) sliepen tijdens het onderzoek en de kinderen in Van Zuijlen, Plakas, Maassen, Maurits en Van der Leij (2013) waren de kinderen wakker of aan het slapen. Friedrich, Herold en Friederici (2009) hebben geen slaapfasen gerapporteerd. De overige studies onderzochten wakkere kinderen. De resultaten uit de studies liepen sterk uiteen.

Van Zuijlen, Plakas, Maassen, Maurits en Van der Leij (2013) maakten gebruik van het oddball paradigma. De stimuli bestonden uit consonant-klinker-consonantwoorden (standaard (87,5% kans): /bAk/, deviant (12,5% kans): /dAk/). Er werd exclusief een P-MMR gevonden.

In de studie van Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014b) werden kinderen, na een training waarin ze luisterden naar een unimodale (een van de twee klanken) of bimodale (beide klanken) distributie van de klanken /æ/ en /ɛ/, getest in een oddball paradigma hoe goed ze deze klanken konden onderscheiden van elkaar. De standaard maakte 88% van het totaal aantal stimuli uit en de deviant 12%. Een hogere MMR amplitude wijst op een betere discriminatie van de klanken. Er werd een P-MMR gevonden voor beide bimodale groepen en de unimodale groep met /æ/ als standaard. In de unimodale groep met /ɛ/ als standaard werd een MMN gevonden.

Friedrich, Herold en Friederici (2009) maakten gebruik van het oddball paradigma (standaard: 83,3% kans, deviant: 16,7% kans) en vonden een vroege MMN (latentie: 200-400ms) en een late MMN (latentie: 800-1000) gevonden voor de /ba:ba/ deviant (standaard: /baba:/). Voor de /baba:/ deviant (standaard: /ba:ba/) werd een P-MMR gevonden bij de latenties 400-600 en 600-800ms.

In het onderzoek van Yu et al. (2019) kregen kinderen in een oddball paradigma de stimuli [ɛ] (standaard, 80% kans) en [I] (deviant, 20% kans) aangeboden. Er werden P-MMR's gevonden. De P-MMR's voor de 3-5 maanden oude groep vonden later plaats dan voor de groep van 6-12 maanden. De amplitude van de P-MMR was tevens hoger voor de oudere groep dan de jongere groep.

Cheng et al. (2015) volgden dezelfde procedure als bij de pasgeborenen (zie par. 3.2.1) en vonden een P-MMR bij verandering van de klinker voor de kleine deviant, maar een (vroege) MMN bij de grote deviant. Bij verandering van de eerste consonant werden er enkel P-MMR's aangetroffen.

In de studie van Ragó, Honbolygó, Róna, Beke en Csépe (2014) kregen kinderen in een oddball paradigma een standaard Hongaars woord (/banán/, 75% kans) en een deviant in de vorm van een pseudowoord (/panán/, 25% kans) óf een deviant met een incorrect intonatiepatroon (/ban:án/, 25% kans) te horen. Voor zowel de 6 als 10 maanden oude kinderen werden exclusief MMN's gevonden. Bij beide groepen waren er twee significante tijdsvensters voor de foneem deviant (/banán/-/panán/), namelijk 250-350 en 450-550ms. Voor de klemtoon deviant was er één significant tijdsvenster (550-650ms).

Peter, Kalashnikova, Santos en Burnham (2016) onderzochten het verschil in reactie op Infant Directed Speech (IDS) en Adult Directed Speech (ADS). Uit beide soorten spraak is een /i/, /u/ en /a/ geselecteerd. Deze werden in een oddball paradigma in gelijke paren aangeboden als stimuli (standaard: 80% kans, deviant: 20% kans). Er werd een MNN voor de IDS devianten gevonden (latentie: 153-219ms), maar niet voor de ADS devianten.

Ovchinnikova et al. (2019) boden in een double-oddball paradigma drie consonant-klinkersyllaben aan. De standaard bestond uit een woord uit het Russisch, de moedertaal van de proefpersonen, namelijk /du:/ (kans: 80%). Daarnaast kwamen er twee devianten voor, waarvan een ook uit de moedertaal kwam (/gu:/, 10% kans) en een deviant die niet afkomstig was uit de moedertaal (/du:/, 10% kans). Er werd geen significante MMR gevonden, wat de onderzoekers wijten aan te weinig proefpersonen.

Cheng en Lee (2018) hebben gekeken naar MMR's bij Mandarijnse syllaben verschillend in toonhoogte. In een multifeature paradigma werd /yi3/ als standaard aangeboden (80% kans) en /yi1/ en /yi2/ als respectievelijk grote en kleine deviant (ieder

10% kans). Voor het contrast met de grote deviant (/yi3/-/yi1/) werd een MMN gevonden en voor de kleine deviant (/yi3/-/yi2/) P-MMR's.

3.2.3. Kinderen van 1 t/m 3 jaar

Studie	Leeftijd (gem. of range)	Standaard-deviant	Latentie (ms)	Elektrode(s)	Amplitude MMR (μ V)
Yu et al. (2019)	13-24m	/ɛ/ en /l/	240-280 280-320 320-360	F3, Fz en F4 met elk drie aangelegen Geodesic sites	0.64 0.84 0.51
Ovchinnikova et al. (2019)	16.9m	/du:/ devianten: - /ɖu:/ - /gu:/	-	-	-
Cheng & Lee (2018)	Groep 2: 18m	/yi3/-/yi1/	210-280	F3	-1.84
			210-285	Fz	-2.00
			220-290	F4	-2.08
			210-250	C3	-1.53
			245-275	C4	-1.95
			120-170	F3	2.32
			280-390		3.34
			120-165	Fz	2.27
			310-380		2.66
	130-165	F4	1.89		
	305-375		2.64		
	285-360	C3	2.22		
	130-165	C4	2.10		
	325-385		2.18		
	Groep 3: 24m	/yi3/-/yi1/	225-275	F3	-1.81
			400-425		1.64
			215-285	Fz	-2.47
			235-280	F4	-2.22
220-300			C4	-2.42	
/yi3/-/yi2/			425-500	F3	-1.99
Niemitalo-Haapola et al. (2015)			22-26m	/ke:-/pe:/ en /pi:-/ki:/	220
	/ke:-/ki:/ en /pi:-/pe:/	224		P3, Pz en P4	-1.3
	Klinkerduratie (-50ms)	183			-4.4
Haapala et al. (2014)	22-26m	/ke:-/pe:/ en /pi:-/ki:/	242	Cz	-1.7
		/ke:-/ki:/ en /pi:-/pe:/	233		-1.3
		Klinkerduratie (-50ms)	189		-4.2
Čeponienė et al. (2003)	37m	/a/-genasaliseerde /a/	250-420	F3	-3.80
				C3	-4.38
		/a/-/o/		F3	-4.84
			C3	-5.74	

Tabel 4. Resultaten van de studies met kinderen van 1 t/m 3 jaar.

In zes studies werden kinderen van 1 t/m 3 jaar onderzocht. De resultaten van deze studies staan in Tabel 4. Alle proefpersonen waren wakker tijdens de onderzoeken. De resultaten lopen wederom uiteen.

De procedure van Yu et al. (2019) is hetzelfde als beschreven bij de kinderen onder de 1 jaar (zie par. 3.2.2). Yu et al. vonden een P-MMR.

Ovchinnikova et al. (2019) maakten gebruik van dezelfde procedure als genoemd bij de kinderen onder de 1 jaar (zie par. 3.2.2). Er werd geen significante MMR gevonden, wat de onderzoekers wijten aan te weinig proefpersonen.

Cheng en Lee (2018) gebruikten dezelfde stimuli en procedure als beschreven bij de kinderen onder de 1 jaar (zie par. 3.2.2). Bij de 18 en 24 maanden oude kinderen werd een MNN gevonden bij de grote deviant (/yi3/-/yi1/). De kleine deviant (/yi3/-/yi2/) lokte echter geen MMN uit, maar wel een P-MMR bij de kinderen van 18 maanden.

Niemitalo-Haapala, Haapala, Jansson-Verkasalo en Kujala (2015) en Haapala et al. (2014) maakten gebruik van dezelfde procedure en stimuli. De stimuli in de multifeature paradigma's bestonden uit consonant-klinker syllaben (standaarden: /ke:/ en /pi:/). De devianten varieerden op gebied van consonantidentiteit, F0 frequentie, intensiteit, klinkerduratie en klinkeridentiteit. De kans op de standaard was 50% en 10% op ieder van de devianten. Voor alle stimuli werd een MMN gevonden. De grootste MMN werd uitgelokt door een verandering in klinkerduratie en de kleinste MMN door verandering van de klinker.

Čeponienė, Lepistö, Alku, Aro en Näätänen (2003) maakten gebruik van een double-oddball paradigma, waarbij de standaard /a/ (kans: 86%) was, de grote deviant /o/ en de kleine deviant een genasaliseerde /a/ waren (ieder 7% kans). Er werden MMN's gevonden voor zowel de (grote) genasaliseerde /a/ als (kleine) /o/ deviant. De amplitude van de /o/ deviant was groter dan de genasaliseerde /a/ deviant. In de studie van Čeponienė et al. werd naast een MMN ook een LDN aangetroffen voor alle devianten (latentie: 420-600ms). Voor de genasaliseerde /a/ deviant werd bij F3 een LDN van $-4.80\mu\text{V}$ en bij C3 van $-4.58\mu\text{V}$ gevonden. Voor de /o/ deviant was de amplitude bij F3 $-4.53\mu\text{V}$ en bij C3 $-5.59\mu\text{V}$.

3.2.4 Volwassenen

Studie	Leeftijd (gem. of range)	Standaard-deviant	Latentie (ms)	Elektrode(s)	Amplitude MMR (μV)
Wanrooij et al. (2014a)	22j	Unimodal: [ε]-[æ] [æ]-[ε] Bimodal: [ε]-[æ] [æ]-[ε]	100-500	Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, T7 en T8	-1.12 -1.05 -0.35 -1.21
Peter et al. (2016)	28.67j	/i/, /u/ en /a/ in infant directed speech (IDS) en adult directed speech (ADS)	-	-	-
Cheng et al. (2015)	18-28j	/da/-/du/	108-206 220-274 108-212 226-270 110-204	F3 F4 C3	-2.61 1.34 -2.75 1.20 -2.37

	222-280		1.31
	108-210	C4	-2.44
	228-280		1.17
/da-/di/	80-198	F3	-2.24
	80-204	F4	-2.38
	102-198	C3	-1.97
	102-202	C4	-2.14
/ba-/ga/	152-206	F3	-1.86
	144-216	F4	-1.91
	144-234	C3	-1.94
	132-236	C4	-2.13
/ba-/da/	158-226	F3	-1.39
	154-246	F4	-1.61
	168-244	C3	-1.36
	162-246	C4	-1.47

Tabel 5. Resultaten van de studies met volwassenen.

In drie studies werden volwassenen onderzocht en alle proefpersonen waren wakker tijdens het onderzoek. De resultaten van deze studies worden gerapporteerd in Tabel 5. De resultaten uit de studies waren consistent en bevestigden het klassieke beeld van de MMN bij volwassenen. In de studies van Peter, Kalashnikova, Santos en Burnham (2016) en Cheng et al. (2015) werden ook kinderen onderzocht. Het onderzoek van Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014a) is een vervolg op het eerdergenoemde onderzoek van Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014b). De schedeldistributie van de MMN is frontocentraal in onderstaande studies.

Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014a) maakten gebruik van dezelfde stimuli en procedure als Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014b) (zie par. 3.2.1). Zij vonden een MMN met een latentie tussen de 100-500ms.

Peter, Kalashnikova, Santos en Burnham (2016) gebruikten dezelfde procedure als genoemd bij de kinderen onder 1 jaar (zie par. 3.2.2). De onderzoekers vonden een MMN voor zowel de ADS als IDS devianten van ongeveer gelijke amplitude (latentie: 100-200ms).

Cheng et al. (2015) volgden dezelfde procedure als besproken bij de pasgeborenen (zie par. 3.2.1). Er werd een MMN gevonden tussen de 80-280ms. De amplitudes voor de grote devianten in de studie van Cheng et al. zijn groter dan de amplitudes voor de kleine devianten.

3.3 Vergelijking MMR's kinderen en volwassenen

De studies waarbij volwassenen werden onderzocht lieten het klassieke beeld van de MMN zien (Cheng et al., 2015; Peter, Kalashnikova, Santos, & Burnham, 2016; Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen, 2014a). Bij de studies met pasgeborenen werden P-MMR's met een relatief late latentie gevonden (Cheng et al., 2015; Kostilainen et al., 2019; Partanen, Pakarinen, Kujala, & Huotilainen, 2013). Dit lijkt het tegenovergestelde van de volwassenen, maar naarmate kinderen ouder werden nam de latentie van de P-MMR af en werden er ook steeds vaker negatieve MMR's gevonden. Het lijkt er dus op dat de P-MMR in een MMN verandert naarmate kinderen ouder worden. In een studie waarin kinderen werden onderzocht werd een LDN aangetroffen (Čeponienė, Lepistö, Alku, Aro, & Näätänen, 2003), maar er werd geen LDN gevonden in de studies met volwassenen.

Voor de MMR's werd voornamelijk frontale en centrale activatie gevonden bij zowel kinderen als volwassenen. Wanrooij, Boersma en Van Zuijlen (2014a, 2014b) vonden ook een verschil in de elektrodes die activiteit meetten in de temporale lobe en Niemitalo-Haapola, Haapala, Jansson-Verkasalo en Kujala (2015) in de elektrodes die activiteit meetten in de pariëtale lobe.

4. Discussie

In deze review wordt een overzicht gegeven van wat er bekend is over de MMR van kinderen en volwassenen tijdens het luisteren naar spraaksignalen met het doel om de ontwikkeling van deze ERP-component in kaart te brengen. Mogelijk zouden eventuele afwijkingen op taalstoornissen kunnen duiden. Hiervoor is een zoekopdracht in Pubmed uitgevoerd, wat uiteindelijk resulteerde in 15 studies. De studies zijn lastig direct met elkaar te vergelijken omdat ze erg verschillen in de gebruikte methoden en analyses. Hierdoor zijn de amplitudes en latenties niet direct met elkaar te vergelijken. Wel is het mogelijk om te kijken naar gelijkenissen in gevonden signalen en bij welke stimuli ed. dit gebeurt. De resultaten zijn erg inconsistent. Ondanks de verschillen in resultaten lijken er wel enkele trends zichtbaar te zijn.

Bij de studies met pasgeboren kinderen werden er voornamelijk P-MMR's gerapporteerd (Cheng et al., 2015; Kostilainen et al., 2019; Partanen, Pakarinen, Kujala, & Huotilainen, 2013) met een relatief late latentie. Dit wijst erop dat pasgeboren kinderen in staat zijn om (slapend) verandering in spraaksignalen waar te nemen. Er kwamen meer MMN's voor in de onderzoeken naarmate de kinderen ouder werden. In de studies met kinderen tot 1 jaar kwamen er steeds meer negatieve MMR's voor, waarbij het grootste omslagpunt rond de 6 maanden lijkt te liggen. De latentie van de positieve en negatieve MMR's lijkt af te nemen naarmate de kinderen ouder worden. De MMN's beginnen hierdoor te lijken op de MMN zoals die bij volwassenen wordt waargenomen. Dit wijst op een rol van neurale maturatie.

Naast de leeftijd van kinderen lijkt ook de grootte van de deviant effect te hebben op de MMR, met name op de polariteit. Bij de pasgeboren kinderen is er nog geen duidelijk effect te zien, maar bij de oudere groepen wel. In de studies van Cheng et al. (2015) en Cheng en Lee (2018) werden MMN's gevonden bij de grote deviant bij verandering in klinker, maar niet bij de devianten die minder afweken van de standaard. Bij de iets oudere kinderen (1 t/m 3 jaar) vonden Cheng en Lee een soortgelijk resultaat. Čeponienė, Lepistö, Alku, Aro en Näätänen (2003) vonden voor de grote deviant een grotere (negatieve) amplitude dan voor de kleine deviant, maar de invloed van deviantgrootte op de amplitude is minder duidelijk.

Een kanttekening die bij de (vergelijking van de) onderzoeken moet worden geplaatst is dat de mogelijkheid bestaat dat aan de MMR zoals gemeten in kinderen en volwassenen verschillende cognitieve processen ten grondslag liggen. Zoals eerder verteld geeft de MMR aan dat er een verandering in stimulus is waargenomen. Bij volwassenen is de MMR negatief van polariteit, maar bij jonge kinderen worden ook positieve MMR's gevonden. Het is mogelijk dat een ander signaal (een deel van) de negatieve MMR maskeert, wat zou resulteren in een verminderde amplitude van de MMN (Kushnerenko, Čeponienė, Balan, Fellman, & Näätänen, 2002). De P3a is een ERP-component die een heroriëntatie van aandacht aangeeft (Kushnerenko, Čeponienė, Balan, Fellman, & Näätänen, 2002; Cheour, 2007). Dit zou verschillen in resultaten binnen en tussen studies kunnen verklaren. De geïncludeerde studies lieten een (voornamelijk) frontocentrale schedeldistributie van de (positieve en negatieve) MMR zien bij zowel kinderen als volwassenen. Hoewel de frontocentrale schedeldistributie van de MMR bij volwassenen al veelvuldig is vastgelegd (Näätänen, Paavilainen, Rinne, & Alho, 2007), zijn er aanwijzingen dat de MMR bij kinderen meer verspreid plaatsvindt (Cheour, Leppänen, & Kraus, 2000). In sommige van de studies

die kinderen onderzochten zijn echter alleen de frontocentrale elektrodes meegenomen omdat deze bij volwassenen een verschil in activiteit laten zien (bijvoorbeeld in Kostilainen et al. (2019) en Haapala et al. (2014)). Het is dus mogelijk dat de schedeldistributie van de MMR bij kinderen meer verspreid is over de hersenen dan bij de gereviewde studies het geval lijkt. Cheour (2007) stelt voor dat dit distributieverval van de MMR bij kinderen en volwassenen wellicht te wijten is aan een verschil in fysieke afstand tussen hersengebieden, schedeldikte of de geleiding van de schedel. Ook is het mogelijk dat informatie breder wordt verwerkt bij kinderen omdat hun brein nog niet zo gespecialiseerd is als het brein van volwassenen (Cheour, 2007).

Er zijn enkele limitaties aan deze scriptie. Ten eerste zijn er te weinig studies meegenomen om een betrouwbaar beeld te schetsen van de ontwikkeling van de MMR bij kinderen. Wegens praktische redenen is er maar gezocht in één database. Om een vollediger overzicht en betrouwbaarder beeld van alle mogelijk relevante studies te krijgen zouden meerdere databases (bijvoorbeeld Web of Science, PsycINFO of Google Scholar) geraadpleegd moeten worden. Daarnaast is er niet gekeken naar een aantal variabelen die mogelijk de verschillen in resultaten tussen de studies kunnen verklaren. Hierbij valt onder meer te denken aan de effecten van de lengte van de stimuli, het interstimulus interval of de verhouding tussen standaard en stimuli. In het experiment van Niemitalo-Haapola, Haapala, Jansson-Verkasalo en Kujala (2015) kwam de standaard stimulus bijvoorbeeld 50% en de devianten ieder 8.3% voor, maar in het experiment van Yu et al. (2019) was dit 80% voor de standaard en 20% voor de deviant. Ook zou de manier waarop de stimuli is gemaakt invloed kunnen hebben op de resultaten (bijvoorbeeld natuurlijke spraak versus (semi-)synthetische spraak).

Tot slot volgen enkele suggesties voor vervolgonderzoek. Zoals eerder gezegd is het feit dat er in slechts één database is gezocht een limitatie van deze studie. Voor een volgende systematische review is het aan te raden om in meerdere databases te zoeken. Daarnaast zouden er meer variabelen meegenomen kunnen worden die mogelijk invloed hebben op de MMR's. Hierbij valt te denken aan het interstimulus interval en de manier waarop de stimuli zijn gemaakt. Ook zouden er meer elektrodes die activiteit metten in de pariëtale en temporale lobes meegenomen kunnen worden in het analyseren van de data om een beter beeld te krijgen van de schedeldistributie van de MMR bij kinderen. Tevens zou het uitvoeren van een klassieke (statistische) meta-analyse overwogen kunnen worden om verschillen kwantificeerbaar te maken en de invloeden van individuele variabelen te kunnen meten.

5. Conclusie

In dit onderzoek is middels een systematische literatuurreview getracht antwoord te geven op de vraag: Wat is er bekend over de ontwikkeling van de mismatch response (gemeten met EEG) tijdens het luisteren naar spraaksignalen bij normaal ontwikkelende kinderen t/m 3 jaar en hoe verhoudt zich dit tot de mismatch response tijdens het luisteren naar spraaksignalen bij gezonde volwassenen? Er vindt een verandering plaats van een P-MMR naar een meer volwassen MMN naarmate kinderen ouder worden. De gevonden studies laten echter geen eenduidig beeld zien van deze ontwikkeling. Er is geprobeerd om verklaringen te vinden voor de variatie in MMR's door de variabelen leeftijd en grootte van de deviant te onderzoeken, maar dit bleek geen alomvattende verklaring te kunnen bieden. Er zal meer onderzoek uitgevoerd moeten worden om de verschillen tussen studies te kunnen verklaren en de ontwikkeling van de MMR duidelijk in kaart te brengen.

6. Referenties

- Blomert, L. (2005). *Dyslexie in Nederland: theorie, praktijk en beleid*. Amsterdam, Nederland: Uitgeverij Nieuwezijds.
- Bishop, D. V., Hardiman, M. J., & Barry, J. G. (2011). Is auditory discrimination mature by middle childhood? A study using time-frequency analysis of mismatch responses from 7 years to adulthood. *Developmental Science*, *14*(2), 402-416.
- Čeponienė, R., Lepistö, T., Alku, P., Aro, H., & Näätänen, R. (2003). Event-related potential indices of auditory vowel processing in 3-year-old children. *Clinical Neurophysiology*, *114*(4), 652-661.
- Cheng, Y. Y., & Lee, C. Y. (2018). The Development of Mismatch Responses to Mandarin Lexical Tone in 12-to 24-Month-Old Infants. *Frontiers in Psychology*, *9*, 448.
- Cheng, Y. Y., Wu, H. C., Tzeng, Y. L., Yang, M. T., Zhao, L. L., & Lee, C. Y. (2013). The Development of Mismatch Responses to Mandarin Lexical Tones in Early Infancy. *Developmental Neuropsychology*, *38*(5), 281-300.
- Cheng, Y. Y., Wu, H. C., Tzeng, Y. L., Yang, M. T., Zhao, L. L., & Lee, C. Y. (2015). Feature-specific transition from positive mismatch response to mismatch negativity in early infancy: Mismatch responses to vowels and initial consonants. *International Journal of Psychophysiology*, *96*(2), 84-94.
- Cheour, M. (2007). Development of mismatch negativity (MMN) during infancy. *Infant EEG and event-related potentials*, 19-30.
- Cheour, M., Korpilahti, P., Martynova, O., & Lang, A. H. (2001). Mismatch Negativity and Late Discriminative Negativity in Investigating Speech Perception and Learning in Children and Infants. *Audiology and Neuro-tology*, *6*(1), 2-11.
- Cheour, M., Leppänen, P. H., & Kraus, N. (2000). Mismatch negativity (MMN) as a tool for investigating auditory discrimination and sensory memory in infants and children. *Clinical Neurophysiology*, *111*(1), 4-16.
- DigitizeIt*. (z.d.). Geraadpleegd op 14 januari 2020, van <https://www.digitizeit.de/>
- EPODIUM*. (z.d.). Geraadpleegd op 20 januari 2020, van <https://www.esciencecenter.nl/project/epodium>
- Friedrich, M., Herold, B., & Friederici, A. D. (2009). ERP correlates of processing native and non-native language word stress in infants with different language outcomes. *Cortex*, *45*(5), 662-676.

- Haapala, S., Niemitalo-Haapola, E., Raappana, A., Kujala, T., Suominen, K., Kujala, T., & Jansson-Verkasalo, E. (2014). Effects of Recurrent Acute Otitis Media on Cortical Speech-Sound Processing in 2-Year Old Children. *Ear and Hearing, 35*(3), e75-e83.
- Kostilainen, K., Partanen, E., Mikkola, K., Wikström, V., Pakarinen, S., Fellman, V., & Huotilainen, M. (2019). Neural processing of changes in phonetic and emotional speech sounds and tones in preterm infants at term age. *International Journal of Psychophysiology*. Online voorpublicatie.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.10.009>
- Kuhl, P. K., Conboy, B. T., Padden, D., Nelson, T., & Pruitt, J. (2005). Early speech perception and later language development: Implications for the "critical period". *Language Learning and Development, 1*(3-4), 237-264.
- Kujala, T., Tervaniemi, M., & Schröger, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: Theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology, 74*(1), 1-19.
- Kushnerenko, E., Čeponienė, R., Balan, P., Fellman, V., & Näätänen, R. (2002). Maturation of the auditory change detection response in infants: a longitudinal ERP study. *NeuroReport, 13*(15), 1843-1848.
- Martynova, O., Kirjavainen, J., & Cheour, M. (2003). Mismatch negativity and late discriminative negativity in sleeping human newborns. *Neuroscience Letters, 340*(2), 75-78.
- Maurer, U., Bucher, K., Brem, S., & Brandeis, D. (2003). Development of the automatic mismatch response: from frontal positivity in kindergarten children to the mismatch negativity. *Clinical Neurophysiology, 114*(5), 808-817.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine, 151*(4), 264-269.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica, 42*(4), 313-329.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., & Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clinical Neurophysiology, 118*(12), 2544-2590.
- Näätänen, R., Pakarinen, S., Rinne, T., & Takegata, R. (2004). The mismatch negativity (MMN): towards the optimal paradigm. *Clinical Neurophysiology, 115*(1), 140-144.

- Niemitalo-Haapola, E., Haapala, S., Jansson-Verkasalo, E., & Kujala, T. (2015). Background Noise Degrades Central Auditory Processing in Toddlers. *Ear and Hearing, 36*(6), e342-e351.
- Ovchinnikova, I., Zhukova, M. A., Luchina, A., Petrov, M. V., Vasilyeva, M. J., & Grigorenko, E. L. (2019). Auditory Mismatch Negativity Response in Institutionalized Children. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, 300.
- Pang, E. W., Edmonds, G. E., Desjardins, R., Khan, S. C., Trainor, L. J., & Taylor, M. J. (1998). Mismatch negativity to speech stimuli in 8-month-old infants and adults. *International Journal of Psychophysiology, 29*(2), 227-236.
- Partanen, E., Pakarinen, S., Kujala, T., & Huotilainen, M. (2013). Infants' brain responses for speech sound changes in fast multifeature MMN paradigm. *Clinical Neurophysiology, 124*(8), 1578-1585.
- Peter, V., Kalashnikova, M., Santos, A., & Burnham, D. (2016). Mature neural responses to Infant-Directed Speech but not Adult-Directed Speech in Pre-Verbal Infants. *Scientific Reports, 6*, 34273.
- PubMed. (z.d.). Geraadpleegd op 4 januari 2020, van <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- Ragó, A., Honbolygó, F., Róna, Z., Beke, A., & Csépe, V. (2014). Effect of maturation on suprasegmental speech processing in full- and preterm infants: A mismatch negativity study. *Research in Developmental Disabilities, 35*(1), 192-202.
- Rivera-Gaxiola, M., Csibra, G., Johnson, M. H., & Karmiloff-Smith, A. (2000). Electrophysiological correlates of cross-linguistic speech perception in native English speakers. *Behavioural Brain Research, 111*(1-2), 13-23.
- Tomé, D., Barbosa, F., Nowak, K., & Marques-Teixeira, J. (2015). The development of the N1 and N2 components in auditory oddball paradigms: a systematic review with narrative analysis and suggested normative values. *Journal of Neural Transmission, 122*(3), 375-391.
- Van Zuijen, T. L., Plakas, A., Maassen, B. A., Maurits, N. M., & Van der Leij, A. (2013). Infant ERPs separate children at risk of dyslexia who become good readers from those who become poor readers. *Developmental Science, 16*(4), 554-563.
- Volkmer, S., & Schulte-Körne, G. (2018). Cortical responses to tone and phoneme mismatch as a predictor of dyslexia? A systematic review. *Schizophrenia Research, 191*, 148-160.

- Wanrooij, K., Boersma, P., & van Zuijen, T. L. (2014a). Distributional Vowel Training Is Less Effective for Adults than for Infants. A Study Using the Mismatch Response. *Plos One*, *9*(10), e109806.
- Wanrooij, K., Boersma, P., & Van Zuijen, T. L. (2014b). Fast phonetic learning occurs already in 2-to-3-month old infants: an ERP study. *Frontiers in Psychology*, *5*, 77.
- Yu, Y. H., Tessel, C., Han, H., Campanelli, L., Vidal, N., Gerometta, J., Garrido-Nag, K., Diatta, H., & Shafer, V. L. (2019). Neural Indices of Vowel Discrimination in Monolingual and Bilingual Infants and Children. *Ear and Hearing*, *40*(6), 1376–1390.