

THESIS

**Verwerking van ruimtelijke relaties in arme en rijke context: effecten
van unilaterale hersenlaesies en veroudering.**

Een studie naar hemisferische specialisatie voor categorische en coördinate ruimtelijke relaties.

Samenvatting

Volgens de theorie van Kosslyn (1987) is de linkerhemisfeer gespecialiseerd in de verwerking van categorische ruimtelijke relaties, en de rechterhemisfeer in de verwerking van coördinate ruimtelijke relaties. Categorische ruimtelijke relaties geven de relatieve posities van objecten weer (bijv. “links van” of “boven”), en coördinate ruimtelijke relaties de exacte, metrische posities. Meerdere studies hebben deze lateralisatie aangetoond, met behulp van taken met eenvoudige stimuli. In de huidige studie zijn zowel taken met basale, contextarme stimuli als taken met contextrijke stimuli gebruikt om te onderzoeken of de resultaten van voorgaande studies generaliseerbaar zijn naar meer realistische situaties. 35 Patiënten met unilaterale hersenschade werden hiervoor getest. De resultaten waren niet in lijn met de theorie van Kosslyn (1987). Dit komt mogelijk door een te klein aantal patiënten met schade in de pariëtale cortex, die hoofdzakelijk in verband wordt gebracht met de verwerking van ruimtelijke relaties. Er is ook onderzocht of er effecten waren van veroudering op de verwerking van de twee soorten ruimtelijke relaties, door dezelfde taken af te nemen bij gezonde jongvolwassenen en ouderen. Ouderen waren minder accuraat in het verwerken van categorische en coördinate ruimtelijke relaties, maar dit kwam alleen naar voren in de taak met contextrijke, het dagelijks leven nabootsende stimuli.

Sandra Maliepaard (3055256)
5 maart 2010

Begeleiding: Ineke J.M. van der Ham, MsC.

1. Inleiding

De vaardigheid om te bepalen wat de ruimtelijke relatie is tussen objecten is essentieel voor interactie met de omgeving, en om objecten te kunnen identificeren. Er kan hierbij een onderscheid gemaakt worden tussen categorische ruimtelijke relaties en coördinate ruimtelijke relaties. Categorische ruimtelijke relaties betreffen de relatieve relaties tussen objecten, waarbij ruimtelijke posities in een bepaalde categorie worden geplaatst. Omschrijvingen als “links van”, “boven” of “naast” worden hiervoor gebruikt. Coördinate relaties zijn exacte, metrische relaties tussen objecten, waarbij bijvoorbeeld de omschrijving “een meter van de tafel” wordt gebruikt (Kosslyn, 1987). Kosslyn (1987; Kosslyn, Koenig, Barrett, Cave, Tang & Gabrieli, 1989) stelde als eerste de hypothese op dat aan dit onderscheid twee aparte verwerkingsmechanismen ten grondslag liggen, die gelateraliseerd zijn in het brein. Gezien de dominantie van de linkerhemisfeer voor taalverwerking stelde hij dat de linkerhemisfeer betrokken is bij de verwerking van categorische ruimtelijke relaties. De verwerking van coördinate ruimtelijke relaties werd geassocieerd met de rechterhemisfeer, omdat deze gespecialiseerd is in navigatie. Later werd als een andere mogelijke oorzaak van lateralisatie een relatief verschil in receptieve veldgrootte genoemd. De linkerhemisfeer zou meer input hebben van neuronen met kleine receptieve velden, geschikt voor codering van categorische relaties, en de rechterhemisfeer van grote receptieve velden, geschikt voor de codering van coördinate relaties (Chabris & Kosslyn, 1998; Jacobs & Kosslyn, 1994; Kosslyn, Chabris, Marsolek & Koenig, 1992). Dit verschil in receptieve veldgrootte wordt echter niet door iedereen bevestigd (Oleksiak, Postma, van der Ham & van Wezel, 2009).

Kosslyn kwam als eerste met empirisch bewijs voor zijn lateralisatie hypothese (Kosslyn et al., 1989). Proefpersonen waren sneller in het beoordelen van categorische ruimtelijke relaties bij vertoning van stimuli in het rechter visuele veld. Dit wijst op een linkerhemisfeer voordeel, aangezien bij een korte aanbestedingstijd (<200 ms) stimuli voornamelijk door de contralaterale hemisfeer het eerst worden verwerkt. Als de stimuli in het linker visuele veld werden vertoond waren de proefpersonen sneller voor het beoordelen van coördinate ruimtelijke relaties (en was er dus een rechterhemisfeer voordeel). In meer visuele half veld (VHV) studies werd bewijs gevonden voor de lateralisatie hypothese (Hellige & Michimata, 1989; Laeng & Peters, 1995; Saneyoshi & Michimata, 2009; Van der Ham, van Wezel, Oleksiak & Postma, 2007). Andere studies vonden alleen een rechterhemisfeer voordeel voor coördinate taken, maar een minder sterk (Rybash & Hoyer, 1992) of geen linkerhemisfeer voordeel voor categorische taken (Banich & Federmeier, 1999; Michimata, 1997; Van der

Lubbe, Scholvinck, Kenemans & Postma, 2006). Sergent (1991a, 1991b) concludeerde in haar studies met gezonde proefpersonen en met patiënten met gescheiden hemisferen dat beide hemisferen zowel categorische als coördinate ruimtelijke relaties kunnen verwerken. Sergents onderzoek is vooral belangrijk geweest voor de discussie of er sprake is van een exclusieve bijdrage of van een relatief voordeel van de hemisferen bij de verwerking van categorische en coördinate relaties, en heeft geleid tot het tegenwoordig gangbare idee dat een mogelijke specialisatie van de hemisferen relatief zou zijn. Er wordt nu meer in termen van hemisferische voordelen of bias gesproken. Over zowel de oorzaak als de precieze eigenschappen van lateralisatie van de ruimtelijke relaties bestaat dus nog discussie in de actuele literatuur.

Eén van de vormen van onderzoek in dit veld is het testen van patiënten met een éénzijdige hersenbeschadiging. Als er sprake is van lateralisatie zou links- of rechtszijdige hersenbeschadiging verschillende gevolgen moeten hebben voor de verwerking van de twee soorten ruimtelijke relaties, en met informatie van hersenscans (bijv. verkregen door anatomische MRI scans) kan de laesielocatie gerelateerd worden aan de prestaties. Een voordeel ten opzichte van visuele half veld studies is dat gezien de permanente beperking er bij het taakdesign geen rekening hoeft te worden gehouden met de zijde en maximale tijd van aanbidding van de stimuli. Laeng (1994) concludeerde in zijn onderzoek dat patiënten met een linker hemisfeer beschadiging vaker slechter presteerden op categorische taken, en patiënten met een rechter hemisfeer beschadiging vaker op coördinate taken. De problemen met het ruimtelijke functioneren waren het grootst bij patiënten met laesies in de pariëtale cortex. Palermo, Bureca, Matano & Guariglia (2008) vonden eenzelfde dubbele dissociatie voor mental imagery.

Een andere, recente bron van onderzoek zijn studies met beeldvormende technieken en stimulatie- en de-activatie technieken. In fMRI studies (Baciu, Koenig, Vernier, Bedoin, Rubin & Segebarth, 1999; Slotnick & Moo, 2006; Trojano, Grossi, Linden, Formisano, Goebel & Cirillo 2002; van der Ham, Raemaekers, van Wezel, Oleksiak & Postma, 2009), in een repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) studie (Trojano, Conson, Maffei & Grossi, 2006) en in een corticale deactivatie studie (Slotnick, Moo, Tesoro & Hart, 2001) werd de linker hemisfeer in verband gebracht met categorische processen, en de rechter hemisfeer met coördinate processen. Als in de studies hiernaar was gekeken, bleken steeds pariëtale structuren betrokken bij deze processen. Dit komt overeen met de bevindingen uit Laeng's (2004) onderzoek. De resultaten van een PET-studie van Kosslyn, Thompson, Gitelman & Alpert (1998) komen gedeeltelijk overeen met die van de andere studies. Er werd

in twee pariëtale gebieden in de rechterhemisfeer een grotere activiteit gezien bij de verwerking van coördinate spatiële relaties, dan die van categorische relaties. Er werd echter geen omgekeerd effect gevonden in de linker hemisfeer.

Al deze studies samengenomen wordt er veelal bewijs gevonden voor een specialisatie van de hemisferen voor categorische en coördinate ruimtelijke relaties, maar dit bewijs is vaak sterker voor een rechterhemisfeer specialisatie voor coördinate relaties dan voor een linkerhemisfeer specialisatie voor categorische relaties. Jager en Postma (2003) kwamen ook tot deze conclusie. Uitkomsten van de onderzoeken kunnen van elkaar afwijken door verschillen in het gebruikte taakdesign en wellicht zelfs individuele verschillen (Bruyer, Scailquin & Coibion, 1997; Wilkinson & Donnelly, 1999).

Het merendeel van de besproken studies onderzochten de ruimtelijke relaties met heel basale taken, zoals de “bar-dot” taak (Hellige & Michimata, 1989) met een rechte lijn en stip als stimuli. Het is de vraag of de bevindingen van deze studies gegeneraliseerd kunnen worden naar meer realistische, in het dagelijks leven voorkomende situaties. Rosielle, Crabb & Cooper (2002) zijn de enigen die onderzoek hebben gedaan naar de verwerking van ruimtelijke relaties in een realistische situatie. Ze projecteerden herhaaldelijk, op dezelfde plaats, en kort na elkaar twee afbeeldingen van scènes die verschilden in een ruimtelijke relatie, net zolang tot de proefpersoon het verschil tussen de twee detecteerde. Uit het verschil in reactietijd tussen de categorische en coördinate veranderingen bleek dat ook in een realistische scène categorische en coördinate relaties apart worden gecodeerd. In de huidige studie is zowel een basale taak als een scène perceptie taak afgenomen, om de lateralisatie hypothese te onderzoeken. Het design van de scène perceptie taak van Rosielle et al. (2002) was aangepast door twee scènes tegelijk en voor een langere tijd te presenteren, omdat dit de realiteit beter nabootst.

Samenvattend was het doel van deze studie om te onderzoeken of er sprake is van twee (relatief) aparte, gelateraliseerde mechanismen voor de verwerking van categorische en coördinate relaties in zowel taken met basale stimuli als in een meer realistische taak. Hiervoor zijn patiënten getest die een bloeding of infarct hebben gehad in de linker- of rechterhemisfeer. De prestaties werden vergeleken met die van gezonde controles, gematcht op leeftijd en opleidingsniveau. Gezien de vele studies waarin de lateralisatie werd aangetoond met basale taken was de verwachting dat dit met de basale taken in deze studie ook zou worden gevonden. Naar aanleiding van de bevindingen van Rosielle et al. (2002) werd de lateralisatie ook verwacht bij de realistische taak.

Veroudering

De gemiddelde leeftijd van de geteste patiënten in de huidige studie ligt relatief hoog, zeker aangezien de meeste studies studenten in de leeftijdsrange van ongeveer 18-25 jaar als populatie hebben. De bestaande resultaten kunnen niet zomaar gegeneraliseerd worden naar patiënten die veelal een hogere leeftijd hebben. Het is hierbij van belang om ook het effect van leeftijd te bekijken in een gezonde populatie. Daarom zijn er ook jongvolwassen gezonde mensen (gematcht op opleidingsniveau en geslacht met de oudere controles) getest op dezelfde taken om te onderzoeken of er effecten van veroudering zijn op de verwerking van categorische en coördinate relaties.

De drie studies die zijn gedaan naar dit onderwerp hadden verschillende uitkomsten. Allen vonden ze een algehele toename in de reactietijd (Bruyer et al., 1997; Hoyer & Rybash, 1992; Meadmore, Dror & Bucks, 2009), maar alleen Bruyer et al. (1997) vonden dat het voordeel in reactietijd van categorische taken ten opzichte van coördinate taken kleiner was bij de ouderen dan bij de jongvolwassenen. Wat accuratesse betreft vonden Meadmore et al. (2009) geen verschil tussen ouderen en jongvolwassenen op beide taken, maar Bruyer et al. (1997) wel: de accuratesse van ouderen was slechter dan die van jongvolwassenen bij coördinate taken, maar niet bij categorische taken. Daarnaast was het verschil in accuratesse tussen de twee taken groter bij ouderen dan bij jongvolwassenen. Over zowel een mogelijke taakspecifieke achteruitgang in reactietijd als accuratesse bestaat dus nog onduidelijkheid.

Omdat er in verschillende studies naar voren is gekomen dat ouderen meer tijd nodig hebben om informatie te verwerken en tot een respons te komen (bijv. Brigman & Cherry, 2002; Salthouse, 1996) werd er verwacht dat de oudere groep op beide taken een toename in de reactietijd zou vertonen. Dit zou overeenkomen met de bevindingen van Bruyer et al. (1997), Hoyer en Rybash (1992) en Meadmore et al. (2009). Daarnaast werd er net als in de studie van Bruyer et al. (1997) voor de accuratesse een slechtere prestatie verwacht van de ouderen dan de jongvolwassenen op de coördinate taken. Er zijn namelijk studies die erop wijzen dat bij het ouder worden de rechterhemisfeer meer achteruitgang vertoont op spatiële taken dan de linkerhemisfeer (bijv. Haavisto & Lehto, 2004; Jenkins, Meyerson, Joerding, & Hale, 2000; Myerson, Emery, Whitem & Hale, 2003). Het feit dat categorische taken meestal makkelijker zijn dan coördinate taken (Bruyer et al., 1997) is ook een reden om te verwachten dat er op deze taken minder (of geen) achteruitgang zal zijn bij ouderen, omdat is gebleken dat de moeilijkheid van een taak een grotere invloed op de prestatie heeft bij ouderen dan bij jongvolwassenen (bijv. Clay, 1954; Crowder, 1980; Salthouse; 1992).

2. Methoden

2.1. Participanten

Aan het onderzoek namen in totaal 35 patiënten deel met unilaterale hersenschade (veroorzaakt door een herseninfarct- of bloeding), afkomstig van het Universitair Medisch Centrum Utrecht. Zeventien patiënten hadden schade aan de linkerhemisfeer en 18 patiënten schade aan de rechterhemisfeer. De twee patiëntgroepen verschilden niet in de tijd die verstreken was sinds de dag dat de hersenschade ontstond tot de dag van het onderzoek. De controlegroep bestond uit 29 gezonde participanten, welke een kleine vergoeding kregen voor hun deelname. De drie groepen verschilden niet in leeftijd of opleidingsniveau. Een overzicht van proefpersooneigenschappen is te zien in tabel 2.1. Met de Annett Handedness Inventory (Briggs & Nebbs, 1975) werd een handvoorkeursscore bepaald. Het opleidingsniveau werd bepaald aan de hand van 7 categorieën (oplopend van 1 tot 7, Hochstenbach, den Otter & Mulder, 2003).

De groep jonge participanten bestond uit 21 jongvolwassenen. De gemiddelde leeftijd was 20,43 (SD = 2,39). De groep oude participanten waren dezelfde participanten als de controlegroep voor de patiëntgroep. De gemiddelde leeftijd van de oude groep was 57,17 (SD = 8,78). Alle jonge proefpersonen kregen ook een kleine vergoeding voor hun deelname. De groepen verschilden niet in opleidingsniveau.

Tabel 2.1: Proefpersooneigenschappen en testscores van patiënten met linkerhemisfeer schade (LH), patiënten met rechterhemisfeer schade (RH), de controles / oude groep en de jonge groep.

	LH n = 17	RH n = 18	Controles / oude groep n = 29	Jonge groep n = 21
Leeftijd	63,1 (11,2)	56,1 (14,5)	57,2 (8,8)	20,4 (2,4)
Opleidingsniveau (1-7)	5,5 (1,2)	5 (1)	5,4 (1)	5,7 (0,8)
Annett Handedness Inventory (-24 / 24)	16,5 (10,6)	15,8 (12,9)	11 (17,7)	13,7 (14,7)
NLV-IQ	107,1 (17,2)	102 (18,1)	107 (15,7)	93,9 (9,5) **
Raven APM (korte versie)	7,4 (3,1)	5,5 (3,5) *	8 (2,6)	9,5 (2,1)*
15 WT: onmiddellijke reproductie	30,5 (12,4) ***	37,9 (10,2)	44,1 (10,5)	49,3 (10)
15 WT: uitgestelde reproductie	6,1 (4,3) *	8,1 (2,7)	8,9 (3,5)	10,2 (2,2)
15 WT: herkenning	25,7 (4,2) *	28 (2,7)	28,4 (2,1)	29,2 (1,1)
Cijfers en Letters Nazeggen	8,8 (3,5)	8 (3,4)	10,1 (3,2)	9,6 (2,6)
Corsi Block-Tapping test voorwaarts	7,4 (1,2)	7,6 (1,8)	7,8 (1,5)	9,3 (2,3) *
Corsi Block-Tapping test achterwaarts	7,4 (2)	5,8 (2,2) **	7,8 (1,7)	9,3 (2,6) *
TMT AB	2,9 (0,8) *	2,4 (1,1)	2,1 (0,8)	2,2 (0,7)

Noot. NLV = Nederlandse Leestest voor Volwassenen, Raven APM = Raven Advanced Progressive Matrices, 15 WT = 15 Woorden Test, TMT AB = Trail Making Test, benodigde tijd test A / benodigde tijd test B.

*Een significant verschil met de controles / oude groep is aangegeven met * $p < ,05$ ** $p < ,01$ *** $p < ,001$.*

Met een aantal neuropsychologische tests werd de algemene intelligentie en het werkgeheugen gemeten (zie tabel 2.1 voor de gemiddelde testcores van de groepen). Met de Nederlandse Leestest voor Volwassenen (Schmand, Bakker, Saan & Louman, 1992) werd de verbale intelligentie gemeten, met een tot 12 items ingekorte versie van de Raven Advanced Progressive Matrices (Raven, Raven & Court, 1993) de non-verbale intelligentie. Het verbale geheugen werd gemeten met 15-Woorden Test (Rey, 1964; Taylor, 1959), en de Cijfers en Letters Nazeggen taak (WAIS-III; Wechsler, 1987). De Corsi Block-Tapping taak werd gebruikt om het visuele korte termijn geheugen te meten (Corsi, 1972). Trail Making Test A en B werden afgenomen om de mentale flexibiliteit te bepalen (Reitan, 1958).

2.2. *Cross-Dot taak*

Eén van de experimenten die werd afgenomen was de cross-dot taak (Van der Ham et al., 2007, 2009). Deze bestaande taak was aangepast en bestond uit vier taken waarin participanten aan de hand van een categorische of coördinate instructie bepaalden of de tweede (S2) van twee vertoonde stimuli verschilde van een als eerste vertoonde stimulus (S1). Bij twee taken werd een categorische instructie gegeven, en bij twee andere taken een coördinate instructie. De categorische instructie was om aan te geven of de stip in de tweede stimulus in hetzelfde kwart van een kruis stond als in de eerste stimulus. De coördinate instructie was om te kijken naar de afstand tussen de stip en het midden van het kruis en aan te geven of de afstand in de tweede stimulus verschilde van de afstand in de eerste stimulus.

De gebruikte stimuli bestonden uit een als een “+” vormgegeven zwart kruis en een zwarte stip (radius: 6 pixels), weergegeven op een witte achtergrond. Een verschil met de oorspronkelijke taken is dat er twee formaten kruizen zijn gebruikt. Bij beide instructies waren de afmetingen van het kruis in de ene taak 14 x 14 pixels, en in de andere taak 90 x 90 pixels. Er waren in totaal dus 4 condities: twee instructies (categorisch of coördinaat) en twee stimuli (klein kruis, groot kruis). Voor alle vier de taken werden er 20 trials aangeboden. De volgorde van de taken werd gerandomiseerd over de participanten.

Elke trial bestond uit de volgende elementen: een gekleurd vlak (500 ms), een wit scherm (250 ms), een fixatie kruis (500 ms), S1 (150 ms), een wit scherm (1500 ms), een fixatiekruis (500 ms), S2 (150 ms) en een wit scherm (4000 ms) (zie figuur 1). Alle stimuli werden in het midden van het scherm aangeboden. De afmetingen van het als een “x” vormgegeven fixatiekruis waren 10x10 pixels.

De participanten zaten op een afstand van ongeveer 50 cm van een 17 inch computerscherm (1024 x 768 pixels). Door op de linkerpil toets van het toetsenbord te

drukken kon de respons gegeven worden dat de stimuli overeen kwamen volgens de instructie, en door op de rechterpijl toets te drukken dat de stimuli niet overeen kwamen. Reactietijd (RT) en het foutpercentage (FP) werden hiermee geregistreerd. De instructies en het experiment zelf werden aangeboden op het computerscherm met Presentation[®] 9.90 software (Neurobehavioral Systems). Instructies werden zowel verbaal als in tekst op het computerscherm aangeboden. Vijf oefentrials gingen vooraf aan het werkelijke experiment, welke zondig herhaald werden.

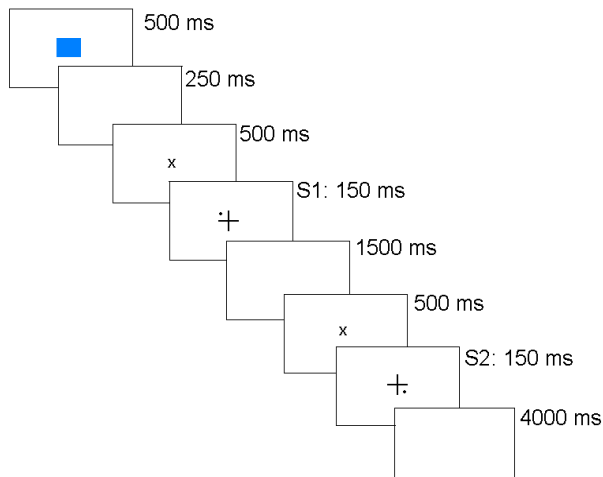


Fig. 1. Illustratie van volgorde en aanbestedingstijd van de trials van zowel de taken met een categorische als met een coördinate instructie, met het grote kruis als stimulus.

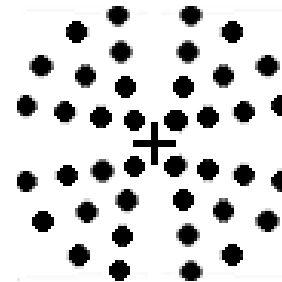


Fig. 2. De 40 mogelijke posities van de stip t.o.v. het (in deze figuur kleine) kruis. Bij de in het experiment gebruikte stimuli werd slechts één stip aangeboden.

De stip kon op 40 verschillende posities ten opzichte van het kruis verschijnen. Er waren 10 posities in elk van de vier kwanten, met vier verschillende afstanden tot het midden van het kruis (zie figuur 2). De instructies en voorbeelden waren zo gemaakt dat de participanten niet zouden weten dat er een beperkt aantal posities van de stip en locaties waren in S1 en S2. De participanten werd verteld dat de stippen op elke mogelijk positie rondom het kruis konden verschijnen.

2.3. Scène perceptie taak

In de scène perceptietaak moesten proefpersonen steeds twee scènes met elkaar vergelijken en daarin een categorische of coördinate verandering detecteren. De stimuli bestonden uit 30 realistische kamers (één voor elke trial), in kleur ontworpen met behulp van een interieur ontwerp softwarepakket (3D huis & tuin, Transposia, België). Elke kamer stelde

een gebruikelijk leefruimte voor uit een huis, zoals een keuken of woonkamer. De kamers waren gevuld met meubels en alledaagse huishoudelijke voorwerpen. De voorwerpen waren gelijk verdeeld over de kamer en er werd zoveel mogelijk voorkomen dat voorwerpen elkaar overlaptten. In figuur 3 is een voorbeeld gegeven van twee stimuli, figuur 3a geeft een categorische stimulus weer, en figuur 3b een coördinate stimulus. Een categorische verandering hield een verandering in van de categorische relatie tussen het testobject en het dichtstbijzijnde voorwerp, zoals in dit geval van “*boven*”, naar “*rechts van*”. Een categorische verandering was automatisch ook een coördinate verandering, omdat elke verplaatsing op zich coördinaat is. Bij een coördinate verandering bleef de categorische relatie tussen target en het dichtstbijzijnde voorwerp hetzelfde.



Fig. 3a. Categorische verandering. De kangaroo wordt verplaatst van “*boven van de wieg*” naar “*rechts van de wieg*”.



Fig. 3b. Coördinate verandering van de kangaroo naar boven.

Er waren twee gerandomiseerde versies van de taak; van elke kamer was er een categorische en coördinate trial om te controleren voor een mogelijke bias. Elke versie bestond uit 30 trials, waarvan 15 met een categorisch verandering, en 15 met een coördinate verandering. De twee soorten trials werden gelijk en willekeurig verspreid over de twee versies. Participanten werden ook in gelijke mate en willekeurig verspreid over de twee versies. De vergelijkingen werden gecontroleerd voor afstand door de afstand tussen de oorspronkelijke en veranderde locatie gelijk te houden voor de categorische en coördinate

versie van een stimulus. Een verschil tussen de twee soorten trials kon op deze manier alleen worden toegeschreven aan een verschil in de ruimtelijke verandering. Het testobject varieerde in locatie in de scène en in afmetingen (gemiddelde breedte en lengte = 43 x 31 pixels, kleinste voorwerp = 11 x 11 pixels, grootste voorwerp = 106 x 80 pixels). De scènes hadden in alle trials dezelfde grootte (475 x 630 pixels).

De participanten zaten op een afstand van ongeveer 50 cm van een 17 inch computerscherm (1024 x 768 pixels). Ze kregen de instructie eerst verbaal aangeboden en vervolgens ook in tekst op het computerscherm. Twee oefentrials gingen het werkelijke experiment vooraf. Participanten waren geïnstrueerd om de naam van het testobject zo snel mogelijk te noemen. Als ze deze noemden drukte de proefleider de spatiebalk van het toetsenbord in waarmee de reactietijd werd geregistreerd, noteerde het antwoord, en startte de volgende trial. De stimulus werd in het midden van het scherm, met een duur van maximaal 30 seconden aangeboden.

2.4. Data analyse

2.4.1. Patiëntonderzoek

De in de taken geregistreerde foutwaarden werden geanalyseerd met een repeated measures general linear model (GLM) met instructie (categorisch of coördinaat) en voor de cross-dot taak ook conditie (klein kruis of groot kruis) als within subject factors, en laesiezijde (links, rechts, of controle) als between subjects factor. Bonferroni gecorrigeerde post hoc vergelijkingen werden gebruikt om significante interactie effecten verder te testen.

2.4.2. Veroudering

Dezelfde analyses als voor de vergelijking tussen patiënten en controles werd uitgevoerd, nu met leeftijdsgroep (jong, oud) als between subjects factor. Naast de foutwaarden werden de reactietijden geanalyseerd, omdat deze ook informatief zijn in deze populatie. RTen van incorrecte trials en trials waarop geen antwoord was gegeven werden uitgesloten van de analyse.

3. Resultaten

3.1 Neuropsychologische taken

Patiënten verschilden van de controles op de 15 Woorden Test onmiddellijke reproductie, $F(2,60) = 8,37$; $p < 0,01$, de 15 Woorden Test uitgestelde reproductie, $F(2,60) = 3,2$; $p < 0,05$, de 15 Woorden Test recognitie, $F(2,60) = 4,78$; $p < 0,05$, Raven APM, $F(2,59) = 3,65$;

$p < 0,05$, de Corsi Block Tapping taak achterwaarts, $F(2,60) = 5,84$; $p < 0,01$ en TMT AB, $F(2,57) = 3,68$; $p < 0,05$. De post-hoc vergelijking liet zien dat patiënten met linkerhemisfeer schade minder goed presteerden dan de controles op de 15 Woorden Test onmiddellijke reproductie ($p < 0,001$), de 15 Woorden Test uitgestelde reproductie ($p < 0,05$), de 15 Woorden Test recognitie ($p < 0,05$), en TMT AB ($p < 0,05$). Patiënten met rechterhemisfeer schade presteerden minder goed dan de controles op Raven APM ($p < 0,05$), en de Corsi Block Tapping taak achterwaarts ($p < 0,01$). De twee patiëntgroepen verschilden op geen van de taken van elkaar.

De jonge groep had een lagere verbale IQ score op de NLV dan de oude groep, $t(48) = 3,39$; $p < 0,01$, maar presteerde beter dan de oude groep op Raven APM, $t(48) = 2,22$; $p < 0,05$, en op de Corsi Block tapping taak voorwaarts, $t(48) = 2,64$; $p < 0,05$, en achterwaarts, $t(48) = 2,55$; $p < 0,05$.

3.2 Patiëntonderzoek

3.2.1. Cross Dot taak

Uit de GLM, uitgevoerd voor alle vier de condities, bleek dat er een hoofdeffect was van instructie, $F(1,60) = 250,42$; $p < 0,001$, en conditie, $F(1,60) = 8,71$; $p < 0,01$. Het FP was significant lager in de categorische trials dan in de coördinate trials, in zowel de conditie met het kleine kruis, $t(61) = 15,50$; $p < 0,001$ als in de conditie met het grote kruis, $t(61) = 8,3$; $p < 0,001$. Daarnaast was het FP significant lager in de trials met het kleine kruis dan in de trials met het grote kruis. Zie figuur 4 voor de gemiddelde foutpercentages.

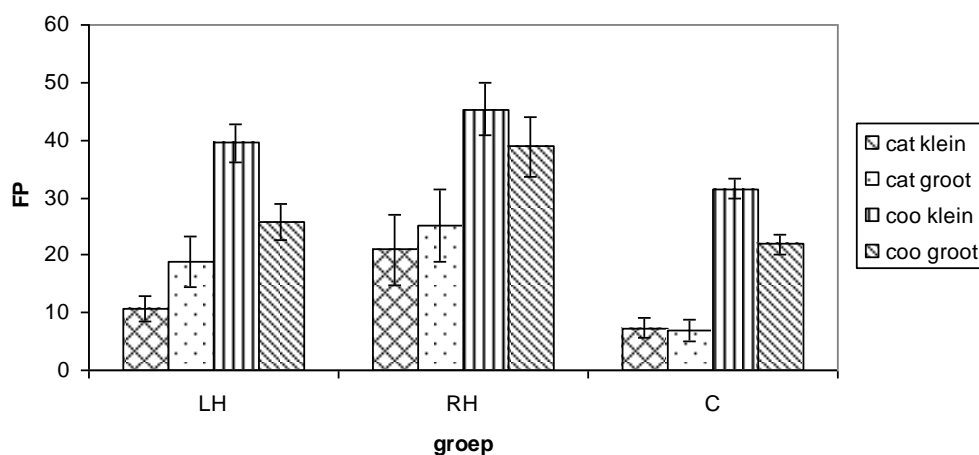


Fig. 4. Gemiddelde foutpercentages (FP) en standaardfouten van de groep met linkerhemisfeer schade (LH), de groep met rechterhemisfeer schade (RH) en de controlegroep (C), voor de categorische en coördinate cross-dot taken in de conditie met het kleine kruis en de conditie met het grote kruis.

Er was een significante interactie tussen instructie en conditie, $F(1,60) = 45,36$; $p < 0,001$. Uit de post hoc paired samples t-test kwam naar voren dat het FP in de categorische trials op trendniveau significant lager was in de conditie met het grote kruis, $t(61) = 2,07$; $p < 0,05$ (door de Bonferroni correctie werd het significantieniveau $0,05 / 2 = 0,025$ toegepast). In de coördinate trials was het FP significant lager in de conditie met het kleine kruis, $t(61) = 6,16$; $p < 0,001$.

3.1.2. Scène perceptie taak

Uit de GLM bleek dat er in de scène perceptie taak een hoofdeffect was van instructie, $F(1,60) = 9,46$; $p < 0,01$, en laesiezijde, $F(1,60) = 9,10$; $p < 0,001$. In de categorische trials was er een significant lager FP dan in de coördinate trials. De post hoc vergelijking liet zien dat de controlegroep een significant lager FP had dan de groep met rechterhemisfeer schade ($p < 0,001$). Zie figuur 5 voor de gemiddelde foutpercentages.

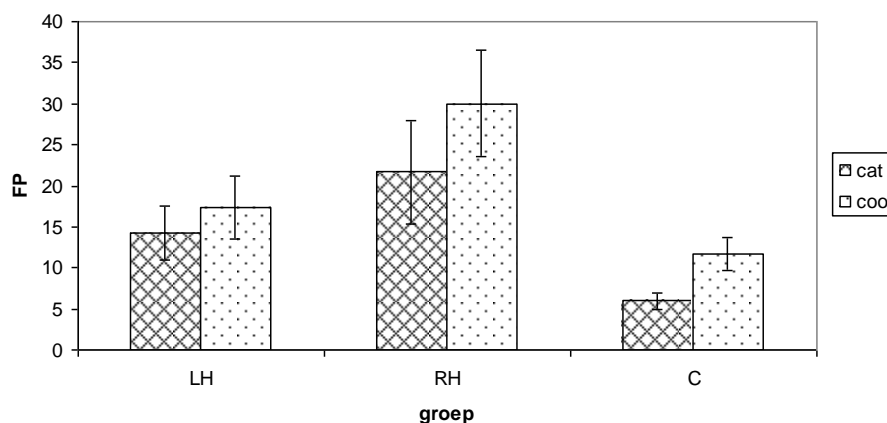


Fig. 5. Gemiddelde foutpercentages (FP) en standaardfouten van de groep met linkerhemisfeer schade (LH), de groep met rechterhemisfeer schade (RH) en de controlegroep (C), voor de categorische en coördinate scène perceptie taken.

3.3. Veroudering

3.3.1. Cross Dot taak

Voor het FP liet de GLM een hoofdeffect zien van instructie, $F(1,48) = 208,07$; $p < 0,001$, en conditie, $F(1,48) = 14,62$; $p < 0,001$. De categorische trials hadden een significant lager FP dan de coördinate trials, zowel in de conditie met het kleine kruis, $t(49) = 8,23$; $p < 0,001$, als in de conditie met het grote kruis, $t(49) = 14,36$; $p < 0,001$. De trials met het kleine kruis hadden een significant lager FP dan de trials met het grote kruis. Zie figuur 6A voor gemiddelde foutpercentages.

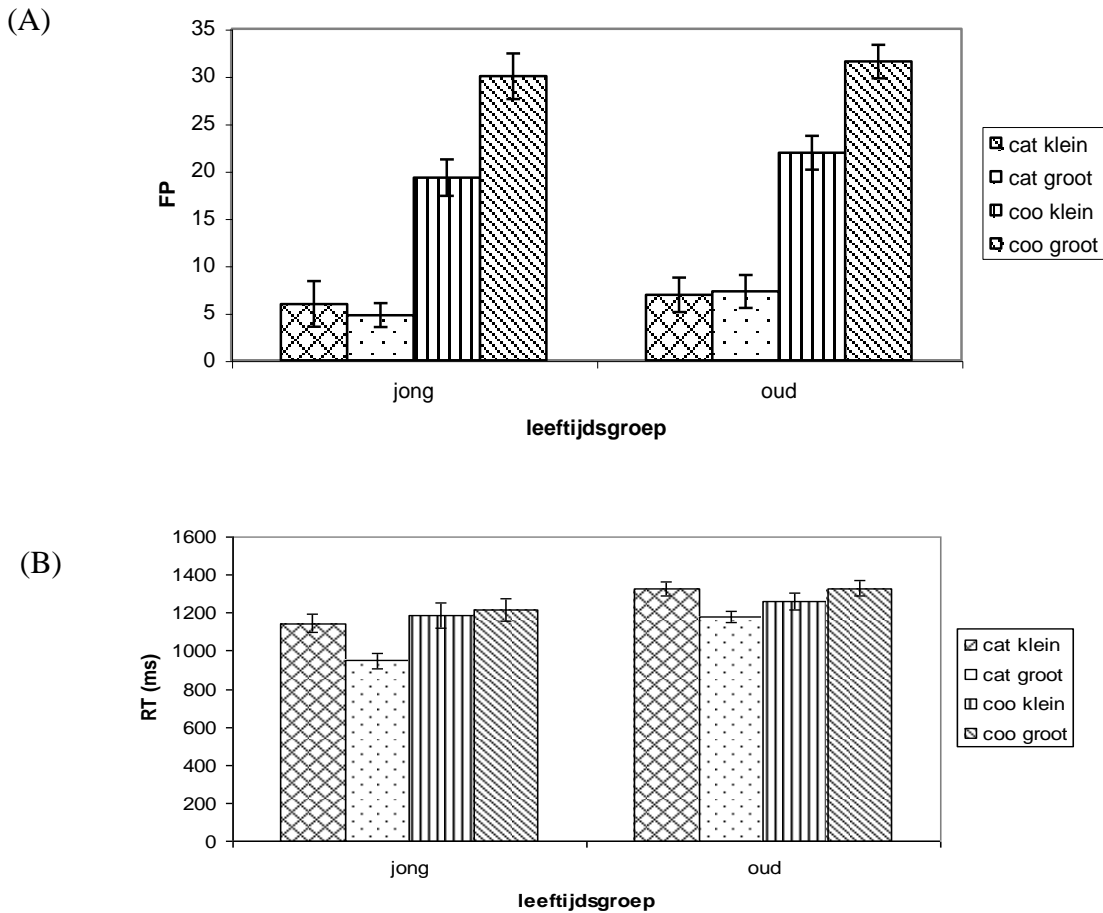


Fig. 6. (A) Gemiddelde foutpercentages (FP) en (B) reactietijden (RT) met de standaardfouten van de jonge en oude groep voor de categorische en coördinate cross-dot taken in de conditie met het kleine kruis en de conditie met het grote kruis.

Er was een significante interactie tussen instructie en conditie $F(1,48) = 21,54$; $p < 0,001$. Uit de post-hoc paired samples t-test bleek dat in de coördinate trials het FP significant lager was in de conditie met het kleine kruis, $t(49) = 5,95$; $p < 0,001$. In de categorische trials was er geen verschil tussen de twee condities.

Voor RT liet de GLM een hoofdeffect zien van instructie, $F(1,48) = 12,24$; $p < 0,01$, conditie, $F(1,48) = 7,49$; $p < 0,01$, en leeftijd, $F(1, 48) = 8,56$; $p < 0,01$. De categorische trials hadden een significant lagere RT dan de coördinate trials in de conditie met het grote kruis, $t(49) = 6,1$; $p < 0,001$, maar niet in de conditie met het kleine kruis. De trials met het grote kruis hadden een significant lagere RT dan de trials met het kleine kruis. Oude participanten hadden een significant hogere RT dan de jonge participanten. Zie figuur 6B voor de gemiddelde reactietijden.

Er was een significante interactie tussen instructie en conditie, $F(1,48) = 28,38$; $p < 0,001$. Een post hoc paired samples t-test liet zien dat in de categorische trials de RT significant lager

was in de conditie met het grote kruis, $t(49) = 6,65$; $p < 0,001$. In de coördinate trials was er geen verschil tussen de twee condities.

Er was ook een significante interactie tussen instructie en leeftijdsgroep, $F(1,48) = 4,25$; $p < 0,05$. Uit de post hoc independent samples t-test bleek dat in de categorische, maar niet in de coördinate trials de oude groep een significant hogere RT had dan de jonge groep, in beide condities, $t(48) = 2,98$, $p < 0,01$ (conditie klein kruis), $t(48) = 4,62$; $p < 0,001$ (conditie groot kruis).

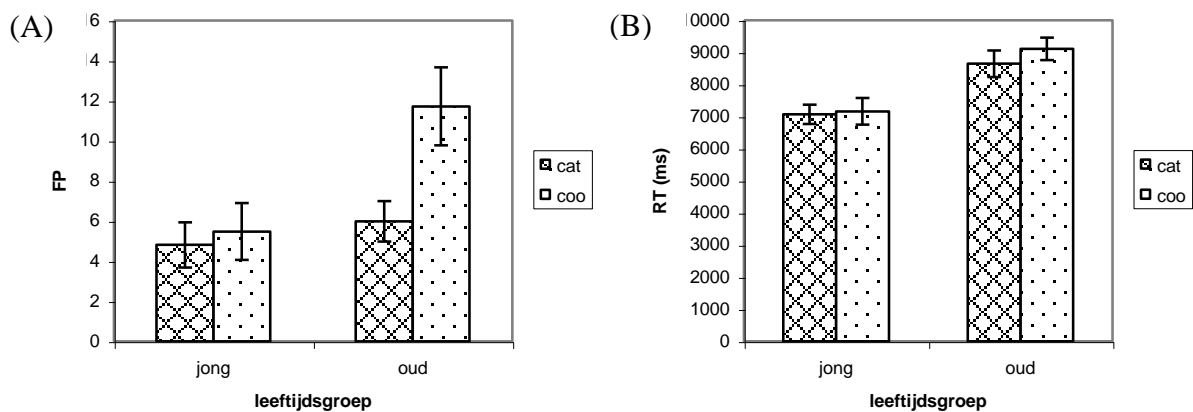


Fig. 7A en B. Gemiddelde foutpercentages (FP) en reactietijden (RT) met de standaardfouten van de jonge en oude groep voor de categorische en coördinate scène perceptie taken.

3.3.2. Scène perceptie taak

Voor het FP liet de GLM een hoofdeffect zien van instructie $F(1,48) = 5$; $p < 0,05$ en leeftijdsgroep $F(1,48) = 5,56$; $p < 0,05$. Het FP was significant lager in de categorische trials dan in de coördinate trials. De oude groep had een significant hoger FP had dan de jonge groep. Zie figuur 7A voor de gemiddelde foutpercentages.

Er was een trend voor een significante interactie tussen instructie en leeftijdsgroep $F(1,48) = 3,13$; $p < 0,1$. In de coördinate, maar niet in de categorische trials had de oude groep een significant hoger FP dan de jonge groep $t(47,1) = 2,59$; $p < 0,05$.

Voor RT liet de GLM alleen een hoofdeffect zien van leeftijdsgroep $F(1, 47) = 16,32$; $p < 0,001$. De oude groep had een significant hogere RT had dan de jonge groep in zowel de categorische trials, $t(47) = 5,23$; $p < 0,01$, als in de coördinate trials, $t(47) = 0,29$; $p < 0,01$. Zie figuur 7B voor de gemiddelde reactietijden.

4. Discussie

Er is veel bewijs voor een specialisatie van de hemisferen voor categorische en coördinate ruimtelijke relaties, veelal verkregen in studies die gebruik maakten van taken met basale stimuli, zoals een rechte lijn en een stip in de “bar-dot” taak (Hellige & Michimata, 1989). In deze studie werd zowel een basale als een realistische taak afgenomen bij patiënten met unilaterale hersenschade om te onderzoeken of deze bevindingen generaliseerbaar zijn naar meer realistische situaties. Daarnaast werden mogelijke effecten van veroudering op de verwerking van de twee ruimtelijke relaties onderzocht door de prestaties van ouderen en jongvolwassenen met elkaar vergelijken.

Onder de 35 onderzochte patiënten was er een ongeveer gelijke verdeling tussen patiënten met linker- en rechterhemisfeer schade (respectievelijk 17 en 18 patiënten). Patiënten met linkerhemisfeer schade hadden een beperking in het verbale werkgeheugen en patiënten met rechterhemisfeer schade in het ruimtelijke werkgeheugen, bleek uit de neuropsychologische tests. Deze beperkingen waren te verwachten gezien de bekende dominantie van de linkerhemisfeer voor taalverwerking, en van de rechterhemisfeer voor navigatie. Er was gecontroleerd voor het begrip van de woorden “links”, “rechts”, “boven” en “onder” met een ruimtelijke taalkaak.

Uit de data kwam naar voren dat door zowel de patiënten als controles minder fouten werden gemaakt op de categorische dan op de coördinate trials van beide taken. Dit klopt met de bevinding van Bruyer et al. (1997) dat categorische taken meestal makkelijker zijn dan coördinate taken. Verder bleek uit de interacties tussen instructie en conditie dat er in de cross-dot taak op de coördinate trials minder fouten werden gemaakt in de conditie met het kleine kruis dan in de conditie met het grote kruis. Mogelijk komt dit doordat de langere lijnen van het grote kruis afleiden bij het beslissen over de afstand tot het midden van het kruis. Op trendniveau werd er een omgekeerd effect gevonden voor de categorische trials. Hierin werden minder fouten gemaakt in de conditie met het grote kruis dan in de conditie met het kleine kruis. Dit zou kunnen komen doordat er in het grote kruis duidelijkere kwarten ontstaan, en dus ook duidelijkere categorieën dan bij het kleine kruis.

In zowel de cross-dot taak als de scène perceptie taak werd er geen interactie gevonden tussen laesiezijde en instructie. Deze resultaten zijn niet in lijn met de hypothese van Kosslyn (1987) over een specialisatie van de linkerhemisfeer voor de verwerking van categorische ruimtelijke relaties, en van de rechterhemisfeer voor de verwerking van coördinate ruimtelijke relaties. Een mogelijke verklaring voor het niet vinden van de interactie is het aantal patiënten

met schade in de pariëtale cortex. In de studie van Laeng (1994) bleek dat de problemen in het ruimtelijk functioneren het grootst waren bij patiënten met laesies in de pariëtale cortex, en in meerdere studies met beeldvormende technieken of rTMS kwam naar voren dat pariëtale structuren betrokken waren bij de verwerking van de twee ruimtelijke relaties (Baciu et al., 1999; Trojano et al., 2002; Trojano et al., 2006; van der Ham et al., 2009). In de huidige studie hadden slechts 8 van de 34 patiënten (o.a.) schade aan de pariëtale cortex. In de twee andere studies die de hypothese van Kosslyn (1987) ook onderzochten met patiënten met unilaterale hersenschade (Laeng, 1994; Palermo et al., 2008) waren dit respectievelijk 48 van de 60, en 13 van de 34 patiënten. In deze studies werd de lateralisatiehypothese wel bevestigd. Als de analyses werden uitgevoerd met alleen de patiënten met schade aan de pariëtale cortex werd er echter nog steeds geen interactie gevonden, maar hierbij moet ook rekening worden gehouden met het kleine aantal proefpersonen.

De vergelijking tussen jongvolwassenen en ouderen liet zien dat ouderen een hogere RT hadden dan jongvolwassenen op alle taken, behalve de coördinate taken van de cross-dot taak waar ze even snel waren. Dit komt gedeeltelijk overeen met de bevindingen van Bruyer et al. (1997), Hoyer en Rybash (1992) en Meadmore et al. (2009) en is in overeenstemming met studies waarin naar voren kwam dat ouderen meer tijd nodig hebben om informatie te verwerken en tot een respons te komen (bijv. Brigman & Cherry, 2002; Salthouse, 1996).

Voor accuratesse was er in de cross-dot taak geen verschil tussen jongvolwassenen en ouderen. Dit komt overeen met de bevindingen van Meadmore et al. (2009). Op de scène perceptie taak was er wel een verschil tussen jongvolwassenen en ouderen, op de coördinate trials. Ouderen maakten hierin meer fouten dan jongvolwassenen, terwijl ze in de categorische trials evenveel fouten maakten. Alleen de coördinate trials van de scène perceptie taak waren dus gevoelig voor een effect van veroudering op de accuratesse. Dit komt overeen met de bevindingen van Bruyer et al. (1997) die ook alleen een achteruitgang vonden bij coördinate taken, en is in lijn met studies die erop wijzen dat bij het ouder worden de rechterhemisfeer meer achteruitgang vertoont op spatiële taken dan de linkerhemisfeer (bijv. Haavisto & Lehto, 2004; Jenkins et al., 2000; Myerson et al., 2003). Daarnaast ondersteunt de specifieke achteruitgang op coördinate trials studies waaruit bleek dat effecten van leeftijd groter zijn als een taak moeilijker is (bijv. Clay, 1954; Crowder, 1980; Salthouse, 1992).

Wat opvalt, is dat er bij de scène perceptie taak wel, maar bij cross-dot taak geen sprake is van een slechtere prestatie van ouderen. Het is goed denkbaar dat dit komt doordat de cross-dot taak een meer abstracte taak is, en dat er pas een effect van veroudering is te zien als stimuli het dagelijks leven beter nabootsen zoals bij de scène perceptie taak het geval is.

Samenvattend ondersteunen de resultaten van deze studie de hypothese dat categorische ruimtelijke relaties voornamelijk in de linkerhemisfeer, en coördinate ruimtelijke relaties in de rechterhemisfeer worden verwerkt (Kosslyn, 1987; Kosslyn et al., 1989) niet. Een mogelijke oorzaak hiervan is het te kleine aantal patiënten met schade in de pariëtale cortex. In vervolgonderzoek zouden er daarom ook meer patiënten met pariëtale schade geïncludeerd kunnen worden. Mogelijk kunnen er dan ook uitspraken worden gedaan over een lateralisatie van ruimtelijke relaties in realistische situaties. Uit het verouderingsonderzoek valt te concluderen dat er een ongunstig effect is van veroudering op de verwerking van de twee soorten ruimtelijke relaties. Dit effect komt alleen naar voren als een taak contextrijke, het dagelijks leven nabootsende stimuli bevat.

Referenties

- Baciu, M., Koenig, O., Vernier, M.P., Bedoin, N., Rubin, C. & Segebarth, C. (1999). Categorical and coordinate spatial relations: fMRI evidence for hemispheric specialization. *Neuroreport*, *10*, 1373-1378.
- Banich, M.T. & Federmeier, K.D. (1999). Categorical and metric spatial processes distinguished by task demands and practice. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*, 153-166.
- Briggs, G.G. & Nebbs, R.D. (1975). Patterns of hand preference in a student population. *Cortex*, *11*, 230-238.
- Brigman, S. & Cherry, K. E. (2002). Age and skilled performance: Contributions of working memory and processing speed. *Brain and Cognition*, *50*, 242-256.
- Bruyer, R., Scailquin, J.C., Coibion, P. (1997). Dissociation between categorical and coordinate spatial computations: modulation by cerebral hemispheres, task properties, mode of response, and age. *Brain and Cognition*, *33*, 245-277.
- Chabris, C.F. & Kosslyn, S.M. (1998). How do the cerebral hemispheres contribute to encoding spatial relations? *Current Directions in Psychological Science*, *7*, 8-14.
- Clay, H.M. (1954). Changes of performance with age on similar tasks of varying complexity. *British Journal of Psychology*, *45*, 7-13.
- Corsi, P.M. (1972). Niet gepubliceerd proefschrift. Human memory and the medial temporal region of the brain, McGill University.
- Crowder, R.G. (1980). Echoic memory and the study of aging memory systems. In L. W. Poon, J.L. Fozard, L.S. Cermak, D. Arenberg, & L.W. Thompson (Eds.), *New directions in memory and aging*, 181-204. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Haavisto, M. & Lehto, J. E. (2004). Fluid/spatial and crystallised intelligence in relation to domain-specific working memory: A latent-variable approach. *Learning and Individual Differences*, *15*, 1-21.
- Hellige, J.B. & Michimata, C. (1989). Categorization versus distance: Hemispheric differences for processing spatial information. *Memory and Cognition*, *17*, 770-776.
- Hochstenbach, J.B., den Otter, R. & Mulder, T.W. (2003). Cognitive recovery after stroke: a 2-year follow up. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *84*, 1499-1504.
- Hoyer, W. J. & Rybash, J. M. (1992). Age and visual field differences in computing visual-spatial relations. *Psychology and Aging*, *7*, 339-342.
- Jacobs, R.A. & Kosslyn, S.M. (1994). Encoding shape and spatial relations: The role of receptive field size in coordinating complementary representations. *Cognitive Science*, *18*, 361-386.
- Jager, G. & Postma, A. (2003). On the hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations: a review of the current evidence. *Neuropsychologia*, *41*, 504-515.
- Jenkins, L., Meyerson, J., Joerding, J. A. & Hale, S. (2000). Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging*, *15*, 157-175.
- Kosslyn, S.M. (1987). Seeing and Imagining in the cerebral hemispheres: A computational approach. *Psychological Review*, *94*, 148-175.
- Kosslyn, S.M., Chabris, C.F., Marsolek, C.J. & Koenig, O. (1992). Categorical versus coordinate spatial relations: Computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 562-577.
- Kosslyn, S.M., Koenig, O., Barrett, A., Cave, C., Tang, J. & Gabrieli, J.D.E. (1989). Evidence for two types of spatial representations: hemispheric specialization for categorical and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Perception and Performance*, *15*, 723-735.
- Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., Gitelman, D.R. & Alpert, N.M. (1998). Neural systems that encode categorical versus coordinate spatial relations: PET investigations. *Psychobiology*, *26*, 333-347.
- Laeng, B. (1994). Lateralization of categorical and coordinate spatial functions: A study of unilateral stroke patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *6*, 189-203.
- Laeng, B. & Peters, M. (1995). Cerebral lateralization for the processing of spatial coordinates and categories in left- and right-handers. *Neuropsychologia*, *33*, 421-439.
- Meadmore, K.L., Dror, I.E. & Bucks, R.S. (2009). Lateralisation of spatial processing and age. *Laterality*, *14*, 17-29.

- Michimata, C. (1997). Hemispheric processing of categorical and coordinate spatial relations in vision and visual imagery. *Brain and Cognition*, 33, 370-387.
- Myerson, J., Emery, L., White, D. A. & Hale, S. (2003). Effects of age, domain, and processing demands on memory span: Evidence for differential decline. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10, 20-27.
- Oleksiak, A., Postma, A., van der Ham, I.J.M. & van Wezel, R.J.A. (2009). Temporal dynamics of decisions on spatial categories and distances do not differ. *Brain and Cognition*, 69, 209-217.
- Palermo, L., Bureca, I., Matano, A. & Guariglia, C. (2008). Hemispheric contribution to categorical and coordinate representational processes: A study on brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, 46, 2802-2807.
- Raven, J.C., Raven, J. & Court, J.H. (1993). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Reitan, R.M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual and Motor Skills*, 8, 271-276.
- Rey, A. (1964). *L'examen clinique en psychologie*. [Klinisch onderzoek in de psychologie]. Paris: Presses Universitaires de France.
- Rosielle, L. J., Crabb, B. T. & Cooper, E. E. (2002). Attentional coding of categorical relations in scene perception: Evidence from the flicker paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 319-326.
- Rybash, J.M. & Hoyer, W.J. (1992). Hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial representations: A reappraisal. *Memory and Cognition*, 20, 271-276.
- Salthouse, T.A. (1992). Why do adult age differences increase with task complexity? *Developmental Psychology*, 28, 905-918.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.
- Saneyoshi, A. & Michimata, C. (2009). Lateralized effects of categorical and coordinate spatial processing of component parts on the recognition of 3D non-nameable objects. *Brain and Cognition*, 71, 181-186.
- Schmand, B., Bakker, D., Saan, R. & Louman, J. (1991). De Nederlandse Leestest voor Volwassenen: een maat voor het premorbide intelligentieniveau. *Tijdschrift voor Gerontologie en Geriatrie*, 22, 15-19.
- Sergent, J. (1991a). Judgments of relative position and distance on representations of spatial relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 91, 762-780.
- Sergent, J. (1991b). Processing of spatial relations within and between de disconnected cerebral hemispheres. *Brain*, 114, 1025-1043.
- Servos, P., & Peters, M. (1990). A clear left hemisphere advantage for visuo-spatially based verbal categorization. *Neuropsychologia*, 28, 1251-1260.
- Slotnick, S.D. & Moo, L.R. (2006). Prefrontal cortex hemispheric specialization for categorical and coordinate visual spatial memory. *Neuropsychologia*, 44, 1560-1568.
- Slotnick, S.D., Moo, L., Tesoro, M.A. & Hart, J. (2001). Hemispheric asymmetry in categorical versus coordinate visuospatial processing revealed by temporary cortical deactivation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 1088-1096.
- Taylor, E.M. (1959). *Psychological appraisal of children with cerebral deficits*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Trojano, L., Conson, M., Maffei, R. & Grossi, D. (2006). Categorical and coordinate spatial processing in the imagery domain investigated by rTMS. *Neuropsychologia*, 44, 1569-1574.
- Trojano, L., Grossi, D., Linden, D.E.J., Formisano, E., Goebel, R. & Cirillo, S. (2002). Coordinate and categorical judgements in spatial imagery. An fMRI study. *Neuropsychologia*, 40, 1666-1674.
- Van der Ham, I.J.M., van Wezel, R.J.A., Oleksiak, A. & Postma, A. (2007). The time course of hemispheric differences in categorical and coordinate spatial processing. *Neuropsychologia*, 45, 2492-2498.
- Van der Ham, I.J.M., Raemaekers, M., van Wezel, R.J.A., Oleksiak, A. & Postma, A. (2009). Categorical and coordinate spatial relations in working memory: An fMRI study. *Brain Research*, 1279, 70-79.

- Van der Lubbe, R.H., Scholvinck, M.L., Kenemans, J.L. & Postma, A. (2006). Divergence of categorical and coordinate spatial processing assessed with ERPs. *Neuropsychologia*, *44*, 1547-1559.
- Wechsler, D. (1987). *Wechsler Memory Scale-Revised manual*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wilkinson, D. & Donnelly, N. (1999). The role of stimulus factors in making categorical and coordinate spatial judgements. *Brain and Cognition*, *39*, 171-185.