UvA-DARE (Digital Academic Repository)

De ontwikkeling van executieve functies tussen kindertijd en jongvolwassenheid

Huizinga, M.

Publication date

2007

Document Version

Final published version

Published in

Neuropraxis

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Huizinga, M. (2007). De ontwikkeling van executieve functies tussen kindertijd en jongvolwassenheid. *Neuropraxis*, 11, 74-82.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

De ontwikkeling van executieve functies tussen kindertijd en jongvolwassenheid

MARIËTTE HUIZINGA

Voor doelgericht en efficiënt gedrag moet men plannen kunnen maken en deze plannen ook kunnen uitvoeren. Hierbij wordt een beroep gedaan op 'executieve functies', zoals werkgeheugen, inhibitie en flexibiliteit. Deze executieve functies maken het mogelijk gedrag te organiseren in nieuwe, onbekende situaties. Uit eerder neurofysiologisch en neurocognitief onderzoek bleek dat executieve functies vooral gerelateerd zijn aan het voorste gedeelte van de hersenen: de prefrontale cortex. Uit het hierna beschreven onderzoek kwam een gedetailleerd patroon naar voren van de ontwikkeling van executieve functies. Het bleek dat deze al tijdens de kindertijd van elkaar te onderscheiden zijn en ieder een eigen ontwikkelingsverloop hebben, sommige zelfs tot ver in de adolescentie. De veronderstelling is dat het langdurige ontwikkelingsverloop van executieve functies samenhangt met de relatief trage rijping van de prefrontale cortex. Dit impliceert dat aan adolescenten niet dezelfde eisen kunnen worden gesteld als aan volwassenen. Bovendien zijn deze resultaten belangrijk bij de diagnostiek van, en interventies bij, stoornissen die zijn gerelateerd aan problemen met executieve functies, zoals ADHD, autisme, schizofrenie en verslaving.

Executief functioneren (EF) is het vermogen gedachten en handelingen zodanig te reguleren dat ze doelgericht en efficiënt kunnen zijn. EF is

Mw. dr. M. Huizinga, universitair docent, Universiteit van Amsterdam, Faculteit der Maatschappij- en Gedragswetenschappen, Afdeling Psychologie, Programmagroep Ontwikkelingspsychologie, m.huizinga@uva.nl

nodig wanneer men een moeilijke of nieuwe taak uitvoert die voortdurende bewuste aandacht en inzet vereist, zoals bij planning en strategisch denken, en ook bij de evaluatie van feedback die nodig is voor een flexibele aanpassing aan de omgeving (Miller & Cohen, 2001; Zelazo, Muller, Frye & Marcovitch, 2003). Met andere woorden: EF maakt het mogelijk

gedrag te organiseren in nieuwe, onbekende situaties.

Naarmate kinderen ouder worden, wordt hun gedrag doelgerichter en efficiënter. De ontwikkeling van EF is bepalend voor de ontwikkeling van een breed spectrum aan intelligent en sociaal gedrag gedurende het ouder worden (bijvoorbeeld Case, 1985; Flavell, 1971; Siegler, 1983). EF is bijvoorbeeld gerelateerd aan schoolprestaties, zoals lees- en rekenvaardigheden (Swanson, 2006), en in meer algemene zin aan probleemoplossend vermogen (Bayliss, Jarrold, Gunn & Baddeley, 2003; Cowan, Sauls & Elliott, 2002) en sociaal-emotionele ontwikkeling (Blair, 2003; Eslinger, Flaherty-Craig & Benton, 2004; Hill & Frith, 2003).

Dit artikel beschrijft een aantal neuropsychologische onderzoeken die zijn uitgevoerd aan de University of Northern Colorado (vs) en aan de Universiteit van Amsterdam. Het voornaamste doel van deze onderzoeken was meer inzicht te verkrijgen in de ontwikkeling van EF bij kinderen en jongeren in de leeftijd van 7 jaar tot de jongvolwassenheid. Eerst wordt kort het theoretisch kader geschetst.

Een neuropsychologisch perspectief op executief functioneren

Onderzoek naar EF vindt zijn oorsprong in klinisch-neuropsycholo-

gische onderzoeken bij patiënten met een beschadiging aan het voorste gedeelte van de hersenen: de prefrontale cortex. Dit gedeelte beslaat ongeveer een derde van de gehele cortex en is evolutionair gezien één van de jongere systemen. Deze onderzoeken laten zien dat prestatie van prefrontale-cortexpatiënten op IQ-tests intact is (bijv. Shallice & Burgess, 1991). De prestatie is echter beperkt op complexe neuropsychologische EF-tests, waarvan er twee de meeste aandacht hebben gekregen, namelijk de *Tower of Hanoi* (TOH) (en zijn verre neef de *Tower of London* (TOL)) en de *Wisconsin Card Sorting Task* (WCST). De TOH is een vaak gebruikte experimentele neuropsychologische taak waarbij de proefpersoon vier schijven van verschillende grootte over drie paaltjes van gelijke hoogte van een begin- naar een eindstadium moet verplaatsen. Dit moet gebeuren in zo min mogelijk zetten terwijl men zich aan een aantal regels moet houden (Simon, 1975). Bij de TOL moet de proefpersoon drie verschillend gekleurde bollen verplaatsen over drie paaltjes van verschillende grootte. Ook hier moet een eindstadium worden bereikt in zo min mogelijk zetten terwijl men zich aan een aantal regels houdt (Shallice, 1982). Patiënten met schade aan de prefrontale cortex zijn veelal niet in staat het doel te bereiken (bijvoorbeeld Goel & Grafman, 1995; Newman, Carpenter, Varma & Just, 2003).

Ook de WCST toont beperkingen aan bij prefrontale-cortexpatiënten. In deze taak moet de proefpersoon op basis van feedback per trial een relevante sorteerregel ontdekken uit drie mogelijke sorteerregels (namelijk sorteren op basis van de kleur of de vorm van de stimulus, of het aantal elementen waaruit de stimulus bestaat). Na tienmaal correct te hebben gesorteerd

(bijvoorbeeld op aantal) verandert de sorteerregel onaangekondigd naar een andere sorteerregel (bijvoorbeeld vorm). De proefpersoon moet nu zelf deze nieuwe (relevante) sorteerregel ontdekken. Een veelgebruikte maat van prestatie op de WCST is perseveratie, het blijven hangen in de oude, nu niet meer relevante, sorteerregel (Grant & Berg, 1948; Heaton, Chelune, Talley, Kay & Curtis, 1993). Vergelijken met gezonde proefpersonen maken patiënten met schade aan de prefrontale cortex meer perseveratiefouten (bijvoorbeeld Anderson, Damasio, Jones & Tranel, 1991; Stuss et al., 2000).

Op het eerste gezicht komt de prestatie van kinderen op de torentaken en de WCST overeen met die van volwassen patiënten met schade aan de prefrontale cortex. Op de torentaken hebben kinderen moeite met plannen (bijvoorbeeld Bull, Espy & Senn, 2004; Welsh, Pennington & Groisser, 1991), en op de WCST persevereren ze en hebben zij moeite met het vasthouden van de juiste sorteerregel (bijvoorbeeld Chelune & Baer, 1986; Welsh et al., 1991). De matige prestaties van kinderen op complexe EF-taken worden vaak in verband gebracht met de relatief langzame ontwikkeling van de prefrontale cortex (Dempster, 1992; Stuss, 1992). Deze aanname wordt ondersteund door neurofysiologisch onderzoek dat heeft aangetoond dat rijpingsprocessen binnen de prefrontale cortex relatief lang duren (zie voor een overzichtsartikel Casey, Tottenham, Liston & Durston, 2005). *Functional magnetic resonance imaging* (fMRI) laat bovendien zien dat de ontwikkeling van EF tijdens de kindertijd en adolescentie gerelateerd is aan de activatie van de prefrontale cortex, waarbij de activiteit als kinderen ouder worden geleidelijk steeds minder diffuus

wordt en steeds meer focaal (bijvoorbeeld Amso & Casey, 2006; Casey et al., 2005). Jonge kinderen hebben als het ware meer hersengebieden nodig om de taken uit te voeren dan jongvolwassenen.

Het onderscheiden van executieve functies

De interpretatie van de prefrontale-cortexhypothese van EF wordt bemoeilijkt door het feit dat niet alle patiënten met schade aan de prefrontale cortex hetzelfde presteren op EF-taken. Prestatie van sommige patiënten op de WCST kan slecht zijn, terwijl dit niet het geval is op de TOH (of vice versa). Bovendien komt sub-optimale prestatie op EF-taken ook voor in andere groepen patiënten dan patiënten met schade aan de prefrontale cortex (zie voor een overzichtsartikel Stuss, 2006). Inconsistenties als deze waren voor wetenschappers een aanleiding om de organisatie van EF te onderzoeken. Enerzijds geeft een aantal theorieën aan dat EF één enkel mechanisme weerspiegelt, zonder van elkaar te onderscheiden componenten zoals werkgeheugen of inhibitie (bijvoorbeeld Baddeley, 1986; Kimberg, D'Esposito & Farah, 1997). Daarentegen suggereert ander onderzoek dat EF bestaat uit meerdere componenten met een focale neurale locus. Dit wordt afgeleid uit gedragsonderzoek bij verschillende steekproeven met gebruikmaking van verscheidene standaard EF-taken zoals de TOH en de WCST. Deze onderzoeken lieten geen of lage correlaties tussen deze EF-taken zien (bijvoorbeeld Lehto, Juujarvi, Kooistra & Pulkkinen, 2003; Rabbitt, Lowe & Shilling, 2001).

Een belangrijk theoretisch punt bij het onderzoek naar EF is de constructvaliditeit van EF. Deze is sterk gerelateerd aan taakonzuiverheid. Hiermee

wordt bedoeld dat de interpretatie van geobserveerde testcores wordt bemoeilijkt door het feit dat deze vervuild zijn met *random* en systematische meetfouten. Dit probleem kan aanzienlijk worden gereduceerd wanneer men gebruik maakt van de latente-factorenmethode (ook wel *structural equation modeling* (SEM) genoemd). Wanneer men een aantal taken gebruikt om hetzelfde construct te meten kan met SEM de variantie worden geëxtraheerd die de verschillende taken gemeen hebben. Latente factoren verwijzen naar dat wat wordt gedeeld door de verschillende taken om een construct te meten. In 2000 waren Miyake et al. de eerste onderzoekers die gebruikmaakten van de latente-factorenmethode om de organisatie van EF te onderzoeken. In een onderzoek bij gezonde jongvolwassen konden zij drie vaak voorgestelde EF-componenten (EFC) (werkgeheugen, flexibiliteit en inhibitie) onderscheiden; deze bleken op latent niveau van elkaar afzonderlijk (doch beperkt gecorreleerd). Bovendien werd prestatie op de TOH en de WCST verschillend voorspeld door deze EFC, wat aangeeft dat niet elke EF-taak hetzelfde meet en dat EF een construct is dat uit meerdere processen bestaat.

Het door Miyake et al. (2000) gevonden onderscheid binnen EF wordt ondersteund door de resultaten van fMRI-onderzoek. Deze geven aan dat verschillende gebieden in de prefrontale cortex meer of minder bijdragen aan verschillende componenten van EF. Het vermogen informatie in het werkgeheugen te houden liet bijvoorbeeld vooral activatie in de laterale prefrontale cortex zien (bijvoorbeeld Narayanan et al., 2005). Het flexibel kunnen wisselen tussen het uitvoeren van verschillende taken

(flexibiliteit) liet vooral activatie in de mediale prefrontale cortex zien (Crone, Donohue, Honomichl, Wendelken & Bunge, 2006), terwijl het vermogen responsen te kunnen onderdrukken (inhibitie) vooral activatie in de orbitofrontale cortex liet zien (bijvoorbeeld Aron, Robbins & Poldrack, 2004).

De ontwikkeling van executieve functies

Uit een toenemend aantal onderzoeken blijkt dat EFC zich tijdens de kindertijd ontwikkelen. Deze ontwikkeling duurt voort tot ver in de adolescentie (zie voor overzichtsartikelen Diamond, 2002; Welsh, 2002). Deze onderzoeken geven aan dat een 'volwassen' niveau van prestatie op tests die EFC meten, wordt bereikt op verschillende momenten tijdens de kindertijd en adolescentie. Onderzoeken die zich richtten op de ontwikkeling van werkgeheugen wezen bijvoorbeeld op een geleidelijke ontwikkeling tijdens de kindertijd, en deze ontwikkeling duurde voort tot in de adolescentie (bijvoorbeeld Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004; Luna, Garver, Urban, Lazar & Sweeney, 2004). Onderzoek naar de ontwikkeling van flexibiliteit liet echter een traject zien waarbij zich na het twaalfde levensjaar vrijwel geen verandering meer voordeed (bijv. Cepeda, Kramer & Gonzalez de Sather, 2001; Crone, Bunge, Van der Molen en Ridderinkhof, 2006). Ten slotte ontwikkelde inhibitie zich tot in de late kindertijd (bijvoorbeeld Bunge, Dudukovic, Thomason, Vaidya & Gabrieli, 2002; Van den Wildenberg en Van der Molen, 2004) of zelfs tot in de vroege adolescentie (Williams, Ponesse, Schachar, Logan & Tannock, 1999).

De ontwikkeling van executieve functies nader bekeken

In wat volgt, zal verslag worden gedaan van een aantal experimenteel-neuropsychologische onderzoeken naar de ontwikkeling van EF, van de kindertijd tot aan de jongvolwassenheid. Hierin komen eerst twee onderzoeken naar complexe EF-taken (namelijk de TOH en de WCST) aan de orde, gevolgd door twee onderzoeken naar de ontwikkeling van een belangrijke EFC: cognitieve flexibiliteit.

Eerder onderzoek liet zien dat individuele verschillen en de prestatie op complexe taken veranderen tijdens de ontwikkeling. Dat wil zeggen dat kinderen en volwassenen hetzelfde gedrag kunnen vertonen, maar dat de onderliggende cognitieve strategieën en de daaraan gerelateerde neurale banen zeer verschillend kunnen zijn (Amso & Casey, 2006). In het laatste deel van dit artikel wordt aan de hand van de latente-factorenmethode uitgebreider ingegaan op de organisatie van EF tijdens de ontwikkeling (namelijk: zijn EFC tijdens de ontwikkeling van elkaar te onderscheiden?), evenals de ontwikkeling van de prestatie op complexe EF-taken (in dit geval de WCST en de TOI). De EFC die werden onderzocht zijn werkgeheugen, flexibiliteit en inhibitie (Miyake et al., 2000). 'Werkgeheugen' werd daarbij gedefinieerd als de verzameling van cognitieve processen die het mogelijk maken informatie tijdelijk toegankelijk te houden om zo mentale taken te kunnen uitvoeren (Cowan, 1998). 'Flexibiliteit' werd gedefinieerd als het kunnen wisselen tussen verschillende taken (Monsell, 2003) en 'inhibitie' als het vermogen dominante, automatische motorische responsen te onderdrukken (Logan & Cowan, 1984).

Strategiehantering en leren bij de *Tower of Hanoi*

Volgens Simon (1975) kunnen voor het oplossen van de TOH verschillende strategieën worden gebruikt. Hiervan is de recursieve strategie het meest optimaal. Deze strategie bestaat uit het verplaatsen van de schijven volgens een steeds terugkerende cyclus; via vastliggende subdoelen wordt het einddoel bereikt in zo min mogelijk zetten. In een eerste onderzoek moesten gezonde jongvolwassenen een experimentele variant van de TOH (i.e., TOH-R; Welsh & Huizinga, 2001) uitvoeren. Het doel van dit onderzoek was om aan de hand van verbale protocollen de hoeveelheid kennis van de recursieve strategie te onderzoeken, evenals de samenhang hiermee met de prestatie op de TOH. Verder werd onderzocht of proefpersonen leren van de volgorde waarin de items worden aangeboden. Hiertoe werd de situatie waarin de items in oplopende moeilijkheidsgraad werden gepresenteerd vergeleken met de situatie waarin dit in willekeurige volgorde gebeurde.

Individuele verschillen in de kennis van de recursieve strategie bleken de TOH-prestatie reeds relatief vroeg tijdens de taak te beïnvloeden. De resultaten toonden aan dat individuele verschillen in taakprestatie niet gerelateerd zijn aan de aanwezigheid van externe prikkels (de volgorde van aanbidding van de items), maar aan de vaardigheid om de recursieve strategie te gebruiken. De volgorde van het aanbieden van de items had geen effect op de taakprestatie en op de kennis van de recursieve strategie. De aanwezigheid van individuele verschillen in taakprestatie suggereert de betrokkenheid van verschillende onderliggende cognitieve strategieën (Welsh & Huizinga, 2005). Het onderzoeken van de aard van deze

strategieën vraagt om specifiekere analyses en minder complexe taken.

De ontwikkeling van onderliggende processen op de *Wisconsin Card Sorting Test*

In eerder onderzoek stelden Barceló en Knight (2002) dat succesvolle prestatie op de WCST is gerelateerd aan *set-switching*- en *set-maintenance*-processen. *Set-switching* is de vaardigheid om aan de hand van feedback flexibel te kunnen overstappen naar een nieuwe sorteerregel. *Set-maintenance* is de vaardigheid om (onder verschillende stimuluscondities) de huidige sorteerregel te onthouden en ondertussen de irrelevante aspecten van de stimulus te negeren. Bovendien werd op grond van eerder onderzoek verondersteld dat er verschillende EFC (bijvoorbeeld werkgeheugen of inhibitie) ten grondslag liggen aan *set-switching* en *set-maintenance* (Barceló & Knight, 2002; Crone, Ridderinkhof, Worm, Somsen & Van der Molen, 2004).

Dit onderzoek beoogde leeftijdsgerateerde verandering van prestatie op de WCST te onderzoeken, evenals de bijdrage hieraan van de EFC werkgeheugen, flexibiliteit en inhibitie (Miyake et al., 2000). In het onderzoek werd de WCST-prestatie beoordeeld in termen van *set-switching* en *set-maintenance*. Proefpersonen uit vier verschillende leeftijdsgroepen (7-jarigen, 11-jarigen, 15-jarigen en 21-jarigen) voerden een computerversie van de WCST uit, evenals drie taken om werkgeheugen, flexibiliteit en inhibitie te meten. Het bleek dat kinderen naarmate ze ouder worden, steeds beter in staat zijn hun gedrag aan te passen wanneer de taakvereisten (de sorteerregels) onverwacht veranderen. We vonden verschillende tempo's waarin *set-switching* en *set-maintenance* zich ontwikkelden: een volwassen niveau van *set-switching*-

vaardigheden werd op 11-jarige leeftijd bereikt, terwijl een volwassen niveau van *set-maintenance* werd bereikt op 15-jarige leeftijd. Verder lieten we zien dat *set-switching* en *set-maintenance* bij 7-jarigen nog als twee afzonderlijke factoren te onderscheiden zijn. Bij de 11-, 15-, en 21-jarigen was de *set-maintenance*-factor echter niet te onderscheiden van de *set-switching*-factor. Ten slotte vonden we verschillende patronen van de bijdrage van de EFC aan *set-switching* en *set-maintenance* tijdens het uitvoeren van de WCST. De resultaten suggereren verschillende tempo's van de ontwikkeling van werkgeheugen, flexibiliteit en inhibitie. Samen zorgen zij ervoor dat als kinderen ouder worden, ze steeds beter in staat zijn verschillende sorteerregels te onthouden en ondertussen te zoeken naar een nieuwe sorteerregel (Huizinga & Van der Molen, 2007a).

De ontwikkeling van cognitieve flexibiliteit

Een belangrijke EFC is cognitieve flexibiliteit: het vermogen snel en accuraat te wisselen tussen het uitvoeren van twee (of meer) verschillende taken. Over deze vaardigheid bij volwassenen is veel bekend, maar bij kinderen is dit niet het geval. Het *task-switch*-paradigma is een relatief zuivere methode om te onderzoeken hoe flexibel iemand twee verschillende taken kan afwisselen. Daarbij gaat het om eenvoudige (keuze)taken, bijvoorbeeld het beslissen of de kleur van een stimulus rood is of blauw (taak A), of het beslissen of de vorm van een stimulus een cirkel is of een vierkant (taak B). Het aanbieden van taken in gemixte blokken maakt het mogelijk de prestatie op taakrepetities (i.e., AA of BB) te vergelijken met de prestatie op taakalternaties (of taakswitches; i.e., AB of BA). Prestatie op taakalternaties is ten opzichte van taakrepetities altijd

minder accuraat en langzamer. Er zijn dus kosten verbonden aan taak-switchen (Monsell, 2003; Rubinstein, Meyer & Evans, 2001).

Om de ontwikkeling van flexibiliteit te onderzoeken werd gebruikgemaakt van experimentele designs waarmee verschillende aspecten van taak-switchen nader konden worden onderzocht. De verwachting was dat kinderen steeds flexibeler worden naarmate ze ouder worden. Met andere woorden: switchkosten nemen af tijdens de ontwikkeling. Het eerste onderzoek behandelt het vermogen te wisselen tussen keuzetaken, en het vermogen te wisselen tussen respons-executie ('gaan') en responsinhibitie ('stoppen') tijdens een keuzetaak. Proefpersonen uit drie leeftijdsgroepen (7-jarigen, 11-jarigen en 21-jarigen) voerden een zogenaamde hybride taak uit die het maken van onderscheid tussen kleuren (blauw of geel) en tussen vormen (driehoek of cirkel) vereiste. Sommige trials vroegen om een keuzereactie, andere om een disjunctieve reactie, waarbij één van twee keuzereacties moest worden gestopt.

Uit de resultaten kwamen twee verschillende ontwikkelingspatronen naar voren. Ten eerste namen de kosten van het wisselen tussen keuzereacties tijdens de ontwikkeling af. Daarbij werd een 'volwassen' niveau van taakprestatie pas na de leeftijd van 11 jaar bereikt. Ten tweede namen de kosten van het wisselen tussen 'stoppen' en 'gaan' af tijdens de ontwikkeling, waarbij een volwassen niveau van taakprestatie al op 11-jarige leeftijd was bereikt. De resultaten suggereren dat het controlemechanisme voor het flexibel wisselen tussen taken zich langzamer ontwikkelt dan het mechanisme dat betrokken is bij het flexibel wisselen van 'stoppen' naar 'gaan' (Huizinga & Van der Molen, 2007b).

Een alternatieve verklaring voor deze resultaten is gerelateerd aan de grotere gevoeligheid van kinderen voor taakirrelevante onderdelen van de stimulus. Het taak-switch-paradigma vereist dat een proefpersonen twee verschillende taken binnen dezelfde verzameling van stimuli uitvoert. Deze verzameling bestaat (noodzakelijkerwijs) uit tweedimensionale stimuli. Een stimulus bezit dan een relevant aspect (namelijk de taak die moet worden uitgevoerd) en een irrelevant aspect (de taak die moet worden genegeerd). Hierdoor kan interferentie optreden: als het relevante aspect en het irrelevant aspect van de stimulus een verschillende reactie vereisen. Eerder onderzoek liet zien dat kinderen in vergelijking met volwassenen meer moeite hebben met het onderdrukken van irrelevante stimulusinformatie (Bunge, Dudukovic, Thomason, Vaidya & Gabrieli, 2002; Ridderinkhof, Van der Molen, Band & Bashore, 1997). Dit leidt tot de vraag of het eerder waargenomen feit dat kinderen minder goed kunnen wisselen tussen taken, is gerelateerd aan hun grotere gevoeligheid voor irrelevante stimulusinformatie.

Om deze vraag te beantwoorden werd in het tweede onderzoek gekeken naar de ontwikkeling van het vermogen te wisselen tussen het lokale en het globale niveau van zogenaamde hiërarchische stimuli. Een hiërarchische stimulus is opgebouwd uit delen (bijv. kleine vierkantjes; het lokale niveau) die samen het geheel vormen (bijv. een groot vierkant; het globale niveau). Het onderzoek bestond uit twee verschillende experimenten, waarbij de stimuli bestonden uit grote (globale) vierkanten/rechthoeken die waren opgebouwd uit kleine (lokale) vierkanten/rechthoeken. De proefpersonen moesten de stimulus identifice-

ren op basis van zijn lokale niveau (de ene taak) dan wel zijn globale niveau (de andere taak). Het gebruik van deze hiërarchische stimuli maakte het ook mogelijk het effect van interferentie te onderzoeken. In Experiment I gaven geometrische *cues*, die dezelfde grootte en vorm hadden als de stimuli aan welke taak er moest worden uitgevoerd, in Experiment II werd dit gedaan door middel van symbolische *cues* (olifanten om de 'globale' taak aan te duiden, en muizen om de 'lokale' taak aan te duiden).

In Experiment I voerden proefpersonen uit drie verschillende leeftijdsgroepen (7-jarigen, 11-jarigen en 21-jarigen) de taak uit. De resultaten lieten in alle leeftijdsgroepen snellere en nauwkeuriger reacties op 'globale' trials zien: een *global-precedence-effect*.

De grootte van dit effect verschilde niet tussen de groepen. Verder bleken er in alle leeftijdsgroepen kosten verbonden te zijn aan het wisselen tussen taken. Deze kosten waren het grootst bij 7-jarigen, en in alle leeftijdsgroepen groter bij trials waarbij interferentie optrad dan bij trials waarbij dit niet het geval was.

In Experiment II werd verondersteld dat het waargenomen *global-precedence-effect* in Experiment I gerelateerd was aan het relatief makkelijk ruimtelijk matchen van de stimuli met de geometrische *cues*. Daarom werden in Experiment II de geometrische *cues* vervangen door symbolische *cues*, met als doel het daadwerkelijk mentaal verwerken van de globale en lokale niveaus van de stimuli. Andere proefpersonen uit dezelfde drie leeftijdsgroepen (7-jarigen, 11-jarigen en 21-jarigen) voerden de taak uit. Wederom werd in alle leeftijdsgroepen een *global-precedence-effect* waargenomen, en geen trend richting lokale verwerking. Bovendien bleek het

wisselen tussen taken geassocieerd te zijn met switchkosten, die het grootst waren bij 7-jarigen. Ten slotte vertoonden 7-jarigen een grotere gevoeligheid voor interferentie, maar dit effect had geen invloed op het vermogen flexibel te wisselen tussen taken.

De resultaten suggereren dat het flexibel kunnen wisselen tussen taken is gerelateerd aan de grotere gevoeligheid voor taakirrelevante onderdelen van de stimulus. Bovendien beïnvloeden de kenmerken van de *cues* deze bevinding, zoals werd bevestigd door een interactie met de gevoeligheid voor interferentie wanneer de *cue* en de stimulus eenvoudig aan elkaar te matchen zijn. De invloed van interferentie van het irrelevante stimulusniveau bleek hierbij het grootst bij 7-jarigen.

De ontwikkeling van executieve functies op latent niveau

De resultaten van het onderzoek naar prestatie op de WCST lieten zien dat individuele verschillen in de prestatie voor een aanzienlijk deel kunnen worden verklaard in termen van de verschillen in tempo's van ontwikkeling van de afzonderlijke EFC. Bovendien lieten de onderzoeken naar cognitieve flexibiliteit een gedifferentieerd ontwikkelingspatroon zien. Dit leidt tot de vraag hoe EF bij kinderen is georganiseerd en of deze organisatie verandert tijdens de ontwikkeling.

Vanwege de mogelijkheid tot reductie van taakonzuiverheid die bij (EF-)taken optreedt, is de latente-factormethode zeer geschikt voor ontwikkelingsonderzoek. Daarom werd in het huidige onderzoek naast traditionele variantie-analyses gebruikgemaakt van de (multi-groeps) latente-factormethode in de verwachting een gedetailleerd beeld te kunnen geven van de ontwikkelings-gerela-

Figuur 1 Het meetmodel dat werd gebruikt in de latente-factormethode. De ellipsen weerspiegelen de latente factoren Werkgeheugen en Flexibiliteit, de manifeste Inhibitievariabelen en de controlefactor Basissnelheid. De rechthoeken weerspiegelen de individuele taken om de specifieke EF-componenten te meten. De kromme, naar twee kanten wijzende pijlen verwijzen naar de correlaties tussen de latente variabelen, de Inhibitievariabelen (Stop-signaal Inhibitie; Eriksen Flanker Inhibitie; Stroop Inhibitie), en de controlefactor. NB: W2 = *Tic Tac Toe* taak; W3 = *Mental Counters* taak; F1 = *Local – Global* taak; F2 = *Dots – Triangles* taak; F3 = *Smiling Faces* taak; I1 = Stop-signaal taak; I2 = *Eriksen Flankers* taak; I3 = *Stroop* taak; SN = Basissnelheid (zie voor beschrijvingen van de taken Huizinga et al., 2006).

teerde verandering van EF.

Het hoofddoel van het laatste onderzoek was ontwikkelingsgerelateerde veranderingen in EF te onderzoeken. Proefpersonen uit vier grote leeftijdsgroepen (7-jarigen, 11-jarigen, 15-jarigen en 21-jarigen) voerden negen experimentele taken uit (drie voor elke EFC), alsmede de WCST en de TOL. Ten eerste werden standaard (co-)variantie-analyses uitgevoerd om (op manifest niveau) de ontwikkelingsverlopen binnen elke taak te onderzoeken, met correctie voor de algemene verwerkingssnelheid. Ten tweede werd gebruikgemaakt van de latente-factormethode om: 1) de organisatie van EF bij kinderen en jongvolwassenen te onderzoeken door te kijken of de EFC werkgeheugen-, flexibiliteits- en inhibitietaken dezelfde constructen maten binnen elke leeftijdsgroep; 2) te onderzoeken of deze organisatie verandert tijdens de ontwikkeling; en 3) te onderzoeken hoe EFC bijdragen aan prestatie op de WCST en de TOL tijdens de ontwikkeling. Ook bij de SEM-analy-

ses werd gecorrigeerd voor algemene verwerkingssnelheid.

Het onderzoek leverde een aantal resultaten op. Ten eerste lieten (co-)variantie-analyses op manifest niveau zien dat de prestatie op de WCST, de TOL en de EF-taken zich tot in de adolescentie blijft ontwikkelen. Dit geldt ook voor de algemene verwerkingssnelheid. Ten tweede lieten de SEM-analyses twee latente factoren zien: 'Werkgeheugen' en 'Flexibiliteit'. De variabelen die bedoeld waren om inhibitie te meten, bleken ongerelateerd (zie figuur 1). Verder was de organisatie van EF stabiel tijdens de ontwikkeling. Ten derde bleek de latente factor Flexibiliteit zich te ontwikkelen tot in de adolescentie en de latente factor Werkgeheugen tot in de jongvolwassenheid (zie figuur 2, bovenste twee grafieken). Prestatie op twee van de drie inhibitietaken (op manifest niveau) evenals de algemene verwerkingssnelheid ontwikkelde zich tot de adolescentie. Bij de derde inhibitietaken werd geen ontwikkeling

Figuur 2 Maximum-likelihood-schattingen en hun standaardfouten van de gemiddelden van de latente factoren Werkgeheugen en Flexibiliteit (i.e., de geobserveerde gemiddelde verschillen tussen de groepen als functie van de latente factoren), de drie manifeste Inhibitievariabelen en de controlefactor Basissnelheid; * significant verschil ten opzichte van de 21-jarigen.

waargenomen (zie figuur 2; onderste twee grafieken). Ten slotte lieten regressie-analyses zien dat de latente factor werkgeheugen in alle leeftijdsgroepen het sterkst bijdraagt aan prestatie op de WCST, terwijl de prestatie op de TOL het best voorspeld werd door de prestatie op één van de inhibitietaken (namelijk de *Stroop*-taak), echter alleen bij de 21-jarigen (Huizinga, Dolan & Van der Molen, 2006).

Gebruikmakend van de latente-factorenmethode om zo zuiver mogelijk de EFC in kaart te brengen, gaf dit onderzoek dus een normatief en gedifferentieerd beeld van de ontwikkeling van EF van de kindertijd tot de jongvolwassenheid. EF bleek multidimensioneel van aard te zijn. Bovendien bleek duidelijk dat werkgeheugen en flexibiliteit zich in verschillende tempo's ontwikkelen. Bij geen van de leeftijdsgroepen werd overigens een latente inhibitiefactor gevonden.

Conclusies en implicaties voor de toekomst

De beschreven onderzoeken zijn illustratief voor een experimenteel-neuropsychologische benadering van onderzoek naar het ontwikkelingsverloop van EF tussen 7-jarige leeftijd en jongvolwassenheid. Deze onderzoeken leverden een gedetailleerde analyse van de organisatie en ontwikkeling van EF, waarbij we lieten zien dat EF een construct is dat bestaat uit meerdere componenten, en dat deze componenten zich ontwikkelen in verschillende tempo's tijdens de kindertijd en adolescentie. Bovendien verschaffen de onderzoeken meer

Literatuur

- Amso, D. & Casey, B.J. (2006). Beyond what develops when – Neuroimaging may inform how cognition changes with development. *Current Directions in Psychological Science*, 15(1), 24-29.
- Anderson, S.W., Damasio, H., Jones, R.D. & Tranel, D. (1991). Wisconsin Card Sorting Test performance as a measure of frontal lobe damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(6), 909-922.
- Aron, A.R., Robbins, T.W. & Poldrack, R.A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(4), 170-177.

inzicht in de cognitieve processen die ten grondslag liggen aan standaard neuropsychologische taken.

De huidige resultaten laten zich verenigen met de resultaten van recente neurofysiologische en (f)MRI-onderzoeken, die de differentiële en relatief langzame ontwikkeling van de prefrontale cortex laten zien. Daarom maakt de methode die hier werd gepresenteerd, die zich richt op van elkaar te onderscheiden EFC in plaats van op standaard neuropsychologische EF-tests, het mogelijk de gevonden resultaten te interpreteren in termen van anatomisch en functioneel onderscheidbare systemen in de prefrontale cortex.

De bevinding dat EFC zich ontwikkelen in verschillende tempo's, zelfs tot in de adolescentie, impliceert dat aan adolescenten niet dezelfde eisen kunnen worden gesteld als aan volwassenen. Bovendien zijn deze resultaten met betrekking tot de organisatie en het ontwikkelingsverloop van EF van groot belang bij het uitvoeren van diagnostiek en het bepalen van interventies bij stoornissen die zijn gerelateerd aan problemen met executieve functies, zoals ADHD, autisme, schizofrenie en verslaving.

Dit artikel is gebaseerd op het proefschrift *Fractionation of executive function: A developmental approach*, waarop de auteur op 17 oktober 2006 is gepromoveerd aan de Universiteit van Amsterdam. De auteur dankt prof. dr. Maurits W. van der Molen, dr. Conor V. Dolan en prof. dr. Marilyn C. Welsh voor de waardevolle samenwerking.

- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York, NY: Oxford University Press.
- Barceló, F. & Knight, R.T. (2002). Both random and perspective errors underlie WCST deficits in prefrontal patients. *Neuropsychologia*, 40(3), 349-356.
- Bayliss, D.M., Jarrold, C., Gunn, D.M. & Baddeley, A.D. (2003). The complexities of complex span: Explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology-General*, 132(1), 71-92.
- Blair, C. (2003). Behavioral inhibition and behavioral activation in young children: Relations with self-regulation and adaptation to preschool in children attending head start. *Developmental Psychobiology*, 42(3), 301-311.
- Bull, R., Espy, K.A. & Senn, T.E. (2004). A comparison of performance on the Towers of London and Hanoi in young children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(4), 743-754.
- Bunge, S.A., Dudukovic, N.M., Thomason, M.E., Vaidya, C.J. & Gabrieli, J.D.E. (2002). Development of frontal lobe contributions to cognitive control in children: Evidence from fMRI. *Neuron*, 33, 301-311.
- Case, R. (1985). *Intellectual development: Birth to adulthood*. New York: Academic Press.
- Casey, B.J., Tottenham, N., Liston, C. & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 104-110.
- Cepeda, N.J., Kramer, A.F. & Gonzalez de Sather, J.C.M. (2001). Changes in executive control across the life span: Examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, 37(5), 715-730.
- Chelune, G.J. & Baer, R.A. (1986). Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 8(3), 219-228.
- Cowan, N. (1998). Visual and auditory working memory capacity. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(3), 77-78.
- Cowan, N., Sauls, J.S. & Elliott, E.M. (2002). The search for what is fundamental in the development of working memory. In *Advances in Child Development and Behavior*, Vol 29 (Vol. 29, pp. 1-49).
- Crone, E.A., Bunge, S.A., Van der Molen, M.W. & Ridderinkhof, K.R. (2006). Switching between tasks and responses: A developmental study. *Developmental Science*, 7(4), 443-455.
- Crone, E.A., Donohue, S.E., Honomichl, R., Wendelken, C. & Bunge, S.A. (2006). Brain regions mediating flexible rule use during development. *Journal of Neuroscience*, 26(43), 11239-11247.
- Crone, E.A., Ridderinkhof, K.R., Worm, M., Somsen, R.J.M. & Van der Molen, M.W. (2004). Switching between spatial stimulus-response mappings: a developmental study of cognitive flexibility. *Developmental Science*, 7(4), 443-455.
- Dempster, F.N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, 12(1), 45-75.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D.T. Stuss & R.T. Knight (eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466-503). New York: Oxford University Press.
- Eslinger, P.J., Flaherty-Craig, C.V. & Benton, A.L. (2004). Developmental outcomes after early prefrontal cortex damage. *Brain and Cognition*, 55(1), 84-103.
- Flavell, J.H. (1971). First discussant's comments: What is memory development the development of. *Human Development*, 14, 272-278.
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Goel, V. & Grafman, J. (1995). Are the frontal lobes implicated in planning functions – interpreting data from the Tower of Hanoi. *Neuropsychologia*, 33(5), 623-642.
- Grant, D.A. & Berg, E.A. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 34, 404-411.
- Heaton, R.K., Chelune, G.J., Talley, J.L., Kay, G.G. & Curtis, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test Manual, Revised and Expanded*. Odessa: Psychological Assessment Resources.
- Hill, E.L. & Frith, U. (2003). Understanding autism: insights from mind and brain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 358(1430), 281-289.
- Huizinga, M., Dolan, C.V. & Van der Molen, M.W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017-2036.
- Huizinga, M. & Van der Molen, M.W. (2007a). Development of set-switching and set-maintenance on the Wisconsin Card Sorting Task. *Developmental Neuropsychology*, geaccepteerd.
- Huizinga, M. & Van der Molen, M.W. (2007b). Age-related change in switching from color to shape, and from stopping to going. *Manuscript ter publicatie aangeboden*.
- Kimberg, D.Y., D'Esposito, M. & Farah, M.J. (1997). Cognitive functions in the prefrontal cortex—Working memory and executive control. *Current Directions in Psychological Science*, 6(6), 185-192.
- Lehto, J.H., Juujarvi, P., Kooistra, L. & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59-80.
- Logan, G.D. & Cowan, W.B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, 91(3), 295-327.
- Luna, B., Garver, K.E., Urban, T.A., Lazar, N.A. & Sweeney, J.A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1372.
- Miller, E.K. & Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A. & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134-140.
- Narayanan, N.S., Prabhakaran, V., Bunge, S.A., Christoff, K., Fine, E.M. & Gabrieli, J. D.E. (2005). The role of the prefrontal cortex in the maintenance of verbal working memory: An event-related fMRI analysis. *Neuropsychology*, 19(2), 223-232.
- Newman, S.D., Carpenter, P.A., Varma, S. & Just, M.A. (2003). Frontal and parietal participation in problem solving in the Tower of London: fMRI and computational modeling of planning and high-level perception. *Neuropsychologia*, 41(12), 1668-1682.
- Rabbitt, P.M.A., Lowe, C. & Shilling, V. (2001). Frontal tests and models for cognitive ageing. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1-2), 5-28.
- Rubinstein, J.S., Meyer, D.E. & Evans, J.E. (2001). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 27(4), 763-797.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments in planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 298, 199-209.
- Shallice, T. & Burgess, P.W. (1991). Deficits in strategy application following frontal-lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.
- Siegler, R.S. (1983). Information processing approaches to development. In W. Kessen & P.H. Mussen (eds.), *Handbook of child psychology* (Vol. 1 History, theory, and methods, pp. 129-211). New York: Wiley.

- Simon, H.A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology*, 7, 268-288.
- Stuss, D.T. (1992). Biological and psychological development of executive functions. *Brain and Cognition*, 20(1), 8-23.
- Stuss, D.T. (2006). Frontal lobes and attention: Processes and networks, fractionation and integration. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12(2), 261-271.
- Stuss, D.T., Levine, B., Alexander, M.P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., et al. (2000). Wisconsin Card Sorting Test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: Effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, 38(4), 388-402.
- Swanson, H.L. (2006). Cognitive processes that underlie mathematical precociousness in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93(3), 239-264.
- Van den Wildenberg, W.P.M. & Van der Molen, M.W. (2004). Developmental trends in simple and selective inhibition of compatible and incompatible responses. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(3), 201-220.
- Welsh, M.C. (2002). Developmental and clinical variations in executive functions. In D.L. Molfese & V.J. Molfese (eds.), *Developmental variations in learning: Applications to social, executive function, language, and reading skills*. (pp. 139-185). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Welsh, M.C. & Huizinga, M. (2001). The development and preliminary validation of the Tower of Hanoi-Revised. *Assessment*, 8(2), 167-176.
- Welsh, M.C. & Huizinga, M. (2005). Tower of Hanoi disk-transfer task: Influences of strategy knowledge and learning on performance. *Learning and Individual Differences*, 15(4), 283-298.
- Welsh, M.C., Pennington, B.F. & Groisser, D.B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7(2), 131-149.
- Williams, B.R., Ponesse, J.S., Schachar, R.J., Logan, G.D. & Tannock, R. (1999). Development of inhibitory control across the life span. *Developmental Psychology*, 35(1), 205-213.
- Zelazo, P.D., Muller, U., Frye, D. & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function: Cognitive complexity and control—revised. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), 93-119.