



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Metacontrol in the brain: investigating neural mechanisms of persistence and flexibility states during meditation and creative thinking using EEG and fMRI techniques

Zhang, W.

Citation

Zhang, W. (2024, July 3). *Metacontrol in the brain: investigating neural mechanisms of persistence and flexibility states during meditation and creative thinking using EEG and fMRI techniques*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/3766104>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/3766104>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

SUMMARY IN DUTCH

NEDERLANDSE SAMENVATTING

Het primaire doel van dit proefschrift was om de neurale mechanismen te onderzoeken die ten grondslag liggen aan de metacontrolestaten van persistentie en flexibiliteit. In deze algemene discussiesectie zullen de bevindingen van elk hoofdstuk worden samengevat en zal er moeite worden gedaan om verbanden te leggen tussen deze bevindingen om de onderzoeksvragen te beantwoorden over de neurale mechanismen van metacontrolestaten.

SAMENVATTING VAN DE BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN

Hoofdstuk 2 bood een uitgebreide beoordeling van eerder gedragsmatig en neurowetenschappelijk onderzoek naar convergent denken (CT) en divergent denken (DT) en stelde een neurocognitief kader voor metacontrole van creatieve cognitie voor, namelijk het Meta-Controle van Creativiteit (MCC) model, dat stelt dat creatieve cognitie in taken met veel divergent- en convergent denken wordt gemoduleerd door metacontrolestaten, waarbij divergent denken en inzichtoplossingen in convergent-denktaken lijken te profiteren van metacontrolevoorkeuren naar flexibiliteit, terwijl convergent, analytisch denken lijkt te profiteren van metacontrolevoorkeuren naar persistentie. Deze specifieke voorkeuren lijken weerspiegeld te worden door specifieke corticale hersenactiveringspatronen, met betrekking tot de linker dorsolaterale prefrontale cortex (DLPFC), linker inferieure frontale cortex (IIFG) en rechter temporale/pariëtale netwerken (T/PC), met name de rechter superieure temporale gyrus (STG) en rechter posterieure pariëtale gyrus (PPC). Specifiek wordt flexibiliteit in creatieve cognitie bevorderd door zwakke activering van de linker DLPFC en rechter T/PC samen met een sterk geactiveerde linker IFG, terwijl persistentie zou worden gekenmerkt door het tegenovergestelde patroon.

In Hoofdstuk 3 werd EEG-technologie gebruikt om de taakgerelateerde vermogensveranderingen in de alfaband te vergelijken tijdens de ideegeneratiefase (2 seconden voor het reageren) in de Remote Associates Task (RAT) en de Alternative Uses Task (AUT) om de neurale mechanismen van metacontrole te onderzoeken, en het MCC-model voorgesteld in Hoofdstuk 2 werd ook onderzocht. Omdat de drie hersengebieden voorgesteld door het MCC-model werden samengevat uit verschillende EEG- en fMRI-studies, hebben we voornamelijk de voorspellingen van het MCC onderzocht die geschikt zijn voor EEG. Specifiek verwachtten we dat de rechter T/PC hogere alfasynchronisatie zou tonen tijdens AUT dan RAT, en dat de rechter STG een afname in alfa-vermogen zou tonen in het proces van inzicht, wat overeenkomt met onze bevindingen. Over het algemeen vonden we ook dat AUT geassocieerd was met hogere alfa-vermogen dan RAT door het hele brein, wat verschillende niveaus van top-down controle en competitie tussen ideeën suggereert, zoals geïmpliceerd door de aanname van taakspecifieke metacontrolestaten. Daarnaast vonden we dat inzichtoplossingen, maar niet niet-inzichtoplossingen, positief gecorreleerd waren met AUT-scores, wat suggereert dat inzicht nauw geassocieerd is met flexibiliteit. Deze associatie werd echter niet eenduidig ondersteund door andere EEG-resultaten. Samengevat biedt Hoofdstuk 3 eerste bewijs ter ondersteuning van het MCC, hoewel de neurale basis van het verschil tussen inzicht- en niet-inzichtproeven meer opheldering behoeft.

In Hoofdstuk 4 hebben we fMRI-techniek gebruikt om de neurale mechanismen van metacontrole geïnduceerd door creativiteitstaken (RAT versus AUT) en meditatie (FAM versus OMM) te onderzoeken. De hersengebieden gevoed door frontale en striatale dopamine (die worden geacht persistentie en flexibiliteit te relateren, respectievelijk) en voorgesteld in de MCC-modellen werden specifiek onderzocht. We voerden ook een conjunctionanalyse uit tussen creativiteit- en meditatietaken om gemeenschappelijke mechanismen van metacontrole te lokaliseren. Onze bevindingen suggereren dat metacontrole persistentie geassocieerd is met

activering in de PFC, ACC en de BG, terwijl metacontrole flexibiliteit is gekoppeld aan activering van de DMN. Dit patroon was echter veel duidelijker in de analyse van hersenactivering gerelateerd aan de twee creativiteitstaken dan in de hersenactivering geassocieerd met de twee typen meditatie. Meditatie kan een goede methode zijn om specifieke metacontrolestaten op te wekken, maar om de impact van deze staten op informatieprocessen te beoordelen, zou het geassocieerd moeten worden met specifieke taakprestaties, wat we hier niet hebben bestudeerd. Met betrekking tot het MCC-model vonden we ondersteunend bewijs met betrekking tot voorspellingen gerelateerd aan PPC en, gedeeltelijk, PFC, maar er werden geen significante bevindingen waargenomen voor STG en de bevindingen voor IIFG waar precies het tegenovergestelde van wat werd voorspeld. Meer onderzoek zal nodig zijn om te bepalen of het absolute of relatieve activering van IIFG is dat belangrijk is voor metacontrole, en of IIFG echt deel uitmaakt van het flexibiliteitsnetwerk, zoals gesuggereerd door het MCC-model, of eerder deel uitmaakt van het persistentienetwerk.

In Hoofdstuk 5 is een validatieanalyse van de Picture Concept Task (PCT) uitgevoerd, en de resultaten suggereren dat beide subtests van de PCT onvoldoende zijn voor het nauwkeurig meten van convergent denken (CT; gemeten met PCTc wat staat voor PCT voor CT) en divergent denken (DT; gemeten met PCTd wat staat voor PCT voor DT). Er is echter een positieve bevinding met betrekking tot de scoringsdimensie van vloeiendheid in PCTd, die een betrouwbare indicator lijkt te zijn voor de vloeiendheid van divergent denken. Dit impliceert dat de PCTd potentieel kan dienen als een nuttig instrument voor het beoordelen van vaardigheden in divergent denken, mits er verdere verbeteringen worden aangebracht om de validiteit te verhogen. Daarnaast hebben we de scoringsmethode voor de dimensie van originaliteit geïdentificeerd als een gebied dat verbetering behoeft. Met verfijningen in het scoringsproces voor originaliteit heeft de PCTd de belofte om een geldige test te worden die specifiek is ontworpen voor het meten van divergent denken. We zullen Hoofdstuk 5 in de

volgende secties niet bespreken aangezien het niet bijdraagt aan de hoofdonderzoeksvraag van dit proefschrift.

Integratie van de Bevindingen: Huidige Inzichten in de Onderzoeksvraag

Neurale mechanismen van metacontroletoestanden

Hierna zal ik de neurale mechanismen van metacontrole uitleggen vanuit drie perspectieven: (1) het MCC-model; (2) de dopamine-theorie (3) de algemene bevindingen uit de EEG- en fMRI-studies.

Het MCC-model, zoals oorspronkelijk voorgesteld in Hoofdstuk 2 van dit proefschrift, werd onderzocht met EEG- en fMRI-methoden in Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4, respectievelijk. Het MCC-model stelt dat vooroordelen in creativiteit-gerelateerde metacontrole tijdens creativiteitsopdrachten worden weerspiegeld in taakspecifieke activeringspatronen van drie belangrijke hersengebieden: (1) de linker inferieure frontale gyrus (IIFG), (2) de linker dorsolaterale prefrontale cortex (IDLDFC), en (3) de rechter temporale en/of pariëtale cortex (rT/PC), in het bijzonder de rechter superieure temporale gyrus (rSTG) en de rechter posterieure pariëtale gyrus (rPPC). Gebaseerd op eerdere EEG- en fMRI-studies gerelateerd aan convergent en divergent denken, suggereert het MCC-model dat twee activeringspatronen (IIFG+, IDLDFC-, rT/PC- versus IIFG-, IDLDFC+, rT/PC+) metacontroletoestanden weerspiegelen die bevooroordeeld zijn naar flexibiliteit en volharding, respectievelijk. In Hoofdstuk 3, dat EEG-methoden gebruikte, lag de primaire focus op de rT/PC, en we observeerden dat er meer uitgesproken alfasynchronisatie of hogere alfakracht in dit gebied was voor de flexibilitatsstaat dan voor de volhardingsstaat. Dit wijst op lagere hersenactivatie ((Scheeringa et al., 2011, 2016)), wat overeenkomt met het MCC-model. Dit werd verder ondersteund door bevindingen uit inzichtproeven van RAT, die worden beschouwd als een overgang van flexibiliteit naar volharding, aangezien de alfakracht afnam in de rechter

temporale regio. In Hoofdstuk 4 werden alle hersengebieden uit het MCC-model onderzocht tijdens zowel creativiteit als meditatie. Er werd ondersteunend bewijs gevonden voor voorspellingen gerelateerd aan rPPC (in lijn met de EEG-resultaten van rT/PC in Hoofdstuk 3) en, in zekere mate, IDLPFC (alleen in de context van creativiteit, niet meditatie). Echter, er werden geen significante bevindingen waargenomen voor STG, en de bevindingen voor IIFG waren exact het tegenovergestelde van wat voorspeld werd. Wanneer we de resultaten van Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4 combineren, werd voorlopig bewijs gevonden ten gunste van het MCC-model. Desalniettemin is verder onderzoek nodig om de voorspellingen voor IIFG te verduidelijken.

De dopamine-theorie die in dit proefschrift wordt genoemd, suggereert dat metacontrole sterk gerelateerd is aan frontale en striatale dopaminerge paden (Durstewitz & Seamans, 2008; Cools, 2016; Cools & D'Esposito, 2011), die dopamine afleveren aan zijn receptoren in de prefrontale cortex (PFC) en basale ganglia (BG), respectievelijk. Er zijn twee visies om de relatie tussen de dopaminepad en metacontrole te begrijpen. Ten eerste, gebaseerd op de visies van Cools (2016; Cools & D'Esposito, 2011), gaan we ervan uit dat het frontale dopaminerge pad een systeem is dat volharding bevordert en het striatale pad een systeem is dat flexibiliteit bevordert, dus volharding zou gepaard gaan met sterkere activering van de gebieden (PFC en/of anterieure cingulate cortex, ACC) die worden aangedreven door het frontale dopaminerge pad, terwijl flexibiliteit zou worden geassocieerd met sterkere activering van de gebieden (BG) die worden aangedreven door het striatale dopaminerge pad. Ten tweede, de visies van Durstewitz en Seamans (2008) impliceren dat beide interessegebieden (PFC/ACC en BG) betrokken zouden kunnen zijn bij het implementeren van een bepaald evenwicht tussen volharding en flexibiliteit, hoewel de receptorsoorten die de activiteiten in deze regio's bevorderen, kunnen verschillen. Hoofdstuk 4 onderzocht de dopamine-theorie door de hersenactivatie in de interessegebieden tussen verschillende metacontroletoestanden opgewekt door creativiteitsopdrachten en

meditatie te vergelijken, en het werd gevonden dat de hersengebieden aangedreven door zowel frontale als striatale dopamine werden geactiveerd in de volhardingstoestand opgewekt door zowel RAT als FAM. In eerdere studies over stabiliteit en flexibiliteit (Armbruster et al., 2012) en neuroanatomische overwegingen betreffende metacontrole (Cools, 2016; Cools & D'Esposito, 2011), werden striatale structuren inclusief de basale ganglia algemeen beschouwd als geassocieerd met flexibiliteit, eerder dan volharding. Indien dit het geval is, ondersteunen onze bevindingen geen scenario waarin de interactie tussen frontale en striatale structuren ervoor zorgt dat de activatie van frontale structuren persistentie bevordert, en de activatie van striatale structuren flexibiliteit bevordert. In plaats daarvan lijkt het erop dat beide soorten structuren continu interageren om de huidige mate van persistentie versus flexibiliteit te onderhandelen. Met andere woorden, persistentie en flexibiliteit weerspiegelen niet de geïsoleerde activatie van een overeenkomstige neurale structuur, maar ontstaan juist uit de continue interacties tussen frontale en striatale componenten van een gedistribueerd maar goed geïntegreerd metacontrolesysteem. Dit geïntegreerde systeem kan werken volgens de lijnen van Durstewitz en Seamans (2008), die hebben beweerd dat D1- en D2-receptoren in beide soorten structuren de metacontrole naar persistentie of flexibiliteit bevooroordeelden, respectievelijk. Maar andere scenario's zijn mogelijk. Bijvoorbeeld, de interactie tussen frontale en striatale structuren zou kunnen worden gestuurd door het afstemmen van de productiviteit van de VTA en de substantia nigra, die de frontale en de striatale dopaminerge systemen voeden. Een andere, niet wederzijds uitsluitende mogelijkheid is dat het evenwicht tussen de frontale en de striatale dopaminerge paden gemoduleerd wordt door serotonerge input (Prochazkova et al., 2018b), waarvan is aangetoond dat het die capaciteit heeft (De Deurwaerdère et al., 2021). In welke gevallen dan ook, de hersengebieden die worden gemoduleerd door frontale en striatale dopamine, worden gevonden als betrokken bij de regulering van de metacontrolestaten.

Naast de resultaten onthuld door theoriegestuurde verkenningen geleid door de MCC en de dopamine-theorie, tonen de EEG-bevindingen in Hoofdstuk 3 aan dat flexibiliteit hogere alfa-kracht vertoont dan persistentie door het hele brein, en de fMRI-bevindingen in Hoofdstuk 4 tonen aan dat persistentie wordt geassocieerd met activatie in de PFC, ACC en BG, terwijl flexibiliteit wordt geassocieerd met activatie van gebieden in het default mode network (DMN). Ten eerste, met betrekking tot persistentie, wordt aangenomen dat de activaties in de PFC, ACC en BG selectiviteit in aandacht en actiecontrole creëren: De PFC is cruciaal in het bieden van doel-afhankelijke top-down ondersteuning voor doelgerelateerde representaties (Miller & Cohen, 2001), de ACC wordt verondersteld een cruciaal knooppunt te zijn in het monitoren van interne conflicten en het signaleren van de behoefte aan sterkere doel-ondersteuning van de PFC (Botvinick et al., 2004), en de BG worden geacht vooroordelen te geven aan stimulus- en responsselectie op basis van verwachte beloningen (Johnston et al., 2007; Richter & Yeung, 2015; Yehene et al., 2008). Dienovereenkomstig reflecteert de gezamenlijke activatie van deze drie componenten waarschijnlijk de mate van selectiviteit van informatieverwerking, wat volgens de metacontroletheorie overeenkomt met een sterke persistentiebias (Hommel & Colzato, 2017c). Ten tweede, merk op dat de hogere alfa-kracht van flexibiliteit (uit Hoofdstuk 3) overeenkomt met zijn hersenactivatie in DMN (uit Hoofdstuk 4). De verhoogde alfa-kracht door het hele brein suggereert verminderde werkgeheugenretentie en monitoringsproces (Carp & Compton, 2009; S. Tang et al., 2021; Wianda & Ross, 2019), wat wijst op een inactief Executive Control Network (ECN), dat negatief gecorreleerd is met de activatie van DMN. Het DMN, een taak-negatief of rusttoestandnetwerk, staat bekend om zijn negatieve correlatie met uitvoerende controlefunctie en cognitieve controle (Raichle, 2015), en positief geassocieerd met cognitieve flexibiliteit (Vatansever et al., 2016). Daarom wordt het DMN geactiveerd door de afwezigheid van concrete taakbeperkingen en in de afwezigheid van de noodzaak om

selectief te zijn met betrekking tot stimuli of responsen, wat precies de staat is die metacontrole voorziet voor sterke neigingen naar flexibiliteit.

Conclusie

Om de neurale mechanismen van door creativiteitstaken en/of meditatie geïnduceerde metacontrole te onderzoeken, gebruikte dit proefschrift zowel EEG- als fMRI-methoden. Deze onderzoeken werden geleid door het binnen dit proefschrift voorgestelde MCC-model en de dopamine-theorie die in eerdere studies is vastgesteld. De EEG-bevindingen in dit proefschrift suggereren dat flexibiliteit wordt geassocieerd met hogere alfa-kracht of alfa-synchronisatie in vergelijking met persistentie, met name in de rechter temporale en pariëtale regio's. Deze observatie wijst op verschillende niveaus van top-down controle en concurrentie tussen ideeën, zoals geïmpliceerd door het concept van taakspecifieke metacontrolestaten. De fMRI-bevindingen geven aan dat persistentie is gekoppeld aan activiteiten in de PFC, ACC en BG, wat wijst op sterke doelgerelateerde top-down controle en selectiviteit in informatieverwerking (concurrentie tussen alternatieven). Aan de andere kant wordt flexibiliteit geassocieerd met de activatie van het default mode network (DMN), wat wijst op een vermindering van top-down controle en concurrentie.

Beperkingen en Toekomstige Richtingen

Hoewel is aangetoond dat creativiteitstaken en meditatietechnieken metacontrolestaten induceren, zijn dit geen directe metingen van deze staten, en kunnen hun hersenactivaties ook andere cognitieve functies betreffen die niet gerelateerd zijn aan metacontrole. Bovendien kan onze benadering, terwijl we dopamine-gerelateerde theorieën en de MCC-theorie voor een doelgerichte, gefocuste analyse van metacontrole hebben gebruikt, enkele aan metacontrole gerelateerde gebieden buiten deze reikwijdte over het hoofd zien.

Voor toekomstig onderzoek roept Hoofdstuk 4 van dit proefschrift eerst op tot een herziening van het MCC-model om de rol van de IIFG in metacontrole te verduidelijken. Ten tweede biedt Hoofdstuk 4 ook enkele regio's van belang voor verder onderzoek naar de hersennetwerken van metacontrole. Ten derde, aangezien eerdere studies een verband suggereren tussen hersenvariabiliteit (ruis) en metacontrole (Armbruster-Genç et al., 2016; C. Zhang et al., 2022), zou toekomstig onderzoek de hersenvariabiliteit tussen de metacontrolestaten kunnen vergelijken om deze potentiële relatie te verkennen.