



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

심리학석사학위논문

노년기 인지통제 과제에서  
반응속도 변산성과 뇌 기능 활성화

2017년 8월

서울대학교 대학원

심리학과 임상신경심리학 전공

김혜린

# 노년기 인지통제 과제에서 반응속도 변산성과 뇌 기능 활성화

지도교수 최진영

이 논문을 심리학석사 학위논문으로 제출함  
2017년 8월

서울대학교 대학원  
심리학과 임상신경심리학 전공  
김혜린

김혜린의 석사 학위논문을 인준함  
2017년 8월

위원장            한 소 원 (인)

부위원장            김 명 선 (인)

위 원            최 진 영 (인)

## 국문초록

개인 내 반응속도 변산성은 노화에 따라 증가하는 것으로 알려진 행동지표로, 인지과제에서 관찰된 개인의 반응 속도가 얼마나 비일관적인지 측정하는 지표이다. 반응속도 변산성의 증가는 노화에 따른 전두 영역의 구조적 변화를 반영하며, 인지노화의 양상을 예측하는 지표로서 주목받기 시작하였다. 그러나 개인 내 반응속도 변산성의 증가가 어떤 뇌 기능적 활성화에 기반하고 있는지를 밝힌 연구는 부족하다. 본 연구에서는 건강한 노인 52명을 대상으로 다중간섭과제(multi-source interference task; MSIT)를 실시함과 동시에 자기공명영상을 통해 뇌 기능적 활성화 양상을 연구하였다. 구체적으로 MSIT에서 얻은 개인 내 반응속도 변산성 지표와 MSIT의 성공적 수행여부를 반영하는 간섭 대 통제 조건 간 반응속도 차이 지표가 기반하고 있는 뇌 영역을 탐색하였다. 더하여 두 가지 지표의 신경심리적 특성을 확인하기 위하여 인지통제 기능을 측정하는 신경심리측정치들과의 상관 분석을 실시하였다.

MSIT의 행동수행 지표의 신경기반을 탐색하기 위한 분석의 결과는 각 지표가 다른 뇌 영역의 기능적 활성화에 기반하고 있음을 나타냈다. 개인 내 반응속도 변산성 지표의 분석 결과, 좌측 하전두회(inferior frontal gyrus) 영역의 활성화 수준이 클수록 반응속도의 변산성이 더 큰 것으로 나타났으며, 조건 간 반응속도 차이 지표 분석에서는 인지통제 기능에 관여하는 것으로 알려진 뇌 영역들의 활성화 수준이 더 클수록 조건 간 반응속도 차이 지표로 측정된 행동수행은 더 성공적인 것으로 나타났다. 위의 분석에서 활성화된 영역들은 중전두회(middle frontal gyrus), 하전두회(inferior frontal gyrus), 섬엽(insula lobe) 등을 포함 하였다. 두 지표를 비교하기 위해 탐색적으로 실시한 두 지표간의 상호작용을 확인하는 분석 결과는 다음과 같다. 개인 내 반응속도의 변산성이 작은 노인의 경우 배측 전대상회피질(dorsal anterior cingulate cortex)의 활성화 수준이 작을수록 조건 간 반응속도로 측정된 행동수행이 더 성공적인 것으로 나타난 반면, 개인 내 반응속도의 변산성이 큰

노인의 경우 배측전대상피질을 더 많이 활성화 시키는 것이 더 성공적인 인지통제 수행을 예측하는 것으로 나타났다.

두 지표의 신경심리적 특성을 알아보기 위해 실시한 행동수준 분석의 결과, 개인 내 반응속도 변산성이 클수록 Stroop-색상 단어 검사의 간섭 지수가 높았으나, 조건 간 반응속도 차이 지표와 신경심리평가 결과에서는 유의한 상관이 관찰되지 않았다.

이러한 뇌 및 행동 분석의 결과들은 조건 간 반응속도 차이 및 개인 내 반응속도 변산성 지표가 서로 다른 뇌 기능에 기반하고 있지만, 서로 밀접하게 상호작용 한다는 것을 시사한다. 나아가 개인 내 반응속도 변산성 차이와 함께 관찰된 뇌기능 활성화가 반영하는 노화의 특성에 대한 논의와 추후 연구의 필요성이 제기되었다.

**주요어** : 인지통제, 반응억제, 전두기능, 반응속도 변산성, 조건 간 반응속도 차이

**학 번** : 2015-22544

## 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 인지통제 기능과 노화 .....	1
제 2 절 인지통제 기능의 대뇌 기전과 노화 .....	3
제 3 절 인지통제 기능의 측정 .....	5
제 4 절 문제제기 및 연구 목적 .....	8
제 2 장 방 법 .....	10
제 1 절 참가자 .....	10
제 2 절 측정도구 .....	11
제 3 절 절차 .....	15
제 4 절 분석 .....	16
제 3 장 결 과 .....	20
제 1 절 행동지표 분석 .....	20
제 2 절 뇌 기능 활성화 분석 .....	25
제 4 장 논 의 .....	33
제 1 절 결과의 해석 .....	34
제 2 절 연구의 의의 및 한계점 .....	37
참고문헌 .....	40
Abstract .....	47

## 표 목 차

[표 1] 인구통계학적 특성 및 행동지표 .....	20
[표 2] 인지통제 기능 측정치들 간의 상관관계 .....	22
[표 3] 다중간섭과제의 행동지표와 인구통계학 특성 .....	24
[표 4] 불일치 조건의 뇌 영역 활성화 .....	26
[표 5] 조건간 반응속도 차이와 상관을 보인 뇌 영역 .....	28
[표 6] 개인 내 반응속도 변산성과 상관을 보인 뇌 영역 ..	29
[표 7] 두 지표의 상호작용 향과 상관을 보인 뇌 영역 .....	31

## 그림 목 차

[그림 1] 다중간섭과제의 시행 예시 .....	13
[그림 2] 다중간섭과제 행동수행 지표의 분포 .....	23
[그림 3] 불일치 조건의 뇌 영역 활성화 .....	25
[그림 4] 조건간 반응속도 차이와 상관을 보인 뇌 영역 ...	28
[그림 5] 개인 내 반응속도 변산성과 상관을 보인 뇌 영역	29
[그림 6] 두 지표의 상호작용 향과 상관을 보인 뇌 영역 ..	31
[그림 7] 전대상회피질 활성화 수준과 행동수행의 관계 ...	32

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 인지통제 기능과 노화

### 1.1 인지통제 기능

인간 인지 체계의 특징 중 하나는 특정 과제를 수행하기 위한 최적의 상태로 스스로를 재구성할 수 있다는 것이다. 우리 뇌는 선택적 지각, 반응 편향, 그리고 맥락정보의 파지를 적절히 조정하여 목적에 부합하는 행동을 할 수 있는 상태가 되며, 이러한 과정을 인지통제(cognitive control)라고 한다(Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001). 인지통제 기능은 개인의 주의자원을 목적과 관련한 정보에 한정시킴과 동시에, 간섭을 유발하는 불필요한 자극에 대한 주의자원 할당을 최소화 할 수 있는 능력을 지칭한다(Hasher, Zacks, & May, 1999).

인지통제 기능은 하나의 단일한 구성체라고 여겨지기도 하지만(Duncan, Johnson, Swales, 1997), Fridman과 Miyake(2000)는 사고전환(shifting), 업데이트(update), 억제능력(inhibition)과 같은 하위요소가 인지통제 기능을 구성한다고 주장하였다. 첫째, 사고전환은 더 이상 관련이 없어진 이전의 과제에서 벗어나서, 현재 반응해야 하는 과제로 전환하는 능력을 일컫는다. 사고전환은 단순히 과제전환 뿐만 아니라, 선행하는 과제로 인해 발생한 간섭을 해소할 수 있는 능력을 포함한다. 이는 새로운 과제의 요구에 부응하도록 하는 능력이다. 둘째, 새로운 과제를 수행하기 위해서는 과제와 관련된 정보를 파지하고, 조작하는 능력이 필요한데, 이 능력을 일컫는 업데이트 기능은 작업기억과 밀접한 관련이 있다. 따라서 인지통제의 실패를 작업 기억 능력의 저하에서 기인한 것으로 설명하기도 한다. 즉, 개인의 작업기억에 불필요한 정보가 침투하는 것을 막는 것, 더 이상 목표와 관련이 없는 정보를 작업 기억에서 제거하는 것, 그리고 목표와 관련은 없지만 더 익숙하거나 우세한 반응이 작업 기억에서 우위를 점하는 것을 막는 것의 실패가 인지통제 기능의 저



하로 이어진다는 주장이다(Hasher, Stoltzfus, Zacks, & Rypma, 1991). 마지막으로 억제능력은 인지통제의 핵심요소로 여겨지며, 자동적이고 습관적으로 일어나는 반응을 계획과 의도에 따라 억제하는 능력을 가리킨다(Hasher, Zacks, & May, 1999).

## 1.2 노년기의 인지통제능력

노화는 인지영역 전반에 걸쳐 기능의 감퇴를 유발한다(Schaie, 1996). 많은 연구들이 그 중에서도 인지통제 기능의 감퇴에 주목해왔다(Hasher, Stoltzfus, Zacks, & Rypma, 1991; Mayda, Westphal, Carter, & Decarli, 2011; Salthouse & Meinz, 1995). 노인들은 작업기억 및 다중작업과 같은 과제에서 세트의 전환(Fabiani & Friedman, 1995), 경쟁해소(Gratton, Wee, Rykhlevskaia, Leaver, & Fabiani, 2009), 그리고 방해 자극의 무시(Connelly, Hasher, & Zacks, 1991)와 같은 능력이 요구될 때 급격한 능력의 저하를 보였다.

인지통제기능의 감퇴는 노년기에 인지기능의 여러 영역에서 나타나는 기능저하 중에서도 특히 중요하다. 인지통제기능의 감퇴가 다른 인지영역에서 발생하는 기능저하의 원인이 될 수 있기 때문이다. Hasher 등(1991)이 제시한 억제결핍이론(inhibitory deficit theory)은 다양한 인지영역에서 발생하는 노화의 주된 특성이 억제(inhibition)능력의 결여와 관련되어 있다고 주장한다. 예를 들어, 기억의 인출과정에서 올바른 정보의 인출을 위해서는 오기억(false memory)과 같은 경쟁 정보로 인해 발생하는 간섭을 해소해야하는데, 여기에서 발생하는 간섭해소 실패는 기억인출실패로 이어진다(Anderson & Spellman, 1995). 따라서 장기기억 인출의 실패는 억제능력의 결핍과 관련 있는 것으로 여겨지기도 한다(Blaxton & Neely, 1983; Dagenbach, Carr, & Barnhardt, 1990).

## 제 2 절 인지통제 기능의 대뇌 기전과 노화

### 2.1 인지통제 기능의 대뇌 기전

주의체계(attention system)이론은 외부에서 오는 자극을 처리할 때 발생하는 주의과정을 상향주의선택(bottom-up attentional selection)과 하향주의 선택(top-down attentional selection)으로 구분하고 있다(Posner, & Petersen, 1989). 다른 물체보다 더 밝은 색을 가진 물건 같이 자극이 가지는 특성 그 자체가 주의를 끄는 경우, 우리 뇌는 상향주의선택(bottom-up attentional selection)과정을 통해서 이를 우선적으로 처리한다. 하지만 인지통제 과정과 같이 특정한 과제나 목적에 부합하는 행동을 하고자 할 때는 하향주의선택(top-down attentional selection)을 통해 개인의 주위가 어디로 향할지가 결정된다(Posner, & Petersen, 1989). 뇌 영역 중 전전두피질(prefrontal cortex)은 하향주의선택을 가능하게 하는 영역으로 알려져 있다(Desimone & Duncan, 1995; Miller & Cohen, 2001; Posner, & Petersen, 1989). 따라서 인지통제기능의 대뇌기전에 대한 선행연구들은 전전두피질이 포함된 전두영역의 역할에 초점을 맞추고 있다(Aron, Robbins, & Poldrack, 2014; Paxton, Barch, Racine, & Braver, 2008; Ridderinkhof & Ullsperger, 2004).

초기 신경심리학자들은 전두엽 손상환자들의 사례를 통해서 인지통제 능력이 전두영역에 바탕을 두고 있다는 사실을 보고하였다(D'Esposito, Postle, & Rypma, 2006; Shallice, Burgess, & Robertson, 1996). Drewe(1975)는 뇌 손상환자들 중 전두엽에 병변이 있는 환자와 전두엽 이외의 영역에 병변이 있는 환자를 대상으로 반응 억제 과제인 Go/NoGo 과제를 실시하였다. 전두영역에 병변이 있는 환자의 경우, NoGo 시행에서 오공정 반응 비율은 전두엽 이외의 영역에 병변을 가진 환자들보다 훨씬 높게 나타났다. 이는 반응 억제 과제에서 전두엽이 주요한 역할을 하고 있음을 시사한다. 또한 국지적 뇌 손상 환자를 대상으로 한 연구에서는 반응 억제 과제에서 전두영역 중 우측 하전두 피질(inferior frontal cortex)의 역할이 중요하다는 사실이 드러났다(Aron, Robbins, & Poldrack, 2004).

최근 기능적 자기공명영상을 활용한 연구결과들도 인지통제 기능이 전두영역에 기반하고 있다는 선행연구 결과를 지지하였다. 배외측 전전두 피질(ventrolateral prefrontal cortex), 배측 전대상 피질(dorsal anterior cingulate cortex) 및 내측 전두피질(medial frontal cortex) 영역이 인지통제 기능에 기여하는 것으로 밝혀졌다(MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2000). 특히 억제 및 주의통제 과정에서 우측 하전두 회(inferior frontal gyrus)의 역할이 중요한 것으로 밝혀졌다(Hampshire, Chamberlain, Monti, Duncan, & Owen, 2010).

## 2.2 노화에 따른 뇌 변화와 인지통제 기능

노화에 따른 뇌 구조 변화는 인지통제 기능저하의 원인 중 하나로 여겨진다(Nordahl et al., 2006). 이 때 뇌 구조적 변화는 회질 및 백질의 감소와 백질의 온전성 저하와 같은 형태로 발생한다(Raz et al., 2005). 노년기에 흔히 관찰되는 뇌 구조 변화로는 백질병변이 있는데, 인지통제기능에 관여하는 것으로 알려진 전두엽은 다른 영역보다 혈관질환에 영향을 많이 받음에 따라 백질병변에도 특히 취약한 것으로 드러났다(Chen et al., 2016). 백질병변은 신경다발의 경화(sclerosis), 탈수초화(demyelination), 소혈관 병변 및 경색의 결과로 알려져 있다. 백질병변은 인지장애가 없는 노인에게서도 흔히 관찰되는 현상으로(Dufouil, Alperovitch, Ducros, & Tzourio, 2003; Wen & Sachdev, 2004), 노년기에 발생하는 집행기능 및 처리 속도 감소의 기전으로 제시되어왔다(Van den Heuvel et al., 2005; Gunning-Dixon & Raz, 2000).

노년기 뇌의 기능적 변화 또한 인지통제 기능의 저하와 관련된 것으로 알려져 있다(Nielson, Langenecker, & Garavan, 2002). 기능적 자기공명영상(functional Magnetic Resonance Image; fMRI) 기법은 뇌 기능적 활동을 측정하기 위해 널리 쓰이는 도구이다. 뇌 기능적 활동의 측정치인 혈류역학반응(hemodynamic response)은 노년기에 발생하는 뇌혈관 변화를 반영하며, 뇌 구조적 변화에 수반하는 기능적 변화를 측정하는 지표이다(D'Esposito, Zarahn, Aguirre, & Rypma, 1998). 노년기에 발

생하는 뇌 기능적 변화는 크게 두 가지로 구분 가능한데, 이는 뇌 기능적 활성화 크기 변화와 신경회로의 재구성(reorganization)이다(Nielson, Langenecker, & Garavan, 2002). 같은 과제를 할 때 노인들은 젊은 성인과 비교하여 더 큰 뇌 활성화 수준을 많이 보이는 것으로 알려져 있는데(Rosen et al., 2002), 이는 젊은 성인 보다 더 많은 뇌 영역을 사용하여 젊은 성인 수준의 인지기능을 유지하고자 하는 전략을 취하는 것으로 이해되고 있다(Reuter-Lorenz et al., 2000). 인지통제과제에서도 이러한 현상이 관찰되었는데, 노인들의 경우 과제 수행 중에 젊은 성인에 비해서 하두정회(inferior parietal lobule), 중전두회(middle frontal gyrus)와 같이 인지통제에 관여하는 것으로 알려진 영역에서 더 큰 활성화가 관찰되었다(김호영, 2012). 하지만 더 큰 활성화가 노년기에 나타나는 뇌 기능의 탈분화(dedifferentiation)를 반영한다는 주장도 있다. 이는 노화가 진행됨에 따라 특정기능에 특화되어 있는 신경기제를 사용하지 못하게 되어서, 보다 확산적인 양상으로 뇌 기능 활성화가 나타나는 것이다(Dennis & Cabeza, 2011; Park & Reuter-Lorenz, 2009). 두 관점 중 어느 하나가 옳다고 단정 짓기 어렵지만, 노년기에 나타나는 뇌 기능적 활성화의 변화는 인지기능의 감퇴와 긴밀한 관계를 가지는 것은 여러 연구에서 확인되고 있다.

## 제 3 절 인지통제 기능의 측정

### 3.1 개인 내 반응속도 변산성

인지과제에서 측정된 반응속도와 정답률은 개인의 수행을 반영하는 지표로서 실험심리학에서 널리 사용된다. 이로부터 도출된 개인 내 반응속도 변산성 지표는 인지과제의 전체 시행동안 개인이 나타낸 반응속도의 비일관성 정도를 지칭한다. 여러 번의 시행에 걸쳐 같은 과제를 할 때, 빠르기에 관계없이 일관된 반응속도를 보이는 경우 개인 내 반응속도 변산성이 작다고 말한다. 반면 개인의 반응속도가 시행에 따라서 빨라졌다가 느려졌다가 하는 것과 같이 들쭉날쭉한 양상을 보이는 경우 개인 내 반응속도 변산성이 큰 것으로 간주한다. 개인 내 반응속도 변산

성은 노화에 따라 커지는 행동지표로서 노화양상을 추적한 연구에서 주목받기 시작하였다. 개인 내 반응속도 변산성의 크기는 전생애에 걸쳐 변화하는 것으로 알려져 있다(MacDonald, Nyberg, & Bäckman, 2006). 생애 초기부터 10대 후반까지 개인 내 반응속도의 변산성은 가파르게 감소하여 안정적인 형태를 보이지만, 약 60대 이후부터 급격히 증가하기 시작한다.

행동의 관점에서 개인 내 반응속도 변산성은 기존의 평균 반응속도에서는 드러나지 않는 반응특성을 반영한다는 점에서 주목받아왔다(Ratcliff, 1993; Whelan, 2008). 실제로 모든 시행을 평균 내 반응속도가 같은 경우에도 시행 간 반응속도의 변산성의 정도는 다를 수 있다는 사실은 이를 뒷받침 한다. 변산성으로 나타나는 개인의 행동특성을 포착하기 위해 Stuss 등(2003)은 개인 내 반응속도 변산성을 측정하는 Intra-Individual Coefficient of Variation (ICV)를 고안하였다. ICV는 인지과제에서 각 조건의 시행에 걸친 반응속도의 표준편차를 구한 후, 각 조건의 평균 반응속도로 나누어주는 방식으로 계산한다. 변산성을 나타내는 표준편차를 개인의 평균으로 반응속도로 나누어 주는 것은 개인의 느린 반응속도 그 자체가 변산성의 크기에 영향을 미칠 수 있음을 고려한 형태이다. 개인 내 반응속도 변산성 지표는 다양한 인지과제를 활용해 측정할 수 있다. 선행연구에서는 주로 인지통제와 같이 하향통제 기능을 요구하는 과제에서 측정되었다(Bellgrove, Hester, & Garavan, 2004; Johnson et al., 2015; MacDonald et al., 2012). 그 결과, 하향통제의 요구가 커질수록 개인의 반응속도 변산성이 증가되는 것으로 나타났다(West, Murphy, Armilio, Craik, & Stuss, 2002).

노년기에 나타나는 반응속도 변산 증가는 도파민 감소와 같은 신경학적 문제(MacDonald, Karlsson, Rieckmann, Nyberg, & Bäckman, 2012; MacDonald, Nyberg, Sandblom, Fischer, & Bäckman, 2008; Rieckmann et al., 2011) 및 전두엽 손상(Stuss, Murphy, Binns, & Alexander, 2003)과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 노인들에게서 관찰되는 전두영역의 백질병변도 반응속도의 변산성 증가와 관련이 있는 것

으로 나타났다(Bunce et al., 2007). 또한 증가된 개인 내 반응속도 변산성은 인지노화가 몇 년 후에 경도인지장애 및 치매로 이어지는지 여부와 같은 향후 인지노화 양상을 예측하는 것으로 알려져 있다(Bielak, Hultsch, Strauss, MacDonald, & Hunter, 2010; MacDonald et al., 2003). 이러한 발견들은 개인 내 반응속도 변산성이 노년기에 발생하는 신경학적 문제를 반영하는 행동지표라는 주장을 뒷받침 하였다.

### 3.2 조건 간 반응속도 차이

인지 통제 기능을 측정하는 과제에서 수행수준을 평가하기 위한 지표 중 하나는 조건 간 반응속도 차이 값이다. 조건 간 반응속도 차이를 측정하기 위해서는 한 과제에 실험조건과 통제조건이 모두 필요하다. 실험조건은 측정하고자 하는 인지적 과정이 포함되어있는 조건이다. 반면에 통제조건은 특정한 인지능력은 요구하지 않지만, 실험조건에 상응하는 단순한 운동반응이 요구된다. 두 조건에서 측정된 반응속도의 차이를 계산하여 개인의 수행수준을 나타내는 지표로 사용한다. 두 조건 간 반응속도 차이 값은 작을수록 성공적인 수행을 나타낸다. 실험조건에서 추가적으로 발생한 인지부하(cognitive load)량이 반응속도를 크게 증가시키지 않았음을 시사하기 때문이다. 조건 간 반응속도 차이는 신경심리 평가에서도 널리 사용되고 있다. 인지통제기능을 측정하는 신경심리평가 도구 중 하나인 Stroop-색상 단어 검사(Stroop, 1935)의 경우 성공적 인지통제기능을 평가하는 지표로서 조건 간 반응속도 차이를 사용하고 있다.

조건 간 반응속도 차이를 분석하는 것은 Sternberg(1969)의 가산성 방법(Sternberg's additive factor method)에 기반하고 있는 방식이다. 방해자극에 의한 간섭해소를 요구하는 과제에서 개인의 반응속도를 측정했을 때, 간섭해소에 걸린 시간과 응답을 위해 손가락을 움직이는 등 운동과정에 걸린 시간은 독립적으로 관찰하기 어렵다. 과제에서 발생한 인지적 과정의 산물이 운동반응을 통해서 나타나기 때문이다. 따라서 Sternberg는 측정하고자 하는 인지적 과정이 포함된 실험조건과 특정한

인지능력은 요구하지 않지만 실험조건에 상응하는 운동반응이 포함된 통제조건을 실시하고, 두 조건 간 반응속도의 차이를 관찰하는 것을 통해 연구자가 관심을 가지고 있는 인지과정이 아닌 개인의 기저 처리속도 및 운동반응 속도 등이 제거될 수 있다고 주장하였다. 이를 바탕으로 Stoop 색상-단어 검사 뿐 아니라 길 만들기 검사 (Trail making test; TMT) 등 인지통제 기능을 측정하는 대표적인 신경심리평가 도구들은 두 가지 조건의 반응속도를 활용한 소거법을 바탕으로 인지통제과제의 성공적 수행 정도를 측정하고 있다. 그러나 두 조건에서 걸린 수행시간을 비교하기 위해서는 각 조건에서 발생한 반응속도를 평균화하기 때문에, 평균화 과정에서 개인 내 반응속도 변산성과 같은 개인차가 희석될 수 있다는 한계점을 지니고 있다.

## 제 4절 연구목적

본 연구에서는 인지통제 과제에서 측정된 개인 내 반응속도 변산성과 관련된 뇌 기능적 특성을 탐색하고자 하였다. 선행연구에서는 노화에 따른 개인 내 반응속도 변산성의 증가가 의미하는 바를 밝히려는 다양한 시도가 있었다. 이에 따라 개인 내 반응속도의 변산성이 전두엽의 백질병변 증가와 관련 있다는 점이 드러났으며, 반응속도의 변산성이 노화의 양상을 예측하는 지표로서 몇 년 후에 경도인지장애 또는 치매로 전환되는지 여부를 예측할 수 있다는 사실이 밝혀졌다. 이러한 결과를 바탕으로 반응속도 변산성은 인지노화의 중요한 측정치로서 주목받기 시작하였다. 그러나 선행연구에서는 개인 내 반응속도 변산성의 신경학적 기전으로 뇌의 지엽적 손상이나, 백질변화와 같은 뇌의 구조적 측면에만 초점을 맞춰왔다는 한계점을 가지고 있다. 또한 반응속도의 변산성이 큰 노인이 인지과제를 하는 동안에 보이는 뇌 기능적 활동 양상을 직접 관찰한 연구가 부족하다는 한계를 가진다. 이러한 한계점을 바탕으로 본 연구는 기능적 자기공명영상 기법을 활용하여 다음과 같이 개인 내 반응속도 변산성의 신경학적 기전을 밝히고자 하였다.

첫째, 선행 연구들은 인지통제 능력을 요구하는 과제에서 개인

내 반응속도 변산성을 측정해온 바 있다. 본 연구는 이로부터 나아가, 건강한 노인이 인지통제 과제를 수행하는 동안에 관찰된 뇌 기능적 활성화 양상이 개인의 반응속도 변산성과 어떤 상관을 가지는지 알아보는 것을 목적으로 하였다.

둘째, 개인 내 반응속도 변산성이 가지는 신경학적 특성을 보다 명확히 하기 위해, 본 연구는 일반적으로 인지통제 과제의 성공적 수행 정도를 측정하기 위해 사용되는 조건 간 반응속도차이가 바탕을 둔 뇌 기능적 활성화를 함께 탐색하였다. 조건 간 반응속도 차이는 성공적인 인지통제 여부를 나타내는 대표적인 측정치이기 때문에, 비교 분석을 통하여 반응속도 변산성의 특성을 밝히는데 도움이 될 것으로 사료되었다. 나아가 두 개의 지표를 함께 활용하여 개인 내 반응속도 변산성의 크기에 따라 조건 간 반응속도 차이로 측정된 성공적 수행과 관련 있는 뇌 기능적 활성화에 차이가 있는지 살펴보고자 하였다.

마지막으로, 두 지표는 형태는 다르지만 인지통제 기능을 요구하는 하나의 과제에서 측정되었다. 따라서 두 지표에는 개인의 인지통제 능력이 일부 반영되었을 가능성이 높다. 이를 바탕으로 두 가지 지표가 가지는 신경심리적 특성을 확인하고자 인지통제 기능을 측정하는 신경심리측정치들과의 상관관계를 탐색하고자 하였다.

본 연구의 가설은 다음과 같다. 첫째, 개인 내 반응속도 변산성 지표와 조건 간 반응속도 차이 지표는 각각 다른 뇌 영역의 기능적 활성화에 바탕을 두고 있을 것이다. 둘째, 개인 내 반응속도 변산성 지표와 조건 간 반응속도 차이 지표는 인지통제 기능을 측정하는 신경심리 측정치(Stroop 색상-단어 검사 및 길 만들기 검사)와 정적 상관관계를 나타낼 것이다.



## 제 2 장 방 법

### 제 1 절 참가자

본 연구의 참가자는 ‘한국인의 사회적 삶, 건강한 노화에 대한 조사(Korean Social life, Health, and Aging Project; KSHAP)’를 통해 모집되었다. 만 60세 이상의 노인 중 연구 참여를 희망했던 지원자들을 대상으로 선별을 실시하였다. 선별은 두 단계에 걸쳐 진행되었으며 각각 신경심리검사 단계 및 기능적 자기공명영상 촬영단계에서 실시되었다. 신경심리검사 단계에서 선별은 Christensen, Multhaup, Nordstrom, & Voss(1991)가 제안한 내용에 따라 다음과 같은 기준으로 건강문제가 없는 노인을 선별하였다. 1) 신경/정신과적 장애의 병력이 있는 자, 2) 두 부 외상으로 인해 1시간 이상의 의식 상실을 경험했거나, 뇌수술과 같은 신경 외과적 병력이 있는 자, 3) 약물로 조절이 되지 않는 심한 당뇨와 고혈압 병력이 있는 자, 4) 시각 및 청각의 문제가 있는 자.

신경심리검사를 완료한 참가자 중 인지장애 여부를 알아보기 위해 한국판 치매 평가 검사(최진영, 2011)와 노인 기억장애 검사(최진영, 2006)에서 경계선(누적 백분율 15%) 이하의 수행을 보인 노인을 대상으로 본인 및 보호자 면담이 실시되었다. 면담을 통해 최근에 기억기능을 포함한 인지기능의 감퇴가 발생하였는지 확인하였다. 확인된 기능의 감퇴가 신경심리검사 수행과 일치하는 경우, 인지장애를 보이는 참가자로 분류되어 연구에서 배제되었다. 위와 같은 과정을 통해 선별된 참가자 중 다음 자기공명영상 촬영 배제기준에 해당되지 않는 참가자들이 실험에 참여하였다. 1) 자기공명영상 촬영 시 안전문제 및 신호오염을 발생시킬 수 있는 금속 물질, 전자 장치, 다수의 임플란트가 체내에 삽입되어 탈부착이 불가능한 경우, 2) 왼손 및 양손잡이인 자, 3) 자기공명영상에서 뇌혈관 질환, 뇌경색, 뇌종양 등의 영상 의학적 문제가 발견된 자.

74명의 노인이 실험참여 및 자기공명 영상 촬영을 완료하였다. 그 중 자기공명 영상 촬영 중 머리를 크게 움직이거나, 기술적 문제로

인해 신호를 분석할 수 없게 된 참가자 7명이 배제되었다. 자기공명영상 촬영 이후 뇌 질환판독을 받은 2명의 참가자가 배제되었다. 마지막으로 본 실험에서 과제의 두 조건 (일치 조건 및 불일치 조건) 중 어느 한 조건에서 75% 이하의 정답률을 보인 13 명의 참가자들이 최종 분석에서 배제되었다. 일치조건의 경우 75% 이하의 정답률을 나타낸 참가자들은 하위 4.6%tile에 해당하였으며, 불일치 조건의 경우 하위 21.5%tile에 해당하였다. 본 연구의 분석에서는 반응속도를 주요한 측정치로 고려하고 있기 때문에 반응속도와 상호보완적(trade-off)관계를 가지는 정답률을 일정 수준 이상으로 제한하였다. 본 과제는 난이도가 높지 않은 것으로 알려져 있으며, 선행연구에서도 젊은 성인 및 노인에게 모두 90% 이상의 정답률을 나타낸 바 있다(MacDonald et al., 2012). 본 연구에서는 참가자들의 평균 수행을 고려하여 정답률 75% 이상을 분석에 포함하는 것으로 결정하였는데, 이 기준에 따라 배제된 참가자들의 경우 과제가 끝날 때까지 과제의 규칙을 이해하지 못하였거나 반응속도가 너무 느려서 제한된 시간 안에 반응에 실패한 경우가 포함되었다. 52명의 참가자가 최종 분석에 포함되었다. 20명의 남성노인과 32명의 여성 노인으로 구성되었으며, 평균 연령은 70.67세(표준편차 = 6.43), 교육연한은 7.04년(표준편차 = 3.37), 그리고 MMSE 평균은 27점(표준편차 = 2.42) 이었다.

본 연구는 연세대학교 생명윤리심의 위원회의 심의를 거쳐 수행되었으며, 연구의 모든 절차는 실시 이전에 연구 참여자에게 안내하였다. 참여자 본인이 동의서에 서명하는 것을 통해 연구 참여에 대한 자발적 의사를 밝혔다.

## 제 2 절 측정도구

### 2.1 신경심리평가

Stroop 색상-단어검사(Korean-Color Word Stroop Test-60; K-CWST-60, 강연욱, 장승민, 나덕렬, 2012; Golden, & Freshwater, 1978): Stroop 색상-단어 검사는 목표로 하는 반응을 하기 위해 습관적이고 자동화된 반응을 억제할 수 있는 능력, 즉 인지통제 능력을 평가하

는 도구 중 하나이다(Strauss, Sherman, & Spreen, 2006). 이 검사는 단어읽기, 색상명명, 그리고 색상-단어 간섭과제로 구성되어있다. 단어읽기 과제에서는 검정색으로 인쇄되어 있는 색상을 지칭하는 단어들(예: 빨강, 초록, 파랑)을 빠르고 정확하게 읽을 것을 요구하여 주의력과 읽기 속도를 측정한다. 색상명명 과제에서는 각각 다른 색으로 인쇄되어 있는 'XXXX'의 색을 명명해야 한다. 이는 처리속도와 함께, 색상 명명능력을 측정한다. 색상-단어 간섭과제에서는 색상을 지칭하는 단어가 색상의 의미와 불일치하는 색으로 인쇄되어 있다. 이 때 단어의 의미가 아닌 단어가 인쇄되어 있는 색상을 명명할 것이 요구된다. 글자를 보았을 때 읽는 행동은 자동적인 반응이다. 따라서 단어의 의미를 무시하고 인쇄된 색상을 명명하기 위해서는 글자읽기와 같은 자동적 반응을 억제할 수 있는 능력이 요구된다.

길 만들기 검사(Trail Making Test; TMT; 박미선&최진영, 2003)는 TMTa, TMTb, TMTc 로 구성되어있다. TMTa는 동그라미 안에 들어있는 연속된 숫자(예: ①, ②, ③)가 무선적으로 종이에 제시된 형태이다. 연구 참가자는 작은 숫자부터 큰 숫자의 순서대로 각 동그라미를 가능한 빠르게 연결 할 것을 지시받는다. TMTb는 네모와 세모가 종이에 무선적으로 제시되는데, 네모와 세모를 번갈아가면서 가능한 빠르게 연결할 것을 지시 받는다. 마지막으로 TMTc는 두 가지 규칙에 따라 연결 해야 하는데, 첫 째는 숫자와 도형을 번갈아 가면서 연결하는 것이고 둘째는 숫자의 경우 작은 숫자부터 큰 숫자 순서대로, 도형의 경우 세모 네모를 번갈아 가면서 잇는 것이다(예: ① - △ - ② - □ - ③ - △). TMTa와 TMTb는 처리속도를 측정하기 위해서 사용되며, TMTc 는 처리속도 이외에 변하는 규칙에 따라 유연하게 반응 할 수 있는 능력 및 연속되는 숫자를 연결하려는 경향과 같은 우세한 반응을 억제 할 수 있는 능력을 측정한다.

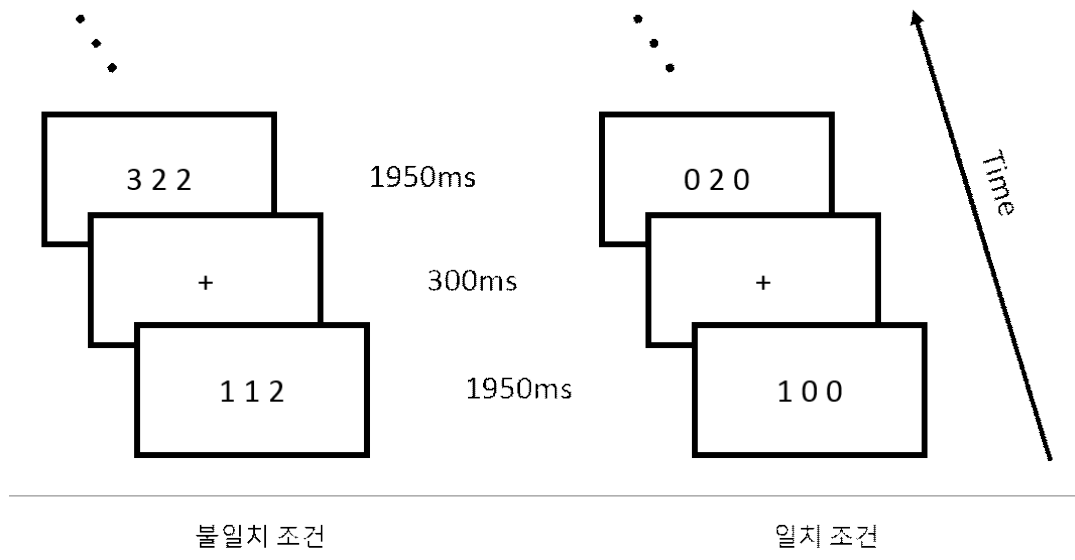


그림1. 다중간섭과제의 시행 예시

주. 불일치 조건과 일치조건 모두 각 시행의 자극 제시 시간은 1950ms, 자극 간 간격은 300ms, 시행 간 간격은 2250ms.

## 2.2 실험과제

다중간섭과제(Multi-Source Interference Task; MSIT(Bush, Shin, Holmes, Rosen, & Vogt, 2003; Bush & Shin, 2006): 다중간섭과제는 Bush, Shin, Rosen, & Vogt (2003)이 개발한 인지통제 능력을 요구하는 과제이다. 청소년에서 노인에 이르기까지 다양한 연령대에서 실시되었으며(Kim, Chey, & Lee, in press; Dwyer et al., 2014; 김호영, 2012), 주의력결핍 과잉 행동장애를 포함하는 다양한 임상집단에서도 인지통제능력을 안정적으로 측정하는 것으로 알려져 있다(Bush et al., 2008). 다중간섭과제는 Erikson Flanker, Stroop, Simon 효과로 구성된 간섭요소를 포함하고 있는 불일치 조건과 간섭을 포함하지 않는 일치 조건으로 구성되어 있다. 그림1과 같이 화면에 제시되는 세 개의 숫자 중 다른 하나를 찾아서 빠르고 정확하게 누를 것이 요구된다. 응답을 위해서는 버튼박스를 사용해서 오른손으로 반응하도록 지시하였다. 이 때 버

튼박스에 있는 버튼은 순서대로 각각 숫자 1, 2, 3을 나타내고, 각 숫자를 오른손의 검지, 중지, 약지로 누르도록 하였다. 불일치 조건에서는 그림1의 왼쪽과 같이 다른 하나의 숫자가 제시되는 위치가 반응해야 하는 손가락의 위치와 불일치하고(Simon 효과), 정답 숫자 주변에 간섭을 유발하는 방해자극(숫자 1, 2, 3)이 제시 된다(Flanker 효과). 불일치 조건에서는 간섭요소로 인해 정답 반응을 위해 인지통제 능력이 요구되는 반면에, 그림1의 오른쪽과 같이 일치조건에서는 세 개의 숫자 중 정답 숫자의 위치가 버튼에서 손가락의 위치와 일치하며, 정답 주변에 간섭을 유발하는 다른 숫자 대신 0이 제시된다.

### 2.3 기능적 자기공명 영상

기능적 자기공명영상 기법은 뇌 신경세포 활동의 증가에 따른 혈류 및 산소 증가를 바탕으로 뇌 영역의 기능적 활동을 포착하는 뇌 영상 기법이다. 기능적 자기공명영상 기법은 인지신경과학 분야에서 인간 행동의 신경학적 기전을 탐색하는 방법론으로서 널리 쓰이고 있다 (D'Esposito, Zarahn, & Aguirre, 1999). 따라서 인지통제 시에 발생하는 뇌 기능적 활성화를 포착하기 위한 도구로서 연구 참여자가 다중간섭과제를 실시하는 동안 기능적 자기공명영상을 획득하였다.

뇌 영상은 3 Tesla 자기공명 영상 장비(MAGNETOM Trio; Simense, Germany)를 이용하여 획득하였다. 기계의 소음에 의한 불편감을 최소화하기 위해 참여자들에게 스펀지로 된 일회용 귀마개를 착용하도록 하였다. 바르게 누운 상태에서 헤드 코일에 머리를 고정된 후, 머리 움직임을 최소화하기 위해 머리 주변에 스펀지를 끼워 머리를 고정하였다. 기능적 자기공명영상 촬영 전에 전체 뇌의 해부학적 구조영상을 획득하기 위해서 T1 강조 경사자장 영상을 획득하였다(MPRAGE, repetition time; TR=2300ms, echo time; TE=2.3ms, field of view; FOV=256x256mm, flip angle;FA=9°). T1 강조영상을 통해 뇌의 구조적 이상이 없는지 확인한 후, 기능적 자기공명영상에서 대뇌 전체가 포함되도록 범위를 조정하였다. 기능적 자기공명영상은 T2\*-강조 경사자장

eco-planar imaging (EPI) 펄스열을 사용하였다. 파라미터는 다음과 같았다. TR=2250ms, TE=30ms, FOV=240x240mm, FA=79°, voxel size=3x3x3mm, gap 1mm, 224 sagittal slices. 기능적 자기공명 영상은 과제 1회기 당 166장을 획득하였고, 총 498장의 기능적 자기공명영상을 획득하였다.

### 제 3 절 절차

다중간섭과제를 이용한 실험절차는 연습시행과 본 실험으로 구성되었다. 연습시행은 자기공명영상 스캐너에 들어가기 전에 실시되었다. 실험자는 지시문을 통해 과제의 규칙에 대해 연구 참여자에게 설명하였다. 이어서 연구 참여자는 일치조건과 불일치조건이 각각 12시행으로 구성된 연습 과제를 하였다. 연습 시행은 지시문에 대한 이해 정도와 반응 방식에 대한 숙련도에 따라서 1-3회까지 반복하였다.

본 실험에서 연구 참여자는 자기공명영상 스캐너에 누운 상태로 헤드코일에 부착된 거울을 통해 자극이 제시되는 화면을 응시한 채 오른손에 쥐고 있는 버튼을 사용하여 과제를 하였다. 자기공명영상을 촬영하는 동안 연구 참여자는 총 3회기의 다중간섭과제를 실시하였다. 다중간섭과제의 한 회기는 18초의 초점응시 화면으로 시작하고, 총 6개의 블록으로 구성되어 있다. 각 블록은 12시행의 불일치조건과 12시행의 일치조건으로 구성되어있다. 6블록이 끝난 후 18초의 초점응시 화면이 끝나면 하나의 회기가 끝나게 된다. 한 회기는 약 6분이 소요되며, 총 약 18분간 3회기를 실시하였다. 불일치 조건과 일치 조건 각각 216시행 씩, 참여자들은 총 432시행의 다중간섭과제를 실시하였다.

기본적인 실험 절차는 Bush 등 (2006)을 따랐지만, 본 실험에서는 노인들의 반응속도를 고려하여 자극 제시시간을 1750ms에서 1950ms로 늘렸고, 자극 간 간격(inter-trial interval)은 300ms로 설정하여 매 2250ms 마다 새로운 시행이 제시되었다. 실험과제의 제작 및 자료 수집을 위해 Eprime 1.1 (Psychology Software Tools; Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002)을 사용하였다.

## 제 4 절 분석

### 4.1 행동자료

Stroop 색상-단어검사(K-CWST-60: 강연욱, 장승민, 나덕렬, 2012; Golden, 1978) 단어읽기, 색상명명, 색상-단어 간섭과제에서 제한 시간 60초 동안 읽은 단어의 개수로 수행을 측정하였다. 길 만들기 검사(Trail Making Test; TMT, 박미선&최진영, 2003)는 각 조건 TMTa, TMTb, TMTc에서 걸린 시간을 통해 수행을 측정하였다. 다중간섭과제는 각 시행의 반응속도 및 정답반응 여부를 측정하였다. 본 연구에서는 반응속도를 기반으로 하는 행동지표 분석을 목적으로 하였기 때문에 오답시행은 분석에 포함되지 않았다. 또한 300ms 보다 빠른 반응 속도를 나타낸 시행은 선행하는 시행에 대한 반응으로 간주하여 분석에서 제외되었다.

### 4.2 다중간섭과제의 행동 지표

#### 가. 개인 내 반응속도 변산성

개인 내 반응속도 변산성은 간섭요소를 포함하는 불일치 조건을 바탕으로 계산되었다. 개인의 반응속도 표준편차(standard deviation; SD)를 평균 반응속도(mean reaction time; mean RT)로 나눠주는 방식으로 개인 내 반응속도 변산성을 계산하였다(1). 이는 개인의 느린 반응속도 그 자체가 표준편차를 크게 만들 수 있기 때문에, 반응속도가 변산성 지표에 영향을 미치는 것을 제거하기 위한 형태이다 (Stuss et al., 2003).

$$(1) \text{ 개인 내 반응속도 변산성 (불일치조건)} = \frac{SD_{\text{불일치조건}}}{\text{mean RT}_{\text{불일치조건}}}$$

#### 나. 조건 간 반응속도 차이

조건 간 반응속도 차이는 불일치 조건과 일치 조건에서 각 조건의 평균 반응속도(mean RT)를 구하고 그 차이 값을 계산하였다(2).

$$(2) \text{ 조건 간 반응속도 차이} = \text{mean}RT_{\text{불일치조건}} - \text{mean}RT_{\text{일치조건}}$$

### 4.3 행동수행 통계분석

다중간섭과제의 두 가지 행동지표가 인지통제 기능을 측정하는 신경심리평가인 Stroop 색상-단어 검사와 길 만들기 검사 (Trail making test)와 어떤 상관관계를 가지는지 살펴보기 위해 선형회귀분석을 실시하였다. 연령, 성별, 교육연한과 같이 인지수행에 영향을 미칠 수 있는 변수가 통제변수로 사용되었다.

### 4.4 뇌 영상 자료 분석

기능적 자기공명영상 자료의 전처리 및 분석은 Matlab 버전 r2015b (MathWorks)와 Statistical Parametric Mapping software (SPM12; Wellcome Department of Imaging Neuroscience, London, UK)를 사용하였다.

#### 뇌 영상 전처리

기능적 자기공명영상 자료는 다음과 같은 전처리 절차를 거쳐 통계적 분석이 가능한 형태로 만들어졌다. 1) 기능적 자기공명 영상 촬영 과정에서 발생한 참가자의 머리 움직임은 6개의 자유도를 가진 정합 (3-D rigid body registration) 으로 보정하였다. 2) 자기공명영상 획득 시 발생한 횡단면 영상간의 시간차를 보정하였다(slice timing correction). 3) 각 참여자의 기능적 영상은 표준화된 Montreal Neurological Institution (MNI) 형판으로 정상화 하는 방법으로 공간적 표준화 작업을 시행하였다. 통계적 모수 지도화 분석을 위한 자료의 전처리는 3x3x3 mm 크기의 부피소로 재추출 하였고, 표준공간으로 정상화된 기능적 영상은 모두 6mm FWHM Gaussian kernel로 신호를 편평화 하였다.

#### 행동지표와 뇌 기능 활성화 탐색을 위한 일반선형모형 분석

기능적 자기공명 영상으로 포착된 BOLD (blood oxygenation level dependent) 신호와 인지통제의 두 가지 행동지표(조건 간 반응속도



차이 및 개인 내 반응속도 변산성)의 관계를 살펴보기 위해 전처리를 마친 기능적 자기공명 영상은 다중간섭과제의 일치조건과 불일치 조건으로 구분되었다. 분석은 두 단계로 진행 되었는데, 개인이 불일치 조건의 과제를 수행하고 있을 때(불일치 조건의 활성화>일치조건의 활성화)의 기능적 활성화를 확인하기 위한 대비를 fixed-effect model을 사용하여 계산하였다(Friston, Jezzard, & Turner, 1994). 이렇게 계산된 개인의 대비 이미지(contrast image)를 사용하여 개인 간의 차이를 계산하기 위해 random-effect model을 사용하였다(Holmes, & Friston, 1998).

각 행동지표와 관계있는 뇌 기반(neural correlate)을 찾기 위해서 전체 뇌를 대상으로 분석(whole-brain analysis)을 실시하였다. 먼저 다중간섭과제를 하는 동안 활성화되는 뇌 영역을 확인하기 위해 일 표본 t 검증을 실시하였다. 불일치 조건과 일치 조건에서 나타난 활성화의 대비를 사용해서 통계적 모수추정 지도(statistical parametric map; SPM)를 만들었다. 이 통계적 모수추정 지도는 일치조건의 시행을 하고 있을 때에 비해서 불일치 조건시행에서 더 많이 활성화된 영역을 나타낸다(그림3;  $p < .001$ , FWE corrected).

불일치 조건에서 더 많이 활성화 된 영역을 찾은 후에, 각 행동지표가 기반하고 있는 뇌 영역과 활성화 수준을 탐색하기 위한 다중회귀 분석이 실시되었다. 첫 번째 회귀분석 모형에서는 조건 간 반응속도 차이가 연속변수로 투입되어 불일치 조건 시행 중에 있을 때 활성화되는 뇌 영역 중, 조건 간 반응속도 차이 지표와 관계있는 영역 및 영역의 활성화 강도를 탐색하였다. 두 번째 회귀 분석은 같은 절차를 개인 내 반응속도 변산성 지표를 사용하여 실시하였다. 마지막으로 조건 간 반응속도 차이 지표와 개인 내 반응속도 변산성 지표가 서로 독립적인 것이 아니라, 상호작용하는 관계 일 수 있다는 점을 고려한 분석을 실시하였다. 따라서 탐색적 분석으로 조건 간 반응속도 차이와 개인 내 반응속도 변산성 지표의 상호작용 항(조건 간 반응속도 차이 x 개인 내 반응속도 변산성)을 만들어서 회귀분석을 통해 상호작용항과 관련을 나타내는 뇌 영역 및 영역의 활성화 강도를 확인하고자 하였다.

### 통계적 추론을 위한 모수적 모의실험 (Alphasim)

조건 간 반응속도 차이, 개인 내 반응속도 변산성, 그리고 두 지표의 상호작용 효과와 관련 있는 뇌 활성화 및 강도를 탐색하는 각각의 회귀모형에서 회귀계수가 통계적으로 유의한지 여부를 결정하는 기준은 Alphasim (Song et al., 2011)을 활용한 모수적 모의실험 결과를 바탕으로 하였다. 그 결과 뇌 전체 분석(whole-brain analysis) 결과에서 개별 부피소의 보정 전 역치( $p$ -value)가 .005보다 작고 연결된 부피소의 개수 ( $k$ )가 조건 간 반응속도 차이 지표를 이용한 모델에서 188개, 개인 내 반응속도 변산성 지표를 활용한 모델에서 345개, 두 지표의 상호작용 효과를 탐색하는 모델에서 109개 보다 큰 덩이소(cluster)만을 통계적으로 유의미하다고 판단하였다. 이는 뇌 전체 수준에서 보정 후, 역치  $p < 0.05$ 에 해당하는 덩이소의 크기로, Alphasim의 몬테카를로 시뮬레이션 1,000회를 통해 도출하였다.

## 제 3 장 결 과

### 제 1 절 행동지표 분석

#### 1.1 연구 참가자의 인구통계학적 특징 및 인지통제기능 측정치

표1은 연구 참가자의 인구통계학적 특징 및 본 연구에서 사용된 인지통제 기능의 측정치의 평균 및 표준편차를 제시하고 있다. 20명의 남성노인과 32명의 여성노인이 참가하였으며, 평균연령은 70.67세(표준편차=6.43)였다. 평균 교육연한은 7.04년(표준편차=3.37)이었다.

표1. 인구통계학적 특성 및 인지통제기능 측정치

	평균	표준편차
성별 (남:20명, 여:32명)	-	-
연령	70.67	6.43
교육연한	7.04	3.37
Stroop 간섭지수	39.84	17.48
TMT 간섭지수	95.80	62.55
MSIT 조건 간 반응속도 차이	392.31	80.68
MSIT 개인 내 반응속도 변산성	0.21	0.03
MSIT 일치조건 정답률	0.98	0.03
MSIT 불일치조건 정답률	0.93	0.06

#### 1.2 다중간섭과제(MSIT) 행동지표의 기초통계 분석

그림 2는 연구 참가자들의 조건 간 반응속도 차이 및 개인 내 반응속도 변산성 지표의 분포를 나타내고 있다. 조건 간 반응속도 차이 지표의 평균은 392.31(표준편차=80.68)였으며, 개인 내 반응속도 변산성 지표의 평균은 0.21(표준편차=0.03)이었다. 표2는 다중간섭과제의 행동지표와 인구 통계학적 특성과의 상관관계를 밝히고 있다. 성별, 나이, 교육연한을 포함하는 인구통계학적 특성 중 교육연한과 다중간섭과제의 불일

치 조건의 정답률이 정적상관관계를 나타냈다( $r=0.29, p<.05$ ). 다중간섭 과제의 행동지표는 성별 및 나이와 유의한 상관관계를 나타내지 않았다.

### 1.3 신경심리평가와 다중간섭과제 행동지표와의 관계

표2는 본 연구에서 사용된 인지통제 기능 측정치들 간의 상관관계를 나타내고 있다. 조건 간 반응속도 차이( $r=-0.54, p<.001$ ) 및 개인 내 반응속도 변산성 지표( $r=-0.34, p<.05$ )는 불일치 조건의 정답률과 유의한 부적 상관을 나타냈다. Stroop-색상 단어 검사의 간섭지수는 불일치 조건의 정답률과 정적 상관을 나타냈다( $r=-0.32, p<.05$ ).

인지통제 기능을 측정하는 것으로 알려진 신경심리 평가 Stroop-색상 단어 검사 및 길 만들기 검사(trail making test)와 다중간섭 과제를 통해서 얻은 행동지표와의 상관관계는 다음과 같았다. 조건 간 반응속도 차이 지표를 사용해서 각각 Stroop-색상 단어 검사 및 길 만들기 검사의 간섭지수를 예측하였을 때 회귀계수는 유의하지 않았다 ( $p>.05$ ). 개인 내 반응속도 변산성 지표를 사용해서 각각 Stroop-색상 단어 검사 및 길 만들기 검사의 간섭지수를 예측하였을 때 회귀계수 또한 유의하지 않았다 ( $p>.05$ ). 개인 내 변산성 지표를 활용한 분석에서 회귀모형에 통제변수로 연령, 성별, 교육연한이 추가 되었을 때 Stroop-색상 단어 검사 간섭지수의 회귀계수가 유의하였다 ( $t=2.179, p<.05$ ).

표2. 인지통제 기능 측정치들 간의 상관관계

	평균(표준편차)	1	2	3	4	5	6
1 MSIT 조건간 반응속도 차이	392.31 (80.68)	1					
2 MSIT 개인 내 반응속도 변산성	0.21 (0.03)	0.241	1				
3 MSIT 일치조건 정답률	0.98 (0.03)	-0.048	-0.226	1			
4 MSIT 불일치 조건 정답률	0.93 (0.06)	-.536**	-.341*	.534**	1		
5 Stroop 간섭지수	39.84 (17.48)	0.008	0.166	-0.051	.315*	1	
6 TMT 간섭지수	95.80 (62.55)	0.136	0.117	0.063	-0.176	-0.110	1

주. \* $p < .05$ , \*\* $p < .001$

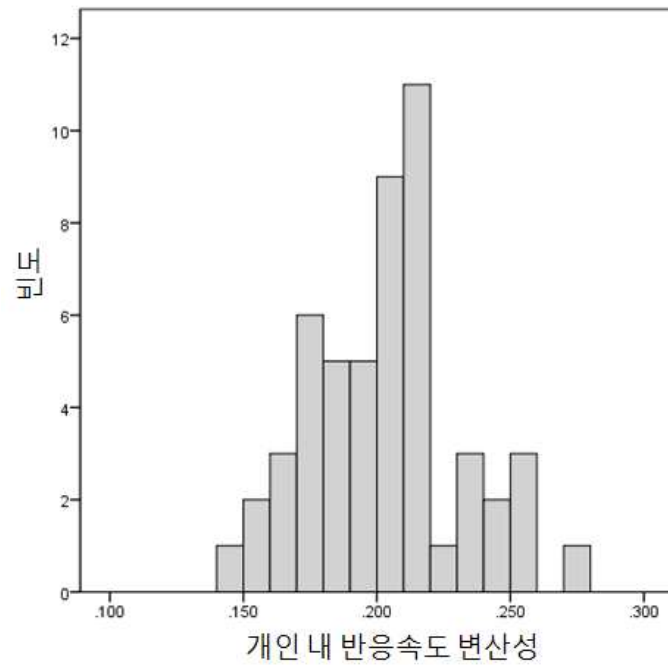
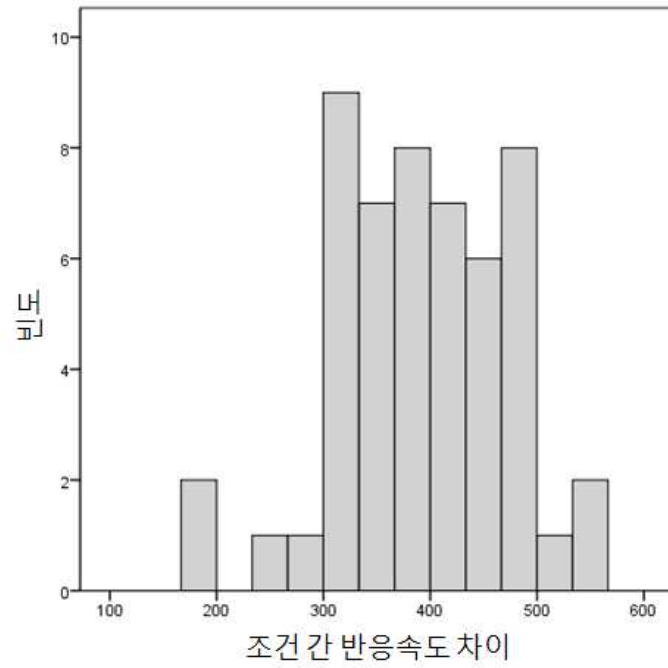


그림2. 다중간섭과제 행동수행 지표의 분포: 조건 간 반응속도 차이 (위)와 개인 내 반응속도 변산성 (아래)

표3. 다중간섭과제(MSIT)의 행동지표와 인구 통계학 특성 간 상관관계

	평균(표준편차)	1	2	3	4	5	6	7
1 성별 <sup>a</sup> (남:20 여:32)	-	1						
2 나이	70.67 (6.43)	0.259	1					
3 교육연한	7.04 (3.37)	.502**	-0.018	1				
4 MSIT 조건 간 반응속도 차이	392.31 (80.68)	-0.250	0.212	-0.197	1			
5 MSIT 개인 내 반응속도 변산성	0.21 (0.03)	-0.032	0.267	-0.252	0.241	1		
6 MSIT 일치조건 정답률	0.98 (0.03)	0.172	-0.024	0.146	-0.048	-0.226	1	
7 MSIT 불일치조건 정답률	0.93 (0.06)	0.233	-0.180	.291*	-.536**	-.341*	.534**	1

주. a. 성별변수는 Spearman 상관계수 표기. \* $p < .05$ , \*\* $p < .001$

## 제 2 절 뇌 기능 활성화 분석

### 2.1 다중간섭과제의 불일치 조건에 따른 뇌 활성화

다중간섭과제 불일치 조건 시행에서 일치조건의 시행보다 유의미하게 활성화가 증가 또는 감소한 일 표본 t 검증한 결과는 그림3, 표5와 같다. 활성화의 증가를 나타낸 영역은 인지통제 과제 시에 활성화 되는 것으로 알려진 좌측 창백핵(putamen), 시상(thalamus), 하전두회(inferior frontal gyrus), 중전두회(middle frontal gyrus), 중심전회(precentral gyrus), 우측 하두정소엽(inferior parietal lobule), 섬엽(insula lobe), 중전두회(middle frontal gyrus)로 나타났다. 일치 조건에 비하여 불일치 조건의 시행에서 활성화가 감소한 것으로 나타난 영역은 좌측 복내측전전두엽(ventromedial prefrontal cortex), 중안와회(mid orbital gyrus), 상내측전회(superior medial frontal gyrus), 중측두회(middle temporal gyrus), 우측 각회(angular gyrus), 후대상피질(posterior cingulate cortex)이었다.

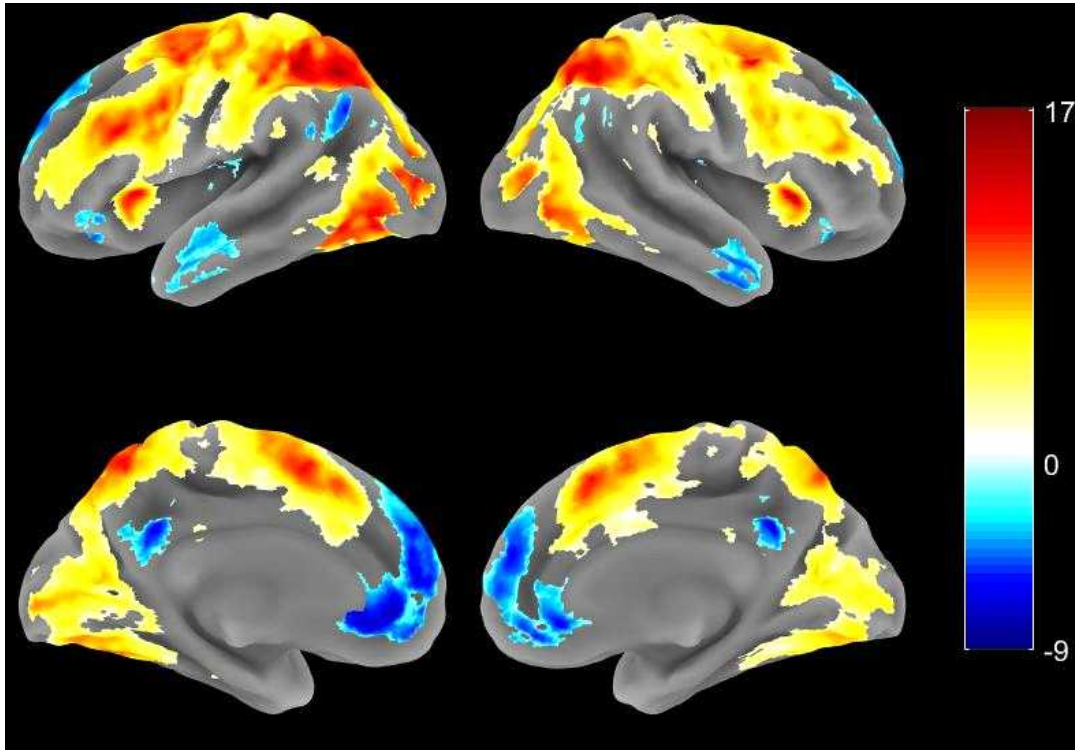


그림3. 불일치 조건 시행의 뇌 영역 활성화

주. 불일치조건>일치조건 FWE corrected ( $p<0.001$ )



표4. 불일치 조건 시행의 뇌 영역 활성화

영역	부피소 개수 (k)	반구	MNI 좌표			t 값
			x	y	z	
Positive activation						
Superior colliculus	1880	L	-6	-6	-28	17.41
*Putamen		L				
Thalamus		L	-18	-18	20	11.37
Inferior parietal lobule	24024	L	-28	-58	48	16.54
*Inferior frontal gyrus		L				
*Middle frontal gyrus		L				
*Precentral gyrus		L				
*Inferior parietal lobule		R				
Insula lobe	719	R	30	22	6	16.66
*Middle frontal gyrus						
Negative activation						
Ventromedial prefrontal cortex	685	L	-6	-6	-28	9.78
*Mid orbital gyrus		L				9.45
*Superior medial frontal gyrus		L	-18	-18	20	9.41
Middle temporal gyrus	74	L	-28	-58	48	9.42
*Angular gyrus		R				7.78
Posterior cingulate cortex	21	R	-2	10	54	7.95

주. \* 표시는 각 부피소 덩어리에 포함된 영역, L=좌반구, R=우반구, t-점수=신호가 최대인 좌표의 t-점수 (df=51).

## 2.2 조건간 반응속도 차이의 신경 상관자(neural correlates)

표5와 그림4는 다중간섭과제의 불일치 조건 시행 동안 활성화된 뇌 영역 중 조건 간 반응속도 차이 지표와 상관을 나타낸 영역이 제시되어있다. 좌측 중안와회(mid orbital gyrus), 연상회(supramarginal gyrus), 중측두회(middle temporal gyrus), 중심후회(postcentral gyrus), 우측 하전두회(inferior frontal gyrus), 섬엽(insula lobe), 양측 중전두회(middle frontal gyrus), 상전두회(superior frontal gyrus) 영역이 조건 간 반응속도 차이와 부적 상관을 나타내었다. 즉 이 영역들의 활성화 정도가 클수록 더 성공적인 인지통제 수행을 나타냈다.

표5. 조건 간 반응속도 차이 지표와 상관을 보인 뇌 영역

영역	부피소 개수 (k)	반구	MNI 좌표			z 값
			x	y	z	
Mid Orbital Gyrus	7250	L	-6	54	-8	4.79
*Inferior frontal gyrus		R				
*Insula lobe		R				
Middle Frontal Gyrus	878	L	-30	44	20	4.35
*Superior Frontal Gyrus		L				
Supramarginal Gyrus	800	L	-58	-24	46	4.21
*Middle Temporal Gyrus		L				
*Postcentral Gyrus		L				
Middle Frontal Gyrus	729	R	42	-6	60	4.18
*Superior Frontal Gyrus		R				

주. \* 표시는 각 부피소 덩어리에 포함된 영역

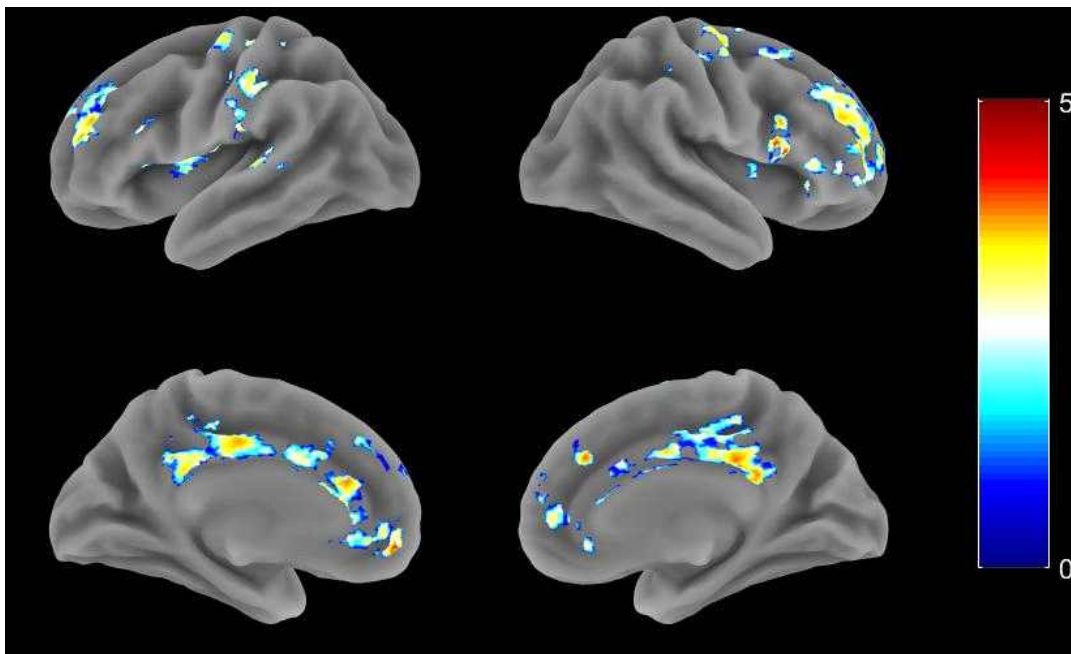


그림4. 조건간 반응속도 차이 지표와 상관을 보인 뇌 영역

### 2.3 개인 내 반응속도 변산성의 신경 상관자(neural correlates)

표6과 그림5는 다중간섭과제의 불일치 조건 시행 동안 활성화가 나타난 뇌 영역 중 개인 내 반응속도 변산성 지표와 상관을 나타낸 영역이다. 좌측 하전두회(infeior frontal gyrus) 영역이 개인 내 반응속도 변산성 지표와 정적상관을 나타냈다. 즉 좌측 하전두회의 활성화 수준이 클수록 개인 내 반응속도 변산성이 더 큰 것으로 나타났다.

표6. 개인 내 반응속도 변산성 지표와 상관을 보인 뇌 영역

영역	부피소 개수 (k)	반구	MNI 좌표			z 값
			x	y	z	
Inferior frontal gyrus	351	L	-44	34	18	3.65

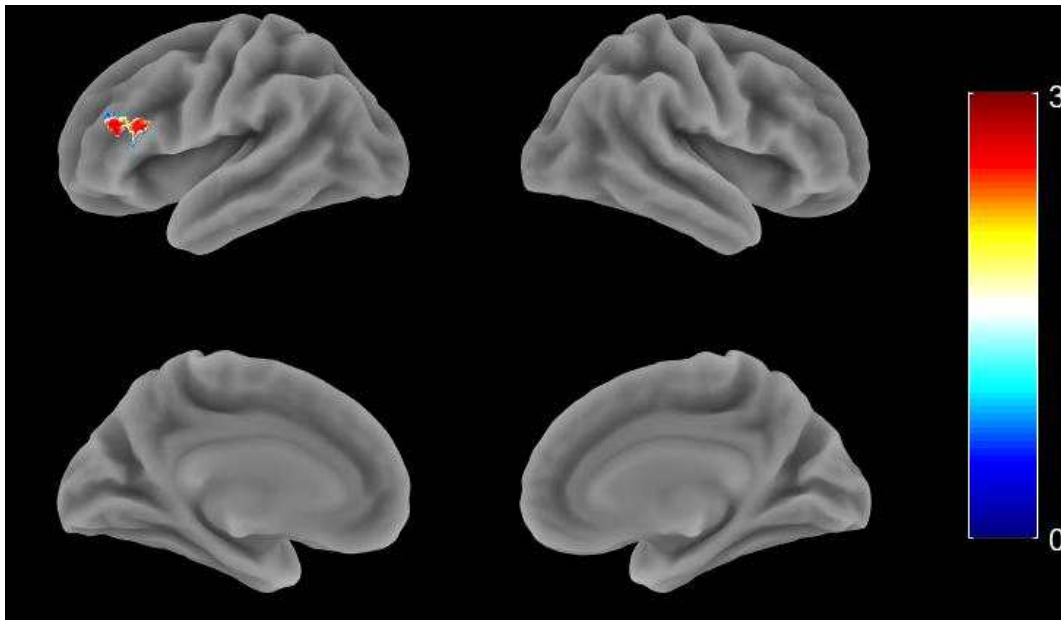


그림5. 개인 내 반응속도 변산성 지표와 상관을 보인 뇌 영역

## 2.4 조건 간 반응속도 차이와 개인 내 반응속도 변산성의 상호작용

표7과 그림6은 다중간섭과제의 불일치 조건 시행동안 활성화가 일어난 영역 중, 조건 간 반응속도 차이 지표와 개인 내 반응속도 변산성 지표의 상호작용이 유의하게 관찰된 영역이다. 배측 전대상피질(dorsal anterior cingulate cortex) 영역의 활성화 수준과 조건 간 반응속도 차이로 측정된 성공적인 인지통제 수준의 관계는 개인의 반응속도 변산성 정도에 따라 다르게 나타나는 것으로 볼 수 있다. 상호작용 효과의 패턴을 자세히 알아보기 위해 변산성이 큰 집단과 작은 집단을 나누어서 배측전대상피질 영역과 조건 간 반응속도 차이의 관계를 산점도로 나타냈다(그림7). 반응속도의 변산성이 큰 경우, 배측 전대상피질의 활성화 수준이 더 클수록 더 성공적인 인지통제 수행을 보이는 것으로 나타났다. 반면에 반응속도의 변산성이 작은 경우, 배측 전대상피질의 활성화 수준이 커지는 것은 더 저조한 인지통제 수행과 관련이 있었다.

표7. 두 지표(조건간 반응속도 차이와 개인 내 반응속도 변산성 지표)의 상호작용 효과가 유의한 것으로 관찰된 뇌 영역

영역	부피소 개수(k)	반구	MNI 좌표			
			x	y	z	z 값
Dorsal anterior cingulate cortex	472	R	12	16	38	4.74

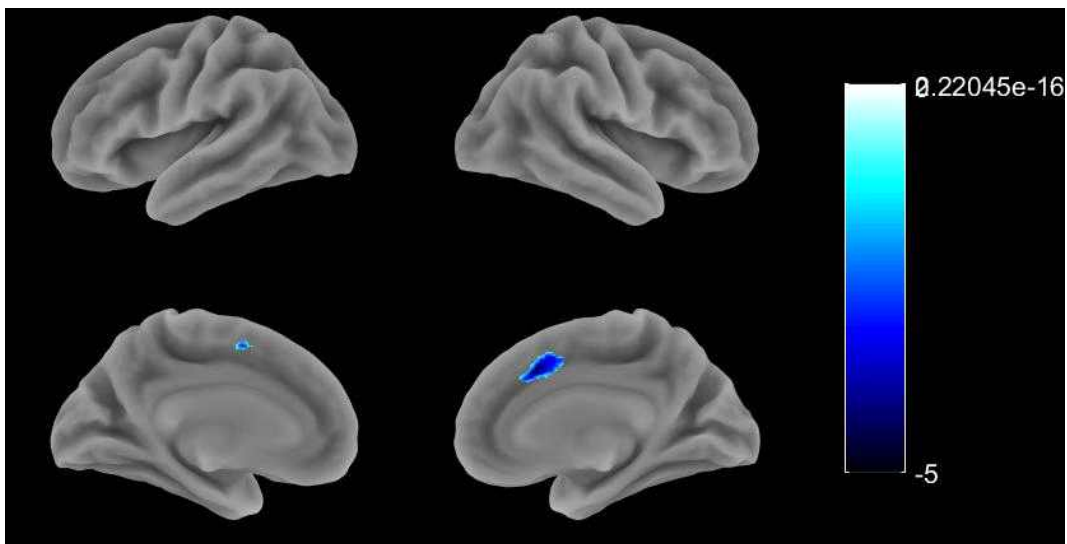


그림6. 두 지표(조건간 반응속도 차이와 개인 내 반응속도 변산성 지표)의 상호작용 효과가 유의한 것으로 관찰된 뇌 영역

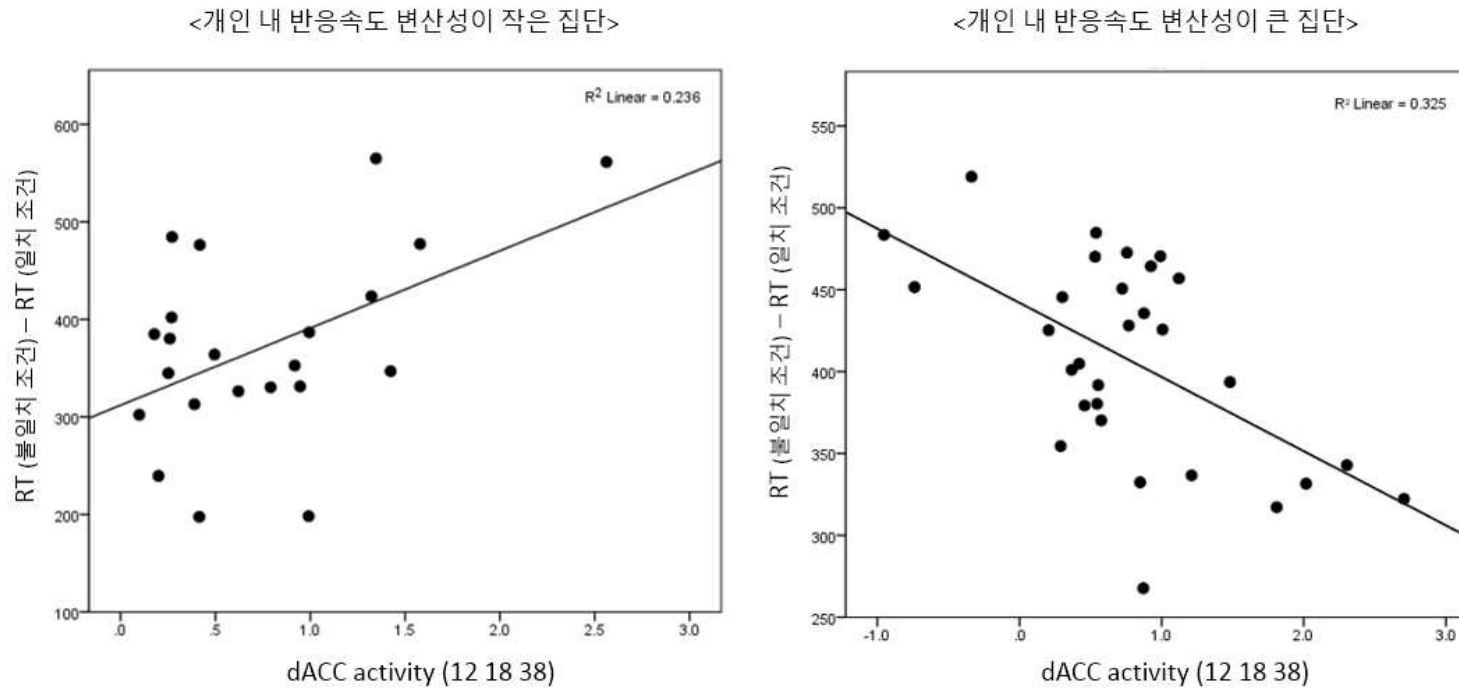


그림7. 전대상회 피질 (dorsal anterior cingulate cortex; dACC) 활성화 수준과 행동수행의 관계  
 주. 배측 전대상회 피질에서 나타난 조건간 반응속도 차이 지표와 개인 내 반응속도 변산성 지표의 상호작용 효과의 시각화를 위해 중앙값을 기준으로 개인 내 반응속도 변산성이 작은 참가자(왼쪽)와 큰 참가자(오른쪽)로 나누어 배측 전대상회 피질과 인지통제 수행과의 관계를 나타내는 산점도가 제시되었다. 조건 간 반응속도 차이 값은 클수록 저조한 인지통제 수행을 나타낸다.

## 제 4 장 논 의

본 연구는 건강한 노인들을 대상으로 반응속도 변산성 지표 및 반응속도 차이 지표가 각기 다른 뇌 기능에 기반을 두고 있다는 점을 밝혀냈다. 반응속도 변산성 지표의 경우 좌측 하전두회(inferior frontal gyrus) 영역의 큰 활성화 수준이 큰 개인 내 반응속도 변산성과 연관되어 있는 것으로 나타났다. 반면에 조건 간 반응속도 차이 지표의 경우 중전두회(middle frontal gyrus), 하전두회(inferior frontal gyrus), 섬엽(insula lobe) 등 인지통제 기능의 기반인 영역들에서 나타나는 큰 활성화 수준이 조건 간 반응속도 차이지표로 측정된 성공적인 수행 정도와 관련 있는 것으로 나타났다.

나아가 위의 두 지표의 신경심리적 특성을 밝히기 위해 인지통제 기능을 측정하는 것으로 알려진 신경심리 평가 측정치가 각 지표와 어떤 상관관계를 가지는지 분석하였다. 그 결과, 개인 내 반응속도 변산성이 클수록 Stroop-색상 단어 검사의 간섭지수가 높았으나, 조건 간 반응속도 차이 지표와 신경심리평가 사이에서는 유의한 상관이 관찰되지 않았다.

### 제 1 절 결과의 해석

#### 1.1 개인 내 반응속도 변산성 지표

본 연구에서 개인 내 반응속도 변산성 지표는 좌측 하전두회(inferior frontal gyrus) 영역과 정적 상관관계를 나타냈다. 즉, 하전두회의 활성화 수준이 클수록 더 큰 개인 내 반응속도 변산성이 관찰되었다. 선행연구에서 우측 하전두회는 뇌의 전두영역 중에서도 억제과정에 관여하는 영역이라고 알려져 왔으며(Aron et al., 2004), 이는 하전두회가 손상된 환자들이 반응 억제 과제를 실패할 확률이 더 높다는 연구결과에 의해 뒷받침 되어왔다(Aron, Fletcher, Bullmore, Sahakian, & Robbins, 2003). 우측 하전두회가 억제능력에 기여하는 매커니즘은 기저핵(basal



ganglia)과 같은 운동 시스템과의 연결성으로 설명되어왔다(Mostofsky & Simmonds, 2008). 구체적으로, 전두영역이 기저핵 신호를 억제하여 반응억제에 기여한다는 설명이다(van den Wildenberg et al., 2006). 이러한 매커니즘이 좌측 하전두회에서 어떻게 작동하는지 밝힌 연구는 아직 없지만, 좌측 하전두회가 손상된 환자들을 대상으로 한 연구에서 환자들의 Go/Nogo 과제의 실패율이 대조군에 비해 더 높다는 점은 주목할만하다(Swick, Ashley, & Turken, 2008). 이는 좌측 하전두회 역시 반응억제를 통해 인지통제에 기여하는 영역이라는 점을 시사한다.

노년기에 특정 뇌 영역에서 증가하는 기능적 활성화는 일반적으로 뇌의 보상(compensation)전략에 기인한다고 여겨지지만, 본 연구에서 나타난 좌측 하전두회의 활성화 증가는 보상전략 보다는 신경비효율(neural inefficiency)로 해석되는 것이 타당하다. 신경비효율로 여겨지는 기능적 활성화 증가에는 세 가지 유형이 있다(Grady, 2008). 첫째로 젊은 성인과 비교하였을 때 행동수준에서 차이가 없음에도 노인이 더 큰 뇌 영역의 활성화를 보이는 경우이며, 둘째로 비슷한 수준의 활성화수준을 보이면서 행동수행의 저하를 보이는 경우이다. 마지막으로, 개인 내 반응속도 변산성 지표 분석의 결과처럼 뇌 영역의 활성화가 더 큰 것이 더 낮은 수행을 예측하는 경우이다. 이러한 경우 신경비효율 뿐 아니라 추가적인 뇌 손상 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 실제로 Colcombe 외(2005) 연구 결과에 따르면, 좌측 전두피질의 과활성화는 억제과제에서의 저조한 수행과 관련된 것으로 밝혀져 본 연구의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 나아가 연구자들은 이러한 경향이 백질변화에서 기인한다고 주장하였다. 선행연구에 따르면 증가된 개인 내 반응속도 변산성은 전두엽의 백질변화를 반영하는데(Bunce et al., 2007), 전두영역 및 측두영역을 사용하는 과제에서 노인이 보이는 과활성화(over-recruitment)는 백질의 감소에서 기인한다고 알려져 있다(Daselaar et al., 2015). 따라서 좌측 하전두회에서 나타난 반응속도 변산성 증가에 따른 활성화 증가는 백질변화에서 기인한 것일 가능성을 확인하는 것은 후속 연구의 과제일 것이다.

## 1.2 조건 간 반응속도 차이 지표

인지통제에 관여한다고 알려진 영역들(Bush & Shin, 2006)의 활성화 정도가 커질수록 조건 간 반응속도 차이가 작은 것으로 나타났다. 작은 조건 간 반응속도 차이는 연구 참가자의 성공적인 인지통제 행동수행을 예측하는 지표이기 때문에 인지통제 관련 영역을 많이 활성화 시킬수록 더 성공적인 과제 수행을 한 것으로 볼 수 있다. 구체적으로, 좌측 중안와회(mid orbital gyrus), 좌측 연상회(supramarginal gyrus), 중측두회(middle temporal gyrus), 중심후회(postcentral gyrus), 우측 하전두회(inferior frontal gyrus), 섬엽(insula lobe), 양측 중전두회(middle frontal gyrus), 상전두회(superior frontal gyrus) 영역이 활성화될수록 인지통제 행동수행이 성공적이었다. 이 중에서도 우측 하전두회와 중전두회는 억제과정에 관여하는 대표적인 영역으로 알려져 있다(Aron et al., 2004; Garavan, Ross, Kaufman, & Stein, 2003).

인지통제와 관련된 영역들을 더 많이 활성화 시킨 노인들의 행동수행이 더 성공적이었다는 결과는 CRUNCH (Compensation Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis) 모델의 맥락에서 해석할 필요가 있다. CRUNCH 모델에 따르면, 노인의 경우 더 많은 뇌기능 활성화를 통해 신경자원을 동원하더라도 풀 수 있는 과제의 난이도에 한계가 있으며, 난이도가 일정 수준 이상으로 올라가면 과제를 성공적으로 수행할 수 없을 뿐 아니라 뇌기능 활성화 크기도 더 이상 증가하지 않는다(Reuter-Lorenz & Campbell, 2008; Reuter-lorenz & Lustig, 2005). 본 연구의 분석에 포함된 연구 참여자들의 정답률이 75% 이상이었음을 감안할 때, 본 과제는 더 많은 신경자원을 사용했을 때 성공적인 행동수행을 이끌어 낼 수 있는 수준의 난이도를 가진 과제였다고 볼 수 있다. 따라서 성공적인 수행을 보인 노인들에게서 관찰된 인지통제 영역의 과활성화는 노인들이 저하된 지각능력을 상쇄하기 위해서 더 큰 수준의 하향통제를 시도한 것이라고 해석할 수도 있다(Madden, Whiting, Spaniol, & Bucur, 2005; Madden, Spaniol, & Bucur, 2007).

### 1.3 조건 간 반응속도 차이와 개인 내 반응속도 변산성의 관계

앞서 조건 간 반응속도 차이지표와 개인 내 반응속도 변산성이 바탕을 두고 있는 뇌 기능을 탐색한 결과에서, 각 지표는 서로 다른 영역의 뇌 기능 활성화에 기반하고 있는 것으로 드러났다. 본 연구는 각 지표의 뇌 기반을 탐색하는 것을 목적으로 하였으나, 두 지표가 서로 상호작용할 수 있는 가능성을 배제할 수 없기 때문에 두 지표 간에 상호작용 효과가 있는지 알아보는 분석을 실시하였다. 그 결과, 두 지표 사이에 유의한 상호작용이 배측 전대상피질에서 관찰되었다. 이는 조건 간 반응속도 차이 지표로 측정된 인지통제 과제의 성공수준과 배측 전대상피질 활성화 크기의 관계는 개인의 반응속도 변산성 크기에 따라 달라질 수 있음을 시사한다.

배측전대상피질은 갈등상황의 모니터링(conflict monitoring)시 활성화 되는 뇌 영역으로, 인지통제과정에서 사용되는 주요 영역으로 알려져 있다(Barch et al., 2001; Botvinick, Cohen, & Carter, 2004). 이 분석 결과는 개인의 반응 속도 변산성 크기에 따라서 인지통제 관련 뇌 기능 활성화와 성공적 과제 수행이 맺는 관계가 다를 수 있다는 점을 보여준다. 그림 7에 나타난 것과 같이 상대적으로 개인 내 반응속도 변산성이 작은 노인의 경우 배측전대상피질의 활성화 크기가 작은 것이 성공적인 인지통제 수행과 관련되어 있는 반면, 개인 내 반응속도 변산성이 상대적으로 큰 노인의 경우에는 배측전대상피질을 더 많이 활성화 시킨 것이 성공적인 과제 수행으로 이어졌다.

이 결과는 개인 내 반응속도 변산성이 노화의 주요한 지표라는 선행연구들을 염두에 두고 해석할 필요가 있다(Williams et al., 2005). 다시 말해, 반응속도 변산성이 더 큰 노인들이 과제와 관련한 뇌기능적 활성화에서 노인의 특성을 보다 뚜렷하게 나타냈다고 볼 수 있다. 실제로 노인들은 신경자원의 감소를 상쇄하기 위한 전략으로 더 큰 뇌기능 활성화를 나타내며, 이러한 시도는 젊은 성인과 유사한 수준의 과제 수행으로 이어지기도 한다(Reuter-Lorenz & Campbell, 2008). 노인들에게서 관찰되는 이 현상을 기능적 상쇄(compensation)라고 하는데

(Reuter-Lorenz & Campbell, 2008; Rosen et al., 2002), 반응속도 변산성이 큰 노인들에게서 관찰된 활성화 증가와 그에 따른 성공적 과제수행은 노인이 보이는 기능적 상쇄와 유사하다고 여겨질 수 있다.

#### 1.4 신경심리평가와 다중간섭과제의 행동지표

개인 내 반응속도 변산성 및 조건 간 반응속도 차이 지표의 신경심리적 특성을 확인하기 위해서 실시한 각 지표와 인지통제 기능을 측정하는 신경심리평가 간의 상관관계 분석 결과에서는 개인 내 반응속도 변산성 지표만 Stroop-색상 단어 검사의 간섭지수와 유의한 상관관계를 나타냈다. 본 연구에 사용된 신경심리평가와 다중간섭과제는 인지통제 기능을 측정한다는 점에서 공통점을 가졌다. 하지만 일부 지표와 신경심리평가 결과 사이에서 유의미한 상관관계가 나타나지 않은 것은 다중간섭과제의 경우 매 시행마다 시간제한이 있기 때문에, 보다 즉각적인 반응억제 능력이 더 많이 요구되었기 때문일 가능성이 있다.

## 제 2 절 연구의 의의 및 한계점

본 연구는 기능적 자기공명 영상을 활용하여 조건 간 반응속도 차이 지표 및 개인 내 반응속도 변산성 지표의 신경학적 기반을 탐색하였다. 나아가 각 지표들이 인지통제 기능을 측정하는 것으로 알려진 신경심리평가와 어떠한 관계를 가지는지 살펴보았다. 이러한 시도는 다음과 같은 의의를 가진다.

첫째, 선행연구는 반응속도의 변산성이 조건 간 반응속도 차이 지표와 같이 평균을 활용한 지표에서는 드러나지 않는 개인의 특성을 반영하고 있다는 점을 밝혀왔는데(Ratcliff, 1993; Whelan, 2008), 본 연구는 두 지표가 다른 각기 다른 뇌 기능에 기반을 두고 있음을 밝혔다는 점에서 선행연구의 결과와 이어진다. 즉 각각의 지표가 다른 뇌 영역에 기반하고 있다는 사실은 두 행동 지표가 서로 다른 신경학적 변화를 반영하여, 반응속도 변산성이 평균을 활용한 지표에서는 포착하기 어려운 인지노화 양상을 반영하고 있을 가능성을 시사한다. 이러한 가능성은 반응속

도 변산성의 증가가 몇 년 후의 인지노화 양상을 예측한 종단연구 결과 (Bielak, Hultsch, Strauss, MacDonald, & Hunter, 2010)를 지지할 수 있다.

둘째, 반응속도 변산성이 가지는 의의를 밝히려는 시도는 최근 컴퓨터기반(computerized) 신경심리평가의 등장으로 반응속도 변산성 측정이 점차 용이해지고 있다는 점과도 맞닿아있다. 많은 신경심리평가는 종이와 연필을 사용하는 방식(Pencil-and-Paper tasks)으로 실시 되어왔는데, 이는 수검자가 과제를 수행하는 동안 연구자는 초시계를 사용하여 수검자가 반응하는데 걸린 시간을 측정하는 방식이다. 이 경우, 연구자가 매 시행에 따른 반응속도를 측정하는 것은 어렵기 때문에 한 조건의 전체 시행을 측정해서 평균을 내고 다른 조건에서 걸린 시간과 비교하는 방식인 조건 간 반응속도 차이지표를 사용하는 것이 일반적이다. 하지만 최근 컴퓨터기반의 신경심리검사 도구들이 꾸준히 증가하고 있다. 컴퓨터 기반의 과제를 사용할 경우 매 시행의 반응속도가 자동으로 입력되기 때문에 개인 내 반응속도 변산성과 같은 지표를 구하는 과정에 있어서 물리적 제약이 줄기 때문에, 쉽게 사용가능한 지표가 될 수 있다. 또한 노인을 대상으로 한 연구에서도 종이-연필에 기반한 과제와 컴퓨터 기반의 과제가로 인지기능을 측정 하였을 때 측정 질의 차이가 나타나지 않았다는 보고가 있었다(Collerton et al., 2007). 이러한 시점에서 개인에 대한 추가적인 정보를 제공 할 수 있는 행동지표인 반응속도의 변산성이 반영하는 뇌 기능적 특성을 밝히는 것은 중요한 의미를 가진다.

본 연구는 노년기에 의미 있는 행동지표일 가능성이 있는 개인 내 반응속도 변산성의 특성에 주목하였다. 하지만 본 연구는 몇 가지 한계점을 가지며, 이러한 점들은 후속 연구를 통해 보완되어야 할 것이다.

먼저, 젊은 성인이 비교집단으로 포함되지 않은 점은 본 연구의 주요한 한계점이라고 할 수 있다. 개인 내 반응속도 변산성은 노화에 따라 증가하는 것으로 알려진 지표이며, 일반적으로 인지노화의 특성을 살핀 선행연구들은 젊은 성인집단과의 비교를 통해서 노년기의 특성을 밝혀왔다(Salami, Rieckmann, Fischer, & Bäckman, 2014). 하지만, 본

연구는 노화의 과정에서 발생하는 개인차에 초점을 맞추고 있기 때문에 젊은 성인집단이 포함되지 않았지만, 각 행동지표와 뇌 기능 활성화의 특성이 노화에 따라 변화한다는 것을 밝히기 위해서는 더 폭 넓은 연령대를 대상으로 하는 후속연구가 진행되어야 할 것이다. 나아가, 개인 내 반응속도 변산성이 개인의 특성이 아니라, 신경학적 감퇴를 반영하는 지표임을 밝히기 위해서는 종단연구가 필요하다.

마지막으로, 본 연구는 일정 수준이상의 인지통제 과제 수행을 보인 참가자만 포함되었다. 반응속도는 연구에서 가장 주요한 변수로 사용되는데, 이는 정답률과 상호보완적 관계를 가지는 것으로 알려져 있다. 따라서 75% 이상의 정답률을 달성한 참가자들만 최종 분석에 포함시키는 것을 통해 연구 참가자들 간에 반응속도가 가지는 의미를 최대한 동질적으로 만들고자 하였다. 이 과정에서 저조한 수행을 보인 참가자들이 배제되었는데, 저조한 과제 수행이 인지노화의 주요한 특성을 반영하고 있을 가능성이 있다. 따라서 이를 밝히기 위해, 추후에 낮은 수준의 정답률을 나타낸 참가자들을 대상으로 한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 강연욱, 장승민, 나덕렬 (2012). 서울신경심리검사 2판 (SNSB-II). 휴브알앤씨, 인천
- 김호영 (2012). 인지통제 훈련이 노인의 뇌기능에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 박미선, 최진영. (2003). 한국 노인을 위해 수정된 Trail Making Test(TMT)의 기준 연구. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 22(1), 247-259.
- 최진영 (2006). 노인 기억장애 검사. *학지사, 서울*
- 최진영 (2011). 한국판 치매 평가 검사(K-DRS-2). *학지사, 서울*
- Anderson, M. C., & Spellman, B. A. (1995). On the status of inhibitory mechanisms in cognition: memory retrieval as a model case. *Psychological review*, 102(1), 68.
- Aron, A. R., Fletcher, P. C., Bullmore, E. T., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2003). Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. *Nature neuroscience*, 6(2), 115.
- 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.
- 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.
- Barch, D. M., Braver, T. S., Akbudak, E., Conturo, T., Ollinger, J., & Snyder, A. (2001). Anterior cingulate cortex and response conflict: effects of response modality and processing domain. *Cerebral cortex*, 11(9), 837-848.
- Bellgrove, M. A., Hester, R., & Garavan, H. (2004). The functional neuroanatomical correlates of response variability: evidence from a response inhibition task. *Neuropsychologia*, 42(14), 1910-1916.
- Bielak, A. A., Hultsch, D. F., Strauss, E., MacDonald, S. W., & Hunter, M. A. (2010). Intraindividual variability in reaction time predicts cognitive outcomes 5 years later. *Neuropsychology*, 24(6), 731.
- Blaxton, T. A., & Neely, J. H. (1983). Inhibition from semantically related primes: Evidence of a category-specific inhibition. *Memory & Cognition*, 11(5), 500-510.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological review*, 108(3), 624.
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in cognitive sciences*, 8(12), 539-546.

- Braver, T. S., & Barch, D. M. (2002). A theory of cognitive control, aging cognition, and neuromodulation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7), 809–817.
- Breteler, M. M. B., van Swieten, J. C., Bots, M. L., Grobbee, D. E., Claus, J. J., van den Hout, J. H. W., ... Hofman, a. (1994). Cerebral white matter lesions, vascular risk factors, and cognitive function in a population-based study: The Rotterdam Study. *Neurology*, 44(July), 1246 - 1246.
- Bunce, D., Anstey, K. J., Christensen, H., Dear, K., Wen, W., & Sachdev, P. (2007). White matter hyperintensities and within-person variability in community-dwelling adults aged 60 - 64 years. *Neuropsychologia*, 45(9), 2009–2015.
- Bush, G., & Shin, L. M. (2006). The Multi-Source Interference Task: an fMRI task that reliably activates the cingulo-frontal-parietal cognitive/attention network. *Nature Protocols*, 1(1), 308 - 313.
- Bush, G., Shin, L. M., Holmes, J., Rosen, B. R., & Vogt, B. A. (2003). The Multi-Source Interference Task: validation study with fMRI in individual subjects. *Molecular psychiatry*, 8(1), 60.
- Bush, G., Spencer, T. J., Holmes, J., Shin, L. M., Valera, E. M., Seidman, L. J., ... & Biederman, J. (2008). Functional magnetic resonance imaging of methylphenidate and placebo in attention-deficit/hyperactivity disorder during the multi-source interference task. *Archives of General Psychiatry*, 65(1), 102-114.
- Chen, A., Akinyemi, R. O., Hase, Y., Firbank, M. J., Ndung'u, M. N., Foster, V., ... & Polvikoski, T. M. (2015). Frontal white matter hyperintensities, clasmotodendrosis and gliovascular abnormalities in ageing and post-stroke dementia. *Brain*, 139(1), 242-258.
- Christensen, K. J., Multhaup, K. S., Nordstrom, S., & Voss, K. (1991). A Cognitive Battery for Dementia : Development and Measurement Characteristics, 3(2), 168 - 174.
- Collerton, J., Collerton, D., Arai, Y., Barrass, K., Eccles, M., Jagger, C., ... Von Zglinicki, T. (2007). A comparison of computerized and pencil-and-paper tasks in assessing cognitive function in community-dwelling older people in the Newcastle 85+ pilot study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 55(10), 1630 - 1635.
- Connelly, S. L., Hasher, L., & Zacks, R. T. (1991). Age and reading: the impact of distraction. *Psychology and Aging*, 6(4), 533 - 541.
- D'Esposito, M., Postle, B. R., & Rypma, B. (2006). Prefrontal cortical contributions to working memory: evidence from event-related fMRI studies. *Experimental Brain Research*, 133(1), 3 - 11.
- D'Esposito, M., Zarahn, E., & Aguirre, G. K. (1999). Event-related functional MRI: implications for cognitive psychology. *Psychological Bulletin*, 125(1), 155 - 64.
- Dagenbach, D., Carr, T. H., & Barnhardt, T. M. (1990). Inhibitory semantic priming of lexical decisions due to failure to retrieve weakly activated



- codes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(2), 328 - 340.
- Daselaar, S. M., Iyengar, V., Davis, S. W., Eklund, K., Hayes, S. M., & Cabeza, R. E. (2015). Less wiring, more firing: Low-performing older adults compensate for impaired white matter with greater neural activity. *Cerebral Cortex*, 25(4), 983 - 990.
- DeCarli, C., Murphy, D. G. M., Trinh, M., Grady, C. L., Haxby, J. V., Gillette, J. A., ... Schapiro, M. B. (1995). The effect of white matter hyperintensity volume on brain structure, cognitive performance, and cerebral metabolism of glucose in 51 healthy adults. *Neurology*, 45(11), 2077 - 2084.
- Dennis, N. A., & Cabeza, R. (2011). Age-related dedifferentiation of learning systems: an fMRI study of implicit and explicit learning. *Neurobiology of aging*, 32(12), 2318-e17.
- Desimone, R., & Duncan, J. S. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193 - 222.
- Drewe, E. A. (1975). Go-no go learning after frontal lobe lesions in humans. *Cortex*, 11.1, 8 - 16.
- Dufouil, C., Alpérovitch, A., Ducros, V., & Tzourio, C. (2003). Homocysteine, white matter hyperintensities, and cognition in healthy elderly people. *Annals of Neurology*, 53(2), 214 - 221.
- Duncan Roger Johnson Michaela Swales Charles Freer, J. (1997). Frontal lobe deficits after head injury: Unity and diversity of function. *Cognitive Neuropsychology*, 14(5), 713-741.
- Dwyer, D. B., Harrison, B. J., Yucel, M., Whittle, S., Zalesky, A., Pantelis, C., ... Fornito, A. (2014). Large-Scale Brain Network Dynamics Supporting Adolescent Cognitive Control. *Journal of Neuroscience*, 34(42), 14096 - 14107.
- Fabiani, M., & Friedman, D. (1995). Changes in brain activity patterns in aging: The novelty oddball. *Psychophysiology*, 32(6), 579 - 594.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101 - 135.
- Friston, K. J., Jezzard, P., & Turner, R. (1994). Analysis of Functional MRI Time-Series, 171, 153 - 171.
- Garavan, H., Ross, T. J., Kaufman, J., & Stein, E. A. (2003). A midline dissociation between error-processing and response-conflict monitoring. *NeuroImage*, 20(2), 1132 - 1139.
- Golden, C. J., & Freshwater, S. M. (1978). Stroop color and word test. *Age*, 15(90).
- Gratton, G., Wee, E., Rykhlevskaia, E. I., Leaver, E. E., & Fabiani, M. (2009). Does White Matter Matter? Spatio-temporal Dynamics of Task Switching in Aging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1380 - 1395.

- Gunning-Dixon, F. M., & Raz, N. (2000). The cognitive correlates of white matter abnormalities in normal aging: A quantitative review. *Neuropsychology, 14*(2), 224 - 232.
- Hampshire, A., Chamberlain, S. R., Monti, M. M., Duncan, J., & Owen, A. M. (2010). The role of the right inferior frontal gyrus: inhibition and attentional control. *NeuroImage, 50*(3), 1313 - 1319.
- Hasher, L., Stoltzfus, E. R., Zacks, R. T., & Rypma, B. (1991). Age and inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 17*(1).
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age.
- Holmes, A. P., & Friston, K. J. (1998). Generalisability, random Effects & population inference. *Neuroimage, 7*, S754.
- Johnson, B. P., Pinar, A., Fornito, A., Nandam, L. S., Hester, R., & Bellgrove, M. A. (2015). Left anterior cingulate activity predicts intra-individual reaction time variability in healthy adults. *Neuropsychologia, 72*, 22 - 26.
- Kim, H., Chey, J., & Lee, S. (2017). Effects of Multicomponent Training of Cognitive Control on Cognitive Function and Brain Activation in Older Adults. *Neuroscience Research*.
- Li, S. C., Lindenberger, U., & Sikström, S. (2001). Aging cognition: from neuromodulation to representation. *Trends in cognitive sciences, 5*(11), 479-486.
- Lustig, C., Hasher, L., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory deficit theory: Recent developments in a “new view.” *Inhibition in Cognition, 5*(71), 145 - 162.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science, 288*(5472), 1835 - 1838.
- MacDonald, S. W. S., Hultsch, D. F., & Dixon, R. a. (2003). Performance variability is related to change in cognition: evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Psychology and Aging, 18*(3), 510 - 523.
- MacDonald, S. W. S., Karlsson, S., Rieckmann, A., Nyberg, L., & Bäckman, L. (2012). Aging-related increases in behavioral variability: relations to losses of dopamine D1 receptors. *The Journal of Neuroscience, 32*(24), 8186 - 91.
- MacDonald, S. W. S., Nyberg, L., & Bäckman, L. (2006). Intra-individual variability in behavior: links to brain structure, neurotransmission and neuronal activity. *Trends in Neurosciences, 29*(8), 474 - 480.
- MacDonald, S. W. S., Nyberg, L., Sandblom, J., Fischer, H., & Bäckman, L. (2008). Increased response-time variability is associated with reduced inferior parietal activation during episodic recognition in aging. *Journal of Cognitive Neuroscience, 20*, 779 - 786.
- Madden, D. J., Whiting, W. L., Spaniol, J., & Bucur, B. (2005). Adult age

- differences in the implicit and explicit components of top-down attentional guidance during visual search. *Psychology and Aging*, 20(2), 317.
- Madden, D. J., Spaniol, J., & Bucur, B. (2007). NIH Public Access, 20(2), 317 - 329.
- Mayda, A. B. V, Westphal, A., Carter, C. S., & Decarli, C. (2011). Late life cognitive control deficits are accentuated by white matter disease burden. *Brain*, 134(6), 1673 - 1683.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24(1), 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.
- Mostofsky, S., & Simmonds, D. (2008). Response inhibition and response selection: two sides of the same coin. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 751 - 61.
- Nesselroade, J. R., & Salthouse, T. a. (2004). Methodological and theoretical implications of intraindividual variability in perceptual-motor performance. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 59(2), P49 - P55.
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. (2002). Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(1), 56 - 71.
- Nordahl, C. W., Ranganath, C., Yonelinas, A. P., Decarli, C., Fletcher, E., & Jagust, W. J. (2006). White matter changes compromise prefrontal cortex function in healthy elderly individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(3), 418 - 29.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The Adaptive Brain: Aging and Neurocognitive Scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 173 - 196.
- Paxton, J. L., Barch, D. M., Racine, C. A., & Braver, T. S. (2008). Cognitive control, goal maintenance, and prefrontal function in healthy aging. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1010 - 1028.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25-42.
- Ratcliff, R. (1993). Methods for dealing with reaction time outliers. *Psychological bulletin*, 114(3), 510.
- Reuter-Lorenz, P. A., & Campbell, K. A. (2008). Neurocognitive ageing and the Compensation Hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177 - 182.
- Reuter-lorenz, P. A., & Lustig, C. (2005). Brain aging : reorganizing discoveries about the aging mind. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 245 - 251.

- Reuter-Lorenz, P. a, Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., & Koeppe, R. a. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(1), 174 - 187.
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *science*, *306*(5695), 443-447.
- Rieckmann, A., Karlsson, S., Karlsson, P., Brehmer, Y., Fischer, H., Farde, L., ... Bäckman, L. (2011). Dopamine D1 receptor associations within and between dopaminergic pathways in younger and elderly adults: Links to cognitive performance. *Cerebral Cortex*, *21*(9), 2023 - 2032.
- Rosen, A., Hara, R. O., Rosen, A. C., Prull, C. A. M. W., Hara, R. O., Race, E. A., ... Jerome, A. Y. (2002). Rosen , A . C . et al . Variable effects of aging on frontal lobe contributions to memory . Variable effects of aging on frontal lobe contributions to memory. *Neuroreport*, *13*(August), 2425 - 2428.
- Salami, A., Rieckmann, A., Fischer, H., & Bäckman, L. (2014). A multivariate analysis of age-related differences in functional networks supporting conflict resolution. *NeuroImage*, *86*, 150 - 163.
- Salthouse, T. A., & Meinz, E. J. (1995). Aging, inhibition, working memory, and speed. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *50*(6), P297-P306.
- Schaie, K. W. (1996). *Intellectual development in adulthood: The Seattle longitudinal study*. Cambridge University Press.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime: User's guide*. Software Incorporated.
- Shallice, T., Burgess, P., & Robertson, I. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organization of behaviour. *Philosophical transactions of the Royal Society of London B: Biological sciences*, *351*(1346), 1405-1412.
- Song, X. W., Dong, Z. Y., Long, X. Y., Li, S. F., Zuo, X. N., Zhu, C. Z., ... Zang, Y. F. (2011). REST: A Toolkit for resting-state functional magnetic resonance imaging data processing. *PLoS ONE*, *6*(9).
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, *30*, 276 - 315.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. American Chemical Society.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643.
- Stuss, D. T., Murphy, K. J., Binns, M. A., & Alexander, M. P. (2003). Staying on the job: The frontal lobes control individual performance variability. *Brain*, *126*(11), 2363 - 2380.
- Swick, D., Ashley, V., & Turken, U. (2008). Left inferior frontal gyrus is

- critical for response inhibition. *BMC neuroscience*, 9(1), 102.
- van den Wildenberg, W. P., van Boxtel, G. J., van der Molen, M. W., Bosch, D. A., Speelman, J. D., & Brunia, C. H. (2006). Stimulation of the subthalamic region facilitates the selection and inhibition of motor responses in Parkinson's disease. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(4), 626-636.
- Wen, W., & Sachdev, P. (2004). The topography of white matter hyperintensities on brain MRI in healthy 60- to 64-year-old individuals. *NeuroImage*, 22(1), 144 - 154.
- West, R., Murphy, K. J., Armilio, M. L., Craik, F. I. M., & Stuss, D. T. (2002). Lapses of intention and performance variability reveal age-related increases in fluctuations of executive control. *Brain and Cognition*, 49(3), 402 - 19.
- Whelan, R. (2008). Effective analysis of reaction time data. *The Psychological Record*, 58, 475 - 482

Abstract

Brain Correlates of  
Response-Time Variability in  
Cognitive Control Task among  
Older Adults

Hairin Kim

Department of Psychology

The Graduate School

Seoul National University

Intra-individual response-time variability is a measure of behavior that is known to increase with aging and is an indicator of how inconsistent individual response rates are in the cognitive task. The increase in response rate variability reflects the structural changes of the frontal area as a result of aging and has begun to attract attention as a predictor of the pattern of cognitive aging. However, there is a lack of research that reveals how the increase in response-time variability is based on certain brain functional activation. In this study, 52 healthy elderly subjects were subjected to multi-source interference task (MSIT), and at the same time, brain

function activation pattern was captured by using magnetic resonance imaging. Specifically, we have searched the brain regions based on the individual's response-time variability in the MSIT and the response-time difference between the interference and control conditions reflecting the success of the MSIT. In addition, correlation analysis was performed with neuropsychological measures measuring cognitive control function to confirm the neuropsychological characteristics of the two indicators.

The results of the analysis to explore the neural basis of the indices including intra-individual response-time variability and response-time difference between the interference and control condition indicated that each indicator was based on functional activation of other brain regions. As a result of analysis of individual response-time variability index, the greater the activation level of the inferior frontal gyrus area, the greater the variability of the reaction rate. The greater activation level of the brain regions known to be involved in the cognitive control was related to the better performance in MSIT.

The cognitive control areas included the middle frontal gyrus, the inferior frontal gyrus, and the insula lobe. In order to compare the two indices, interaction effect between two indices was examined. As a result, positive correlation between anterior cingulate cortex and behavioral performance was observed only in elderly people with high variability.

As a result of the level of behavioral analysis conducted to examine the neuropsychological characteristics of the two indices, the interference index of the Stroop-color word test was higher as the person's response-time variability was larger. However, its correlation with response-time difference index was observed.

The results of this brain and behavioral analysis suggest that the difference in the response-time between conditions and the response-time variability in individuals vary depending on different brain functions but interact closely with each other. Furthermore, there was a need for further discussion and research on the characteristics of response-time variability that reflects aging process.

**keywords : cognitive control, response inhibition, frontal function, intra-individual response-time variability, response-time difference between conditions**

*Student Number : 2015-22544*