

## 전환 과제 수행에서 나타난 노화와 인지 통제 능력의 관계: 웹기반 실험 연구로부터의 증거\*

태진이<sup>1)</sup> 백현아<sup>1)</sup> 이윤형<sup>2)</sup> 최원일<sup>1)†</sup>

<sup>1)</sup>광주과학기술원 기초교육학부 <sup>2)</sup>영남대학교 심리학과

노화가 진행되면 개인의 신체 능력뿐만 아니라 인지 기능에도 변화가 생긴다. 특히, 인지 통제 능력은 다양한 하위 인지 기능을 포함하고 있는 개념이므로 연령별 인지 통제 능력을 비교하는 것은 노화에 따른 인지 기능의 변화를 전반적으로 이해하는 데 도움을 줄 수 있다. 이에 본 연구는 인지 통제 능력 중에서 전환 능력을 측정할 수 있는 과제를 사용하여 연령에 따른 전환비용의 차이를 비교하였다. 기존의 연구들은 참가자들이 실험실에 방문하여 과제를 수행하는 방식으로 데이터를 얻었지만, 본 연구에서는 짧은 시간 내에 많은 참가자의 데이터를 얻을 수 있는 웹기반 연구방법을 사용하여 한국에 거주 중인 20세부터 69세 성인의 데이터를 얻었다. 연구 결과, 참가자의 연령이 높을수록, 과제가 반복될 때보다 전환될 때가, 그리고 쉬운 과제보다는 어려운 과제 수행 시에 반응시간이 더 느렸다. 또한 참가자 연령과 과제 종류 사이의 상호작용 효과가 나타났다. 이는 노화에 따른 인지 능력의 감퇴로 인해 과제의 난이도가 다른 두 과제를 수행할 때 쉬운 과제에도 많은 인지자원을 투입하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 하지만 연령과 과제 전환 간의 상호작용은 나타나지 않았다. 이러한 상호작용의 부재는 반응적 통제와 같이 상대적으로 자동적인 처리를 요구하는 과제 전환 시에는 노화에 영향이 미미할 수 있음을 시사한다.

주요어 : 연령차 연구, 인지 통제, 전환 능력, 전환비용, 웹기반 연구

\* 본 논문은 대한민국 교육부(NRF-2020S1A3A2A02103899) 지원에 의해 수행되었습니다.

† 교신저자: 최원일, 광주과학기술원 기초교육학부, 광주광역시 북구 첨단과기로 123

Email: wicho1@gist.ac.kr



Copyright © 2022, The Korean Psychological Association. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial Licenses(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

정보의 홍수 속에서 생활하는 현대인들에게 현재 설정한 목표를 달성하기 위한 일련의 행동을 성공적으로 수행하는 능력은 필수적이며, 인간의 인지 과정에서 이를 가능하게 만드는 것이 바로 인지 통제(cognitive control, executive control) 능력이다(Botvinick & Braver, 2015; Braver et al., 2002; Braver, 2012). 인지 통제에는 현재 수행해야 하는 과제와 관련 없는 정보를 무시하는 억제 능력(inhibition), 작업 기억 내에서 새로운 정보를 갱신하는 능력(updating), 두 개 이상의 과제를 상황에 맞게 선택하고 조절하는 전환 능력(switching) 등이 포함된다(Miyake et al., 2000). 다양한 하위 구성 요소를 포함하고 있는 인지 통제 능력은 언어 처리 과정(Campbell & Tyler, 2018; Fedorenko, 2014; Hussey et al., 2017)과 정서 처리 과정(Inzlicht et al., 2015; Ochsner & Gross, 2005)에도 관여하며, 나아가 개인의 작업 기억 용량이나 연령에 따라 수행이 달라지는 특성이 나타난다(Burgess & Braver, 2010; Irlbacher et al., 2014; Paxton et al., 2008). 이처럼 인지 통제 능력은 개인의 인지 기능 전반에 영향을 미치기 때문에 다양한 나이대의 참가자들을 대상으로 그들의 인지 통제 기능의 변화를 비교하는 것은 노화로 인한 인지 기능의 변화를 포괄적으로 이해할 수 있다는 점에서 큰 의미가 있다.

인간은 태어나는 순간부터 점차 나이가 들어감에 따라 신체 및 인지 기능의 변화를 겪게 된다. 일반적으로 성인 초기까지는 신체 기능, 감각 및 지각 능력, 그리고 상위 인지 능력이 연령의 증가에 따라 발전한다. 하지만, 성인기를 지나 생물학적 나이가 더 들어갈수록 이러한 능력은 점차 저하된다. 노화에 따른 인지 능력의 변화를 살펴본 선행 연구들은

나이가 들어감에 따라 지각 처리 속도는 느려지고(Deary et al., 2010; Finkel et al., 2007; Lee et al., 2012; Zimprich & Martin, 2002), 정보를 기억하는 능력 역시 떨어진다는 결과(Hara & Naveh-Benjamin, 2015; Jaroslawska & Rhodes, 2019; Lee et al., 2012; Pliatsikas et al., 2019)를 보고하고 있다. 이와 더불어 인지 통제 능력의 연령차를 살펴본 연구에서도 노화에 따른 변화가 두드러지게 관찰된다(Qin & Basak, 2020; Rey-Mermet & Gade, 2018; Wasylshyn et al., 2011; Zuber et al., 2019).

연령에 따른 인지 통제 능력의 변화를 확인한 연구들은 다양한 과제를 사용하지만, 다수의 연구가 주로 전환 과제(transition task)를 이용하여 연구를 진행하고 있다. 전환 과제를 많이 사용하는 이유는 이 과제 패러다임이 개인의 인지적 유연성, 이전 과제에 대한 억제 능력, 두 개 이상의 과제를 동시에 작업 기억 내에 유지하는 능력을 한 번에 확인할 수 있다는 장점이 있기 때문이다(Kiesel et al., 2010; Pettigrew & Martin, 2016). 전환 과제 패러다임에서는 과제 전환에 따른 인지적 비용 혹은 부담을 두 가지 방법으로 측정한다. 첫 번째는 한 블록에서 하나의 과제만을 수행할 때의 반응과 한 블록에 두 개 이상의 과제가 무선적으로 제시될 때의 반복 조건의 반응 사이의 차이로 계산된 혼합비용(mixing cost, global cost)이다. 두 번째는 두 개 이상의 과제가 무선적으로 제시되는 블록에서의 반복 조건과 전환 조건의 차이를 통해 얻어지는 전환비용(switch cost)을 계산할 수 있다. 연령에 따른 인지 통제 능력의 변화를 확인한 연구에서는 이러한 두 가지 방법을 이용하여 참가자의 연령에 따라 인지 통제 능력이 어떻게 달라지를 살펴봄으로써 노화에 따른 인지 기능의 발달

표 1. 전환 과제를 사용하여 연령차에 따른 인지 통제 능력의 변화를 살펴본 연구들

저자 정보	과제 종류	측정치	종속변인 (반응시간)	연령 집단	결과
DiGirolamo et al. (2001)	숫자 개수 판단 숫자 크기 판단	전환비용	미가공 반응시간	young (평균 25세) old (평균 69세)	노인 집단의 전환비용이 청년 집단에 비해 큼.
Goffaux et al. (2006)	생물/무생물 판단, 사물 크기 판단, 사물의 폭 판단	혼합비용 전환비용	로그변환 반응시간	young (평균 24.5세) old (평균 75.8세)	혼합비용에서는 노인 집단의 작업 기억 용량에 따라 상당한 효과가 있음. 전환비용에서는 연령에 따른 차이가 없음.
Kray et al. (2004)	동물/과일 판단 색깔 판단	혼합비용 전환비용	로그변환 반응시간	child (평균 9.4세) young adults (평균 21.5세) older adults (평균 65.3세)	혼합비용에서는 연령에 따른 차이가 있었지만, 전환비용에서는 연령차가 없음.
Kray et al. (2005)	단어 의미 판단 단어 색깔 판단	혼합비용 전환비용	미가공 반응시간	young (평균 21.7세) old (평균 62.9세)	노인 집단의 혼합비용이 청년 집단에 비해 큼. 하지만 전환비용에서는 차이가 없음.
Lawo et al. (2012)	도형 모양 판단 도형 색깔 판단 도형 크기 판단	혼합비용	표준화된 반응시간	young (평균 24세) old (평균 66.5세)	노인 집단의 혼합비용이 큼.
Mayr (2001)	도형 모양 판단 도형 색깔 판단	혼합비용 전환비용	미가공 반응시간	young (평균 20.1세) old (평균 71세)	나이가 증가할수록 혼합비용과 전환비용이 커짐.
Nashiro et al. (2018)	숫자 크기 판단 숫자 홀짝 판단	혼합비용 전환비용	미가공 반응시간	young (평균 25.37세) old (평균 65.56세)	노인 집단의 혼합비용이 청년 집단에 비해 큼. 하지만 전환비용에서는 차이가 없음.
Reimers & Maylor (2005)	얼굴 성별 판단 얼굴 정서 판단	혼합비용 전환비용	미가공 반응시간	10-66세까지	나이가 증가할수록 혼합비용과 전환비용이 커짐.

과정을 이해하고자 하며, 표 1에는 이와 관련된 연구들이 정리되어있다. 혼합비용의 연령차를 확인한 연구들은 일관되게 참가자의 연령이 증가할수록 혼합비용의 크기가 커진다는 결과를 보고하고 있으며(Kray et al., 2004; Kray et al., 2005; Lawo et al., 2012; Mayr, 2001; Nashiro et al., 2018; Reimers & Maylor, 2005), 이러한 결과는 노화가 진행될수록 작업 기억 내에 여러 가지 정보를 유지하는 능력과 상황에 적절한 계획을 세우는 능력이 떨어지기 때문에 나타난다고 설명한다.

혼합비용 결과와는 다르게 전환비용의 연령별 차이를 확인한 연구들은 일관되지 않은 결과들이 관찰된다. DiGirolamo 등(2001)과 Mayr (2001)는 청년 집단과 노인 집단을 대상으로 전환비용의 차이를 확인하는 연구를 진행하였고, Reimers와 Maylor(2005)는 10세부터 66세까지의 참가자를 대상으로 얼굴 자극을 사용하여 성별 판단 과제와 정서 판단 과제를 진행하였다. 세 연구 모두 평균 연령이 높은 집단의 전환비용이 연령이 낮은 집단과 비교하여 크게 나타났다. 이러한 현상은 억제 결핍 이론(inhibitory deficit theory; Hasher & Zacks, 1988)으로 설명된다. 억제 결핍 이론에서는 연령이 증가할수록 현재 과제와 무관한 정보를 억제하는 능력이 더 떨어진다고 주장하는데, 이는 스트룹 효과의 크기가 청년들보다 노인들에게 더 크게 나타나는 경험적 증거를 통해서도 확인되고 있다(Aschenbrenner & Balota, 2017; Dey & Sommers, 2015; Nicosia & Balota, 2020).

이와는 대조적으로 다른 연구에서는 참가자의 연령 증가와 무관하게 일정한 수준의 전환비용이 관찰된다는 실험 결과 역시 보고되고 있다. Goffaux 등(2006), Kray 등(2005), 그리고

Nashiro 등(2018)은 나이가 확연히 다른 두 집단을 대상으로 전환과제를 실시하였고, Kray 등(2004) 연구는 참가자의 연령대를 세 가지로 구분하고 각각의 연령 집단에게 전환과제를 실시한 뒤 이때 얻어진 전환비용을 비교하였다. 연령 집단별 전환비용을 분석한 결과, 참가자의 연령과 전환비용 간의 상호작용은 없었다. 연령에 따른 전환비용의 차이가 나타나지 않았던 이유는 노화에 따라 인지 통제가 필요한 상황에서 주로 사용하는 통제 기제가 변했기 때문일 수 있다. 인지 통제 기제는 과제에서 필요로 하는 통제 전략을 사전에 설정하고 이 전략을 유지하는 능동적 통제(proactive control)와 현 시행에서 자신이 수행해야 하는 과제의 특성에 맞춰서 즉시 통제 전략을 설정하고 상황에 맞게 전략을 수정해 나가는 반응적 통제(reactive control)로 구분된다(Braver, 2012). 최근 연구들은 두 개의 전략이 필요한 과제를 사용하여 노화에 따라 사용되는 인지 통제 기제가 변화한다는 결과들을 제시하고 있다(Bugg, 2014; Manard et al., 2014; Van Gerven et al., 2016).

예를 들어 Braver 등(2005)의 연구는 알파벳 A와 X가 연속해서 나올 때만 반응을 해야 하는 연속 수행 과제(AX-CPT)를 사용하여 노화에 따른 인지 통제 기제의 변화를 살펴보고자 대학생과 노인들의 과제 수행율을 비교하였다. 이 실험에서는 알파벳 철자가 하나씩 제시되는데, 참가자들은 A 철자 다음에 X 철자가 나왔을 때만 버튼을 눌러야 했다. 특히 이 실험에서는 AY조합과 BX조합의 오류율을 비교함으로써 참가자들이 능동적 통제를 주로 사용하는지 반응적 통제를 주로 사용하는지를 확인하였다. 참가자가 능동적 통제 전략을 주로 사용하는 경우에는 A 철자를 보는 것만으

로도 버튼을 누르는 준비를 하게 만들기 때문에, AY조합의 오류율이 BX조합에 비해 높아 지지만, 반응적 통제 전략을 사용하면 AY조합과 BX조합의 오류율 사이에 차이가 관찰되지 않는다고 추론할 수 있다. 실험 결과, AY조합에 대해서는 대학생들의 오류율이 노인 집단에 비해 높게 나타났고, BX조합과 BY조합의 오류율은 연령 집단 간 차이가 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 청년들과 노인들이 사용하는 인지 통제 전략이 다를 수 있는데, 구체적으로는 대학생 집단의 경우에는 능동적 통제를 주로 사용하고 노인 집단은 반응적 통제를 주로 사용한다고 해석된다.

연령에 따라 사용하는 통제 전략이 달라지고 있음을 보여주는 연구 결과(Braver et al., 2005; Bugg, 2014; Manard et al., 2014; Van Gerven et al., 2016)를 바탕으로 전환비용의 연령차 효과가 관찰되지 않은 이유를 추측해볼 수 있다. 두 개의 과제가 무선적으로 제시되는 혼합블록에서는 하나의 전략을 유지하는 것보다 각 시행에서 제시되는 단서에 맞춰서 알맞은 전략을 세워야 한다. 그러므로 혼합블록에서 계산되는 전환비용은 개인의 능동적 통제보다는 반응적 통제를 측정하는 수치에 해당된다(Braver et al., 2003; Ma et al., 2016; Rubin & Meiran, 2005). 따라서 반응적 통제를 주로 사용하는 과제에서는 노년층의 참가자들이 현재 시행에서 필요한 인지 전략을 상황에 맞게 적절하게 이용하게 되고, 그 결과 전환비용에서 청년층과의 차이가 관찰되지 않는 것이다. 하지만 전환비용의 연령차를 확인한 연구들은 비교 연령 집단의 연령 차이도 다양하고 사용한 과제도 일관적이지 않으며, 그에 따라 전환비용과 연령의 관계 역시 일관되지 않은 결과들이 나타나기도 한다. 예를 들어서

Mayr(2001)의 연구는 20대와 70대의 두 연령대의 참가자들을 대상으로 전환비용의 차이를 확인하였고, Nashiro 등(2018) 연구는 20대와 60대의 참가자들을 대상으로 연구를 진행했으며, Reimers와 Maylor(2005)는 10세부터 66세까지의 참가자들을 모집하여 실험을 수행했다. 비록 유사한 실험 절차를 사용하고 있다고 하더라도 실험 참가자의 연령대에 따라 다른 결과가 나올 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 연령대의 참가자들을 모집하여 전환비용의 연령 변화를 확인하는 연구를 진행하고자 한다.

많은 수의 참가자들을 대상으로 연구를 하고자 한다면 단기간에 다양한 인구통계학적 특성을 가진 참가자들의 자료를 얻을 수 있다는 장점이 있는(Buhrmester et al., 2016; Burnham et al., 2018; Moss et al., 2020) 웹기반 실험법을 사용하는 것이 좋다. 반응시간의 차이를 통해 개인의 인지 능력을 이해하고자 했던 심리학 연구들은 전통적으로 통제된 실험 환경에서 진행되는 실험실기반 연구법을 사용했지만, 최근 들어서는 웹기반 실험 연구법을 사용하는 시도가 늘어나고 있다. 웹기반 연구가 실험실기반 연구와 비교해 실험에 사용되는 컴퓨터 등의 기기 통제가 어렵다는 특성과 실험자가 없는 환경에서 실험을 수행하기 때문에 참가자들의 주의가 쉽게 분산된다는 단점(Necka et al., 2016)이 있기는 하지만, 실험을 진행하는 데 있어서의 시·공간적 제약이 없어서 대량의 데이터를 빠른 시간 안에 얻을 수 있게 됨으로써 충분한 효과 크기를 보장할 수 있다는 장점이 있으며, 많은 연구가 실험실기반 연구에서 관찰되는 효과들을 성공적으로 반복검증하고 있다(Anwyl-Irvine et al., 2020; Chetverikov & Upravitelev, 2016; Kim et al.,

2021; Kim, Lowder, & Choi, 2021; Kochari, 2019; Lee et al., 2021; Semmelmann & Weigelt, 2017; Tae et al., 2021).

기존의 실험실기반 연구는 연구자가 근무 중인 학교의 대학생들이나 그 지역의 성인들을 대상으로 하였지만, 웹기반 연구는 참가자의 거주지와 상관없이 컴퓨터와 인터넷을 사용할 수 있는 환경만 된다면 누구나 연구에 참여할 수 있으므로 다수의 참가자를 대상으로 연령 변화에 따른 인지 능력의 차이를 볼 수 있다는 이점이 있다. 나아가 실험실기반 연구와 웹기반 연구를 비교한 선행 연구들은 20대의 성인들을 대상으로 하였지만, 본 연구에서는 20세부터 69세까지 다양한 연령층을 대상으로 웹기반 실험을 진행하였다. 따라서 본 연구를 결과는 연령차 연구에서 웹기반 연구법의 폭넓은 사용 가능성을 확인하는 데 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

종합적으로 본 연구의 목적은 웹기반 실험을 사용하여 20세부터 69세까지의 폭넓은 연령대의 참가자들을 대상으로 전환 능력의 연령 차이가 나타나는가를 확인하는 것이다. 보다 구체적으로 본 연구에서는 두 개의 과제(숫자 크기 판단 과제와 훌쩍 판단 과제)를 동일한 블록에서 무선적으로 제시함으로써 참가자의 연령에 따른 전환비용 차이를 비교하고자 한다. 최근 들어 인지 통제의 연속적인 변화를 확인하기 위해 넓은 범위의 연령대의 참가자들을 대상으로 한 연구 결과들이 보고되고 있다(Kray et al., 2004; Reimers & Maylor, 2005). 특히 본 연구와 같이 인지 통제 능력에 초점을 맞춘 선행 연구들은 노화에 따라 인지 능력이 선형적으로 감퇴한다고 주장한다(Anguera et al., 2013; Borella et al., 2008; Hale et al., 2011; Park et al., 2002). Anguera 등(2013)

은 20세부터 79세 사이의 성인들을 대상으로 하여 두 개의 과제(화면에 나오는 자동차가 도로 중앙에 있도록 조이스틱을 조정하는 과제와 화면에 특정한 자극이 나오면 버튼을 누르는 과제)를 동시에 수행하는 이중 과제 수행 시의 수행 양상을 알아보았다. 실험 결과 이중 과제 수행 시 나타나는 반응시간은 참가자의 연령이 증가함에 따라 일정한 비율로 증가하였다. 이는 노화에 따른 인지 통제 능력의 감퇴가 선형적으로 나타남을 시사한다.

그러나 여전히 다수의 연구는 나이 차이가 두드러지는 두 집단(예: 20대와 60대 이상 집단)만을 대상으로 연령 간 비교 연구를 수행하고 있다. 따라서 20대부터 60대까지의 매우 넓은 범위를 가진 연령대의 참가자를 대상으로 인지 통제 능력의 변화를 살펴보는 것은 큰 의의가 있다. 반응적 통제가 참가자의 연령에 영향을 받지 않는다는 결과(Braver et al., 2005; Bugg, 2014; Manard et al., 2014; Van Gerven et al., 2016)를 바탕으로 생각해보면, 이 통제 전략이 필요한 과제에서는 연령과 전환비용 사이의 상호작용이 관찰되지 않을 것이다. 그러나 억제 결핍 이론에서 주장하는 바와 같이 연령이 증가할수록 과제와 관련 없는 정보를 억제하는 능력이 떨어진다면(Aschenbrenner & Balota, 2017; Dey & Sommers, 2015; Nicosia & Balota, 2020) 전환 과제 역시 억제 능력과 관련이 있다고 알려져 있기 때문에 연령의 증가에 따라 전환비용이 커져서 연령과 전환비용이 상호작용 효과가 나타날 수 있다.

이론적 측면과 더불어 방법론적인 관점에서도 본 연구는 기존의 연구와 차별성이 있다. 전술한 바와 같이, 기존 연구의 대부분이 전환비용과 연령의 관계를 살펴볼 때 실험실기

반 연구를 수행하였고, 연령 조건 역시 젊은 성인 집단과 노인 집단을 비교하는 연구들이었다. 본 연구에서는 20대에서 60대에 이르는 다양한 연령대의 성인들을 대상으로 웹기반 실험을 진행하였다. 본 연구를 통해서 넓은 연령대를 대상으로 한 웹기반 실험의 타당성을 확인할 수 있다면, 본 연구의 결과는 향후 이와 같은 방법을 적용한 연구를 보다 적극적으로 활용할 수 있는 경험적 기반이 될 수 있을 것이다.

## 방 법

### 연구 대상

본 연구는 2021년 7월 한 달간 진행되었고, 20세에서 69세 사이의 성인 570명이 참여하였다. 참가자들은 한 온라인 리서치 회사의 패넬로, 이들은 실험 완료 후 금전적 보상을 받았다. 570명의 참가자 중에서 나이를 확인할 수 없거나 참가자가 보고한 나이와 리서치 회사 측에서 제공한 나이가 일치하지 않은 77명의 참가자의 데이터와 과제 수행의 정확률이

지나치게 낮은 100명의 데이터를 분석에서 제외하였다.

참가자 중에서 정확률이 낮아 분석에 포함되지 않은 100명의 참가자의 반응 오류 패턴은 세 가지로 구분되었다. 첫 번째와 두 번째 반응 오류는 한 과제에 집중하여 한 손에 지나치게 집중한 경우로 일부 참가자들은 한 손만을 사용하여 과제를 수행하다 보니 다른 손으로 응답해야 하는 과제가 모두 오반응으로 처리되어 두 과제의 정확률이 100% 대 0%의 패턴을 보였고, 다른 참가자들은 두 손을 사용하기는 하나 한 과제에만 주의를 기울여서 한 손의 정확률은 상당히 높지만 다른 손의 정확률이 60% 미만으로 나타났다. 마지막 유형은 두 손을 모두 사용해서 과제를 했지만, 과제에 대한 집중력이 떨어지거나 과제에 대한 이해도가 낮아 두 과제 모두의 정확률이 60% 미만인 경우였다. 이때 낮은 정확률의 기준을 60%로 잡은 이유는 두 개의 과제가 무선적으로 제시되는 전환 과제를 사용한 연구들(Alzhabi et al., 2017; Mittelstädt et al., 2018; Zheng & Church, 2021)이 위의 기준으로 분석에 자료를 포함시킬지 여부를 판별했기 때문이었다.

표 2. 분석에 사용된 표본의 인구통계학적 특성(N=393)

	조건	20대	30대	40대	50대	60대	합계
연령	빈도	100	75	74	77	67	393
	평균 (단위: 세)	25.45	34.2	43.55	53.1	63.73	
성별	남	52	39	41	43	43	218
	여	48	36	33	34	24	175
학력	고등학교 졸업 이하	33	5	9	11	16	74
	대학교 졸업	65	61	54	53	42	275
	대학원 이상 졸업	2	9	11	13	9	44

위의 이유로 제외된 참가자들을 제외하고 전체 참가자들의 나이를 기준으로 5개의 집단(20대, 30대, 40대, 50대, 60대)을 구분하고 집단별 참가자 수, 성별 비율, 학업 수준은 표 2에 기재하였다. 참가자들은 웹기반 실험에 참여하기 전에 광주과학기술원에서 승인을 받은 연구 동의서(20201008-HR-56-06-02)를 읽었고, 연구 동의서에 동의한 사람들만 본 연구에 참여하였다.

### 실험 도구

본 실험은 Psychopy3로 만들어졌고, 완성된 실험은 온라인 실험 플랫폼인 Pavlovia (<https://pavlovia.org>)에 업로드되었다(Peirce et al., 2019). 실험 진행에 앞서 리서치 회사 담당자는 본 연구자들의 관심 연령대에 있는 패널들에게 이메일로 참여 의사를 물었고, 참가 의향을 밝힌 패널들은 자신의 이메일로 실험 링크를 전달받았다. 참가자들은 자신의 컴퓨터나 노트북을 이용해 해당 실험 링크를 클릭한 뒤 본 실험을 수행하였다.

### 실험 자극

실험 자극으로는 5를 제외한 한 자릿수의 숫자 8개가 사용되었고, 숫자 자극이 제시되기 전에 빨간색 혹은 파란색 테두리의 도형이 화면 중앙에 제시되었다. 도형의 테두리 색깔은 참가자가 이번 시행에서 수행해야 하는 과제를 알려주는데, 만약 빨간색 테두리의 도형이 제시되면 참가자들은 이후에 나오는 숫자를 보고 그 숫자가 홀수인지 짝수인지를 판단해야 했고, 파란색 테두리가 제시되면 이후에 나오는 숫자가 5보다 큰지 작은지를 판단해야

했다.

### 실험 절차

실험은 화면 중앙에 고정점(+)이 나타나는 것으로 시작된다. 500ms 후 고정점이 사라진 자리에는 빨간색 또는 파란색 테두리의 마름모가 제시된다. 이때 참가자들은 제시된 도형의 테두리 색깔을 기억했다가 그 테두리 색깔에 맞는 숫자 판단 과제를 수행하라는 지시를 받았다. 만약 빨간색 테두리의 마름모가 제시되면 참가자들은 이후에 나오는 숫자를 보고 그 숫자가 홀수인지 짝수인지를 판단해야 했고, 파란색 테두리가 제시되면 이후에 나오는 숫자가 5보다 큰지 작은지를 판단해야 했다. 과제를 알려주는 단서인 색깔 마름모가 500ms 동안 제시되었다가 사라지고 난 뒤에는 목표 자극이 제시된다. 목표 자극은 5를 제외한 10 이하의 숫자 8개가 사용되었고, 크기 판단 과제(왼손: “a”와 “s” 키)와 홀짝 판단 과제(오른손: “k”와 “l” 키)는 서로 다른 손을 이용하여 반응할 수 있도록 실험을 설계하였다. 본 실험에 들어가기 앞서서 참가자들은 16번의 연습을 하였고, 연습이 끝나면 96 시행으로 구성된 본 시행을 수행하였다. 이때

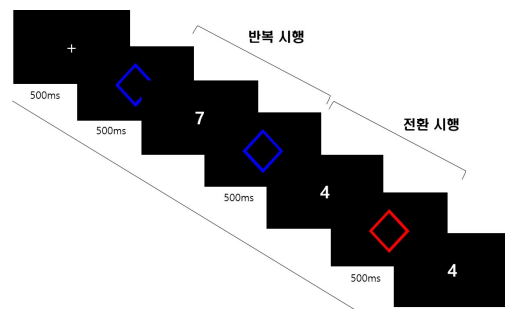


그림 1. 과제 전환 실험 절차



크기 판단과 흠잡 판단은 모두 48번씩 제시되었고, 각 과제 내에서 반복 시행과 전환 시행은 24번씩 무선적인 순서로 나타났다. 본 실험의 소요 시간은 연습 시행을 포함하여 10분 내외였다.

### 분석 방법

본 연구에서는 참가자들이 목표 자극을 보고 자극에 대한 과제를 수행했을 때의 반응시간과 정확률을 종속변인으로 사용하였다. 많은 선행 연구가 반응시간의 차이를 통해서 연령에 따른 인지 통제 능력의 변화를 보고하고 있지만, 이 효과가 노화로 인한 인지 통제 능력 저하에 의한 것인지 아니면 단순히 처리속도의 증가로 인한 효과인지를 구분해야 한다. 처리속도 이론(Salthouse, 1996)은 사람들의 나이가 증가할수록 인지 과제를 수행하는 속도가 전반적으로 감퇴한다고 설명하며, 실제 연구들도 노인 집단의 평균 반응 속도가 젊은 성인 집단에 비해 느려짐을 보고하고 있다(Der & Deary, 2006; Hulsch et al., 2002). 연령 집단 간 비교를 통해서 인지 능력의 변화를 살펴보는 연구에서는 특히 집단 간 단순 반응시간의 차이가 효과 크기를 과장되게 할 가능성이 있다(Nicosia et al., 2021; Rey-Mermet & Gade, 2018; Verhaeghen, 2011; 2013). 예를 들어 전환 과제를 수행한 20대 집단의 반복 조건과 전환 조건의 반응시간이 각각 400ms와 450ms였고, 60대의 평균 반응시간이 20대의 1.5배 정도 느렸다고 가정을 하면 60대의 반복 조건과 전환 조건의 반응시간은 600ms와 675ms가 되면서, 연령에 따른 단순 반응시간 증가로 인해 전환비용이 커지는 현상이 생기게 된다. 따라서 연령 증가로 인한 인지 능력

의 변화를 비교하는 연구에서는 결과 분석 시, 연령에 따른 단순 반응시간의 차이를 통계적인 측면에서 보정할 수 있는 방법을 충분히 고려해야 한다. 연령 집단 간 전환비용의 차이를 비교하는 최근 연구들은 대체로 시행별로 얻은 반응시간을 그대로 사용하지 않고 자연로그값으로 변환하여 연령에 따른 단순 반응시간의 차이를 보정한 뒤에 집단 간 비교를 진행하고 있다(Goffaux et al., 2006; Kray et al., 2004).

이에 본 연구에서도 반응시간 증가에 의한 효과가 아닌 집단별 인지 통제 능력의 차이를 정확하게 비교하기 위해서 참가자의 개별 반응시간의 자연로그(natural logarithm)값을 종속변인으로 하여 반응시간 분석을 진행하였고, 정확률은 참가자의 정반응은 1로, 오반응은 0으로 코딩한 뒤에 분석을 실시하였다. 두 개의 종속변인은 R 프로그램의 lme4 패키지(Bates et al., 2014)에 내장된 lmer/glmer 함수를 사용하여 선형 혼합 효과(linear mixed effects) 분석을 진행하였다. 고정 변인으로는 과제 전환 여부, 과제 종류, 참가자 나이, 3개의 이원 상호작용(과제 전환 여부 \* 참가자 나이, 과제 종류 \* 참가자 나이, 과제 전환 여부 \* 과제 종류), 세 변인(과제 전환 여부, 과제 종류, 참가자 나이)의 삼원 상호작용 변수가 포함되었고, 무선 변인으로는 참가자와 자극에 대한 무선 절편(random intercept)을 투입하였고, 참가자에 대한 무선 기울기(random slope)로는 과제 종류, 과제 전환 여부, 그리고 과제 종류와 전환 여부의 상호작용을 포함시켰다. 참가자 나이는 연속 변인으로 설정하였고 학력은 범주 변인으로 설정하여 분석을 진행하였으며 이때 학력 변인은 참가자 간의 교육 수준의 효과를 통제하기 위한 통제 변인으로 투입되

었다. 고정 변인의 효과에 대한 유의 확률은 lmerTest 패키지(Kuznetsova et al., 2017)를 이용하여 계산되었고, 통계적 유의성의 유의수준은 0.05로 설정하였다.

## 결 과

### 온라인 연령차 연구의 신뢰도

다양한 연령대의 참가자들을 대상으로 얻어진 웹기반 실험 데이터의 신뢰도를 확인하고자 반응시간과 정확률의 반분신뢰도를 계산하였다. 반분신뢰도를 계산하는 방법으로는 전체 시행을 전-후로 구분하는 방법과 홀수 시행과 짝수 시행을 구분하는 방법이 있다. 자극의 제시 순서를 기준으로 앞 시행과 뒤 시행을 구분하는 방법은 참가자들이 과제를 수행해나감에 따라 나타나는 연습 효과가 혼입될 수 있으므로(Davidson et al., 2003; Pratte et al., 2010; Whitehead et al., 2019), 자극 제시 순서에 따른 연습 효과를 통제할 수 있는 홀짝 분할법을 사용하여 반응시간과 정확률의 반분신뢰도를 계산하였다. 참가자 연령별 반응시간과 정확률의 반분신뢰도 계수는 표 3에 제

표 3. 연령집단별 반응시간과 정확률의 반분신뢰도

	반응시간	정확률
20대	.913**	.705**
30대	.903**	.828**
40대	.949**	.78**
50대	.939**	.982**
60대	.925**	.91**

\*\*  $p < .01$

시하였다. 실험에 참여한 20대부터 60대까지의 참가자의 과제 수행 속도와 정확률의 반분신뢰도는 높은 수준의 상관을 보였다.

### 전환 과제 수행에서의 연령차 효과

표 4는 전환 과제 수행 시 참가자 나이와 실험조건에 따른 반응시간과 정확률의 기술통계치를 나타낸다. 반응시간 분석에서는 오반응과 과제 전환 여부를 확인할 수 없는 첫 번째 시행이 제외되었고, 참가자가 속한 연령 집단의 평균 반응시간에서 3 표준편차 이상인 반응들은 정상적인 과제 수행을 반영하지 못한다고 간주하여 분석에서 제외(0.04%)하였다.

참가자들의 보정된 반응시간<sup>1)</sup>과 정확률을 종속변인으로 하여 고정 변인의 효과를 확인한 선형 혼합 효과 모형의 결과는 표 5에 제시되었다. 기존의 과제 전환 연구에서 관찰되듯이 본 실험에서도 과제 전환 조건의 반응이

1) 보정되지 않은 미가공 반응시간을 종속변인으로 하는 선형 혼합 모형 분석도 역시 진행하였다. 분석 결과, 참가자의 나이가 증가할수록 반응시간이 느려지는 효과가 나타났다( $b=9.92$ ,  $SE=1.03$ ,  $t=9.55$ ,  $p<0.001$ ), 홀짝 판단 과제를 할 때의 반응시간이 크기 판단을 하는 것에 비해 느렸다( $b=124.28$ ,  $SE=36.94$ ,  $t=3.36$ ,  $p=0.0008$ ). 비록, 과제 전환의 주효과는 없었지만( $b=57.92$ ,  $SE=38.07$ ,  $t=1.52$ ,  $p=0.12$ ), 참가자 연령과 전환비용 사이에 상호작용이 유의미했다( $b=2$ ,  $SE=0.85$ ,  $t=2.34$ ,  $p=0.01$ ). 상호작용이 나타난 이유가 연령의 증가로 인한 인지 통제 능력의 저하로 해석될 수도 있으나, 로그변환 반응시간을 이용하여 분석한 결과에서는 두 변인 사이의 상호작용이 사라졌다. 따라서 미가공 반응시간을 종속변인으로 한 분석에서 나타난 이 상호작용 효과는 노인 집단의 처리 속도 증가로 인해 나타난 결과라고 해석하는 것이 더 적절하다.

표 4. 연령집단과 실험조건에 따른 로그변환 반응시간과 정확률의 평균 및 표준편차

		반응시간		정확률	
		크기 판단	홀짝 판단	크기 판단	홀짝 판단
20대	과제 반복	6.51 (0.44)	6.65 (0.46)	0.98 (0.12)	0.96 (0.19)
	과제 전환	6.66 (0.52)	6.79 (0.5)	0.98 (0.13)	0.95 (0.22)
30대	과제 반복	6.65 (0.47)	6.71 (0.47)	0.98 (0.16)	0.95 (0.22)
	과제 전환	6.7 (0.52)	6.84 (0.48)	0.97 (0.18)	0.95 (0.22)
40대	과제 반복	6.69 (0.48)	6.79 (0.48)	0.98 (0.12)	0.97 (0.18)
	과제 전환	6.81 (0.53)	6.91 (0.48)	0.98 (0.15)	0.95 (0.2)
50대	과제 반복	6.76 (0.46)	6.88 (0.45)	0.93 (0.24)	0.92 (0.27)
	과제 전환	6.86 (0.51)	7 (0.44)	0.93 (0.26)	0.93 (0.25)
60대	과제 반복	6.91 (0.47)	6.99 (0.48)	0.96 (0.19)	0.95 (0.2)
	과제 전환	7.07 (0.54)	7.15 (0.46)	0.95 (0.22)	0.95 (0.22)

반복 조건에 비해 느리고 부정확했다. 또한, 과제 종류의 효과가 있었는데 참가자들은 제시된 숫자를 보고 기준점이 5에 비해 큰지 작은지를 판단하는 것과 비교해서 숫자의 홀짝 판단 과제를 하는 데 더 많은 시간을 들였다.

다음으로 과제를 수행하는 참가자의 인구통계학적 특성인 학력과 나이가 과제 수행 전반에 미치는 영향을 확인했다. 학력에 따른 수행 차이는 관찰되지 않았지만, 연령이 증가할수록 자극 특성을 판단하는 데 걸리는 시간이 증가했고 정확률도 낮아졌다. 연령의 증가로

수행 저하가 있었음에도 연령과 과제 전환 여부 간의 상호작용은 나타나지 않았는데<sup>2)3)</sup>, 그

2) 연령에 따른 전환비용의 차이를 비교한 선행 연구들과 유사하게 20대와 60대의 전환비용의 차이를 비교하는 추가분석을 진행하였다. 다양한 나이대의 반응을 종속변인으로 하여 분석했을 때와 같은 분석 방법을 사용하여 두 집단의 전환 과제 수행 차이를 비교하였다. 본 분석 결과와 마찬가지로 전환 여부와 연령 사이의 상호작용은 없었다( $p=0.75$ ). 하지만 과제 전환의 주효과( $b=0.12$ ,  $SE=0.03$ ,  $t=3.69$ ,  $p<0.001$ ), 과제의 주효과( $b=0.18$ ,  $SE=0.03$ ,  $t=5.17$ ,  $p<0.001$ ), 연령의

표 5. 과제 전환 여부와 참가자 나이에 대한 선형 혼합 효과 분석 결과

		Estimate	SE	t	Pr(>t)
반응 시간	(절편)	6.356	0.080	79.732	0.000
	과제 전환 여부	0.1153	0.027	4.234	0.000
	과제 종류	0.174	0.030	5.841	0.000
	참가자 나이	0.01048	0.001	11.231	0.000
	참가자 학력	-0.02035	0.012	-1.646	0.101
	과제 전환 여부 * 과제 종류	0.01222	0.033	0.369	0.712
	과제 전환 여부 * 참가자 나이	0.000004	0.001	0.006	0.995
	과제 종류 * 참가자 나이	-0.001577	0.001	-2.363	0.019
	과제 전환 여부* 과제 종류* 참가자 나이	0.00049	0.001	0.662	0.508
		Estimate	SE	z	Pr(>z)
정확률	(절편)	5.964	0.644	9.256	0.000
	과제 전환 여부	-0.349	0.383	-0.912	0.362
	과제 종류	-2.147	0.438	-2.682	0.000
	참가자 나이	-0.026	0.010	-2.682	0.007
	참가자 학력	0.038	0.083	0.456	0.649
	과제 전환 여부 * 과제 종류	-0.190	0.459	-0.414	0.679
	과제 전환 여부 * 참가자 나이	-0.004	0.007	-0.509	0.611
	과제 종류 * 참가자 나이	0.022	0.009	2.499	0.012
	과제 전환 여부* 과제 종류* 참가자 나이	0.009	0.009	0.981	0.327

주효과( $b=0.01$ ,  $SE=0.001$ ,  $t=10.32$ ,  $p<0.001$ ), 그리고 연령과 과제 사이의 상호작용( $b=-0.001$ ,  $SE=0.001$ ,  $t=2.34$ ,  $p<0.05$ ) 효과는 유의미하게 나타났다.

- 3) 반응시간 분석에서 과제 전환과 연령의 상호작용 효과가 통계적으로 유의미한 결과를 나타내지 않았기 때문에 이 결과에 대하여 시뮬레이션에 기반한 효과 크기 분석 패키지인 mixedpower (Kumle et al., 2021)를 사용하여 분석 결과의 통계적 검증력을 확인하였다. 본 연구 결과 분석 시 포함된 393명의 표본 크기를 기준으로 얻어진 과제 전환의 효과의 검증력은 0.99였고, 과제와 연령 효과의 검증력은 1이었으며, 과제와 연령의 상호작용 효과의 검증력은 0.66이었다.

이유는 서론에서 언급한 바와 같이 연령 증가가 노년층의 반응적 통제 기제의 저하를 일으키지 않았음을 시사한다. 이에 대한 더 깊이 있는 이론적 설명은 논의 부분에서 추가하여 다루기로 한다. 연령과 과제 전환 여부의 상호작용은 유의미하지 않았지만, 연령과 과제 종류 사이의 상호작용은 통계적으로 유의미한 결과가 나타났다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 나이가 증가할수록 반응시간과 정확률 모두에서 과제 종류에 따른 수행의 차이가 작아졌다. 연령이 증가할수록 과제 종류에 따른 반

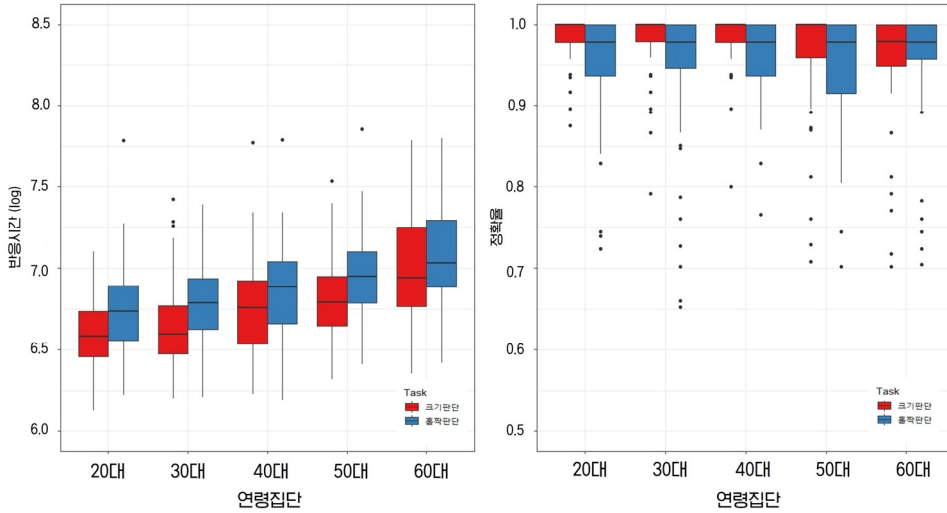


그림 2. 참가자 연령과 과제 종류의 상호작용(왼쪽: 반응시간, 오른쪽: 정확률)

응 차이가 작아진 이유는 나이가 들수록 과제 수행 능력이 떨어지다 보니, 고령의 참가자들이 과제 난이도와 상관없이 모든 과제 처리에 노력을 기울이게 되어서 두 과제 간 수행의 차이가 사라지게 된 것으로 해석된다.

## 논 의

본 연구의 목적은 웹기반 연구방법을 사용하여 20세부터 69세의 한국인들의 인지 통제 능력, 보다 구체적으로는 전환 능력이 연령에 따라 변화하는가를 확인하는 것이었다. 이를 위해 5를 제외한 1에서 9까지의 숫자 8개를 실험 자극으로 사용하여 화면 중앙에 빨간 테두리의 마름모 단서가 제시될 때는 참가자들이 홀짝 판단 과제를, 파란 테두리의 단서가 제시될 때는 크기 판단 과제를 수행하도록 실험을 설계하였다. 분석 결과, 참가자의 나이가 증가할수록 과제 수행 속도와 수행율이 모두

떨어지는 연령의 효과가 나타났고, 같은 과제를 반복해야 하는 조건에 비해 방금 전 시행에 했던 과제와 다른 과제를 현재 시행에 해야 하는 전환 조건의 수행이 떨어졌으며, 숫자의 홀짝을 판단하는 과제를 크기를 판단하는 과제에 비해 어려워했다. 또한 이러한 과제 종류(난이도)와 연령의 상호작용 효과도 나타났는데, 참가자의 연령이 증가함에 따라 과제 종류의 효과가 줄어들었다. 하지만 전환 시행과 반복 시행 사이의 수행 차이인 전환비용은 참가자의 연령과 무관하게 일관되게 나타났다.

기존에 잘 알려진 바와 같이 본 연구에서도 연령이 증가함에 따라 과제 수행 속도가 느려졌고 정확도 역시 떨어졌다(Salthouse, 1996). 이에 대해서 처리속도 이론은 노화로 인한 처리속도의 감소가 단순한 자극의 특성을 판단하는 과제에서부터 자극에 대한 고차적인 인지 처리를 요구하는 과제까지 폭넓게 영향을 줄 수 있다고 설명하고 있으며, 이러한 설명

을 지지하는 경험적 증거들도 꾸준히 보고되고 있다(Deary et al., 2010; Finkel et al., 2007; Lee et al., 2012; Zimprich & Martin, 2002). 특히 본 연구의 참가자들은 실험실에 방문하지 않고, 실험자가 발송한 실험 링크에 접속하여 참가자가 편한 시간과 장소에서 과제를 수행하였다. 이처럼 자료 수집 방식의 차이에도 불구하고 연령이 증가함에 따라 반응시간이 느려지는 결과가 나타난 것은 처리속도 이론이 노화로 인한 인지 기능의 변화를 잘 설명해주고 있음을 보여주는 결과이며, 나아가 웹 기반 연구 방법도 실험실기반 연구 방법만큼 안정적이고 타당한 자료를 수집할 수 있는 연구기법임을 나타내는 증거로 해석된다. 그러나 본 연구에서 처리속도의 증가가 온전히 노화의 영향인지, 아니면 컴퓨터에 친숙하지 않은 참가자들이 혼자서 실험을 하게 되어서 나타난 결과인지는 추가 연구를 통해 확인해볼 필요가 있다.

또한 본 연구에서는 과제 종류에 따른 수행의 차이가 연령이 증가할수록 줄어드는 결과를 얻었다. 이와 같은 결과는 연령이 증가할수록 과제 수행이 느려지고 부정확해졌기 때문에 나타난 현상으로 보인다. 본 연구 결과에서 확인되었듯이 참가자들의 수행은 연령의 증가와 부적인 관련성을 맺고 있다. 즉, 비슷한 실험 도구를 사용하여 같은 과제를 수행하더라도 젊은 성인 참가자에게 쉬운 문제가 나이가 든 성인 참가자에게는 부담으로 작용할 수 있다. 연령이 증가할수록 참가자들이 쉬운 과제도 어렵게 느끼고 있음은 60대가 쉬운 과제를 수행할 때 보였던 정확률 결과(그림 2 참조)를 통해서 확인할 수 있다. 따라서 젊은 성인들의 경우에는 두 개의 과제의 난이도가 다르다면 쉬운 문제는 빠르게 처리하고 어려

운 문제는 충분한 시간을 들이는 전략을 사용할 수 있지만, 나이가 있는 성인들은 과제의 난이도와 상관없이 두 과제 모두에 충분한 시간을 들여서 문제를 해결하는 방식을 취하게 되어서 두 과제 간에 차이가 작게 나오는 것으로 해석된다.

본 연구에서는 전환 과제를 사용했기 때문에 기존 연구들과 마찬가지로 과제 전환의 주효과가 있었으나, 전환비용의 크기는 참가자의 나이와 관계없이 일정하게 나타났다. 이와 같은 전환비용의 연령 효과 부재는 반응적 통제와 같은 일부 상황에서는 노인들에게도 청년층만큼의 인지 통제 능력이 있음을 보여준다(Braver et al., 2005; Bugg, 2014; Manard et al., 2014; Van Gerven et al., 2016). 기존 연구들은 노화가 진행될수록 자극 처리 속도와 인지 통제 능력이 저하된다는 결과들을 주로 보고하였고, 이러한 현상을 억제 결핍 이론(Hasher & Zacks, 1988)으로 설명한다. 억제 능력은 인지 통제 능력의 기본이 되는 능력으로서 현재 시행과 무관한 자극에 주의를 기울이지 않게 도와주기 때문에, 이 능력의 저하는 노년층의 전반적인 인지 통제 능력이 젊은 성인들에 비해 떨어지는 것과 관련이 있다. 하지만 본 연구 결과를 포함하여 최근 연구들이 나이가 들어감에 따라 인지 통제 능력의 저하가 일부 통제 기제에서만 선택적으로 나타난다는 결과를 보고한다는 점을 고려한다면, 억제 능력의 결핍만으로 노화에 따른 인지 통제 능력의 변화를 설명하는 것은 충분하지 않은 것으로 보인다.

서론에서 언급한 바와 같이, 인지 통제 능력이 여러 가지의 구성 요소로 이루어져 있다는 모형들이 제안되었는데(Miyake et al., 2000), 이 중 이원 통제 기제 모형(Dual Mechanism

Control model, 이하 DMC 모형; Braver, 2012)은 인지 통제의 처리 방식에 따라 이를 능동적 통제와 반응적 통제로 구분된다고 설명한다. 능동적 통제를 사용하는 상황에서 참가자는 과제 수행에 앞서 과제에 맞는 전략을 미리 설정하고 이 목표를 기준으로 제시되는 자극들을 처리한다. 그러므로 과제 수행 시 상황에 맞는 목표를 계속 유지해야 하므로 작업 기억에 부담을 주게 된다(Bugg, 2014; De Pisapia & Braver, 2006). 이에 반해 참가자가 반응적 통제 기제를 사용해서 과제를 수행할 경우 자극 특성에 맞는 전략을 자극에 기반하여 만들기 때문에 능동적 통제를 이용하는 경우와 비교해서 참가자들의 작업 기억 부담이 적다(Bugg, 2014; Jacoby et al., 2003). 두 통제 기제의 처리 방식 차이는 연령 간 인지 통제 능력에도 다른 영향을 주게 된다. 기존 연구 결과들에서 보고한 바와 같이 과제 수행 중 하나의 전략을 유지해야 하는 능동적 통제 과제에서는 노년층의 수행이 청년층과 비교해 떨어진다(Braver et al., 2005; Bugg, 2014; Manard et al., 2014; Van Gerven et al., 2016). 하지만 상황에 맞는 전략을 사용해야 하는 반응적 통제 과제에서는 이 과제를 수행하는 데 필요한 인지 능력에 노화의 영향이 미미하여서 본 연구의 결과와 같이 노년층과 청년층의 수행 차이가 나타나지 않는다(Braver et al., 2005; Bugg, 2014; Goffaux et al., 2006; Kray et al., 2005; Nashiro et al., 2018).

그렇다면 반응적 통제가 노화의 영향을 덜 받게 된 이유는 무엇일까? 연령에 따른 반응적 통제 능력의 차이가 관찰되지 않는 이유로는 상술한 능동적 통제와 반응적 통제의 처리 방식의 차이로 설명될 수 있다. 능동적 통제는 과제를 분석하고 의식적으로 필요한 전략

을 설정하는 반면에 반응적 통제는 자극의 특성에 맞춰 자동적으로 전략을 설정하는 방식을 취한다. Crump 등(2006)은 반응적 통제가 자동적으로 처리되는지를 확인하기 위해 젊은 성인들을 대상으로 하여 반응적 통제를 유발하는 자극의 규칙을 직접 물어보는 연구를 진행하였다. 실험 결과 참가자들은 자극에 맞는 통제 전략을 적절하게 사용했지만, 자신이 사용하는 전략이 무엇인지는 인식하지 못하고 있었다. 이와 같은 의식적 처리와 암묵적 처리의 연령 효과 차이는 기억 연구를 통해 확인할 수 있다. 노화에 따른 기억의 변화를 확인한 연구들은 노화가 진행되면 외현 기억의 감퇴는 극명하게 나타나지만 암묵 기억에서는 연령에 따른 변화가 거의 나타나지 않는다는 결과를 제시한다(Brickman & Stern, 2009; Fleischman et al., 2004; Gopie et al., 2011). 따라서 반응적 통제가 필요한 연구들에서 연령 효과가 관찰되지 않은 이유는 이 처리가 자극 특성에 맞는 자동적 처리를 요구하고 이러한 처리는 노화에 덜 민감하게 작용하기 때문이다.

반응적 통제가 노화에 따른 영향을 덜 받는 것은 뇌 활성화 양상의 변화로도 설명될 수 있다. 기능성 자기공명 영상 기법을 사용하여 목표 지향적인 통제와 자극 지향적인 통제에 관여하는 뇌 영역을 확인한 연구들은 능동적 통제와 같이 목표에 기반한 통제 능력에서는 뇌의 전측 영역의 활성화를 보고했으나(Chiu & Yantis, 2009; Wu et al., 2015), 자극에 기반하여 통제 전략을 만드는 반응적 통제에서는 뇌의 후측 영역의 활성화 결과를 제시하였다(Chica et al., 2011; King et al., 2012; Wu et al., 2015). 전두 영역과 후두 영역의 활성화 패턴은 노화가 진행될수록 달라진다. 보다 구체적

으로 청년층에서는 뇌의 후측 보다 전측 영역의 활성화가 크게 관찰되고, 노년층에서는 이 활성화 패턴이 변화되어 뇌의 전측 보다 후측 영역의 활성화가 커진다(Bennett et al., 2010; Grieve et al., 2007; Gunning-Dixon et al., 2009). 즉 노년층에서 관찰되는 후두엽의 높은 활성화는 그들이 반응적 통제와 같이 후두엽에서 처리되는 과제를 청년층만큼 수행할 수 있게 만드는 것이다.

이처럼 많은 연구가 반응적 통제가 노화의 영향을 받지 않는다는 결과를 보고하고 있고, 본 연구 결과도 이 연구들과 일관된 결과를 보여주고 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 실험 절차가 반응적 통제만을 필요로 했는지는 생각해볼 여지가 있다. 본 연구에서 사용한 실험 절차에서 매 시행 과제 단서가 주어지고 참가자는 과제 단서에 맞춰서 적절한 과제 표상을 준비해야 하므로 반응적 통제 능력이 필요한 것은 확실하다. 하지만 과제를 수행하는 상황에서 참가자들은 과제에 필요한 전체 전략(예: 단서로 제시되는 도형의 색깔을 보고 그에 맞는 과제를 수행해야 한다)를 머릿속에 유지하며 과제를 수행할 수 있어서 능동적 통제도 본 과제 수행에 영향을 줬을 가능성도 있다. 따라서 이후 연구에서는 능동적 통제가 배제된 상황에서 반응적 통제만이 관여하는 과제를 사용하여 노화와 인지통제의 관계를 살펴 볼 필요가 있다.

본 연구 결과를 바탕으로 한 가지 더 논의할 문제는 극단적인 나이 차이가 나는 집단인 20대와 60대의 데이터를 가지고 연령과 전환비용의 상호작용을 확인한 분석 결과에서도 연령과 전환비용의 유의미한 상호작용이 나타나지 않았다는 점이다. 서론에서 살펴본 바와 같이, 노화에 따른 전환비용의 변화를 살펴보

고자 했던 많은 연구도 연령에 따른 전환비용의 차이가 없음을 보고하였다(Goffaux et al., 2006; Kray et al., 2004, 2005; Nashiro et al., 2018). 하지만 비슷한 실험 자극을 사용하여 연구를 진행했음에도 불구하고 일부 연구들은 참가자의 연령이 증가할수록 전환비용이 늘어난다는 결과를 보고하였다(DiGirolamo et al., 2001; Mayr, 2001; Reimers & Maylor, 2005). 이렇게 상반된 결과가 나타난 이유로는 실험에 참여한 노인 집단의 연령 차이를 들 수 있다. 전환비용의 연령차가 있었던 연구의 노인 집단 평균 연령은 70세에 가까웠던데 반해, 본 연구를 포함하여 전환비용에서 연령 효과의 부재를 보고한 연구의 노인 집단 평균 연령은 60대 초·중반 대였다. 연구에 참여한 노인 집단의 평균 연령의 차이가 전환비용과 연령의 상호작용 유무의 원인인지는 정확히 알 수 없지만, 향후 연구에서는 연구에 참여하는 노인 집단의 연령도 주의 깊게 고려할 수 있는 변수임에는 틀림이 없다.

본 연구는 이론적인 측면과 더불어 방법론적인 측면에서도 새로운 방법을 사용하여 연령차 연구를 진행했다는 점에서 의미가 있다. 웹기반 연구 방법이 통제된 실험실 환경에서 진행된 연구만큼 신뢰롭고 안정된 결과를 보고하는지는 많은 선행 연구 결과를 통해 확인할 수 있다(Anwyl-Irvine et al., 2020; Chetverikov & Upravitelev, 2016; Go et al., 2022; Kim et al., 2021; Kim, Lowder, & Choi, 2021; Kochari, 2019; Lee et al., 2021; Semmelmann & Weigelt, 2017; Tae et al., 2021). 예를 들어 Tae 등(2021)은 단어 재인 연구에서 빈번하게 사용되는 시각 차폐 점화 과제와 교차 양상 차폐 점화 과제를 웹기반 연구로 변형하여 실험실기반 연구에서 관찰된 표기 촉진 효과가 웹기반 연구



에서도 동일하게 나타난다는 결과를 보고하였다. 또한, Kim 등(2021)은 문장 처리 연구에서 안정적으로 관찰되는 어휘 예측성 효과가 자기조절읽기과제를 사용한 웹기반 실험 연구에서도 확인되는지를 살펴보는 연구를 진행하였고, 실험자가 없는 자유로운 환경에서 과제를 수행하는 상황에서도 어휘 예측성 효과가 유의미하게 나타났다. 언어 처리 과정을 확인한 연구들 외에도 본 연구에서처럼 개인의 인지 통제 능력(Anwyl-Irvine et al., 2020; Chetverikov & Upravitelev, 2016; Lee et al., 2021; Semmelmann & Weigelt, 2017)을 웹기반 연구방법을 사용하여 측정한 연구들도 활발하게 진행되고 있다.

실험실기반 연구와 비교해서 웹기반 연구가 가지고 있는 가장 큰 장점은 짧은 시간에 많은 참가자의 데이터를 얻을 수 있으며, 연구에 참여한 사람들의 특성도 다양하다는 점이다. 지금까지 국내에서 진행된 대부분의 웹기반 실험 연구들은 대학생들을 대상으로만 데이터를 모았다는 아쉬움이 있다. 본 연구를 이러한 한계점을 보완하고자 리서치 회사의 패널 중에서 20세부터 69세 사이의 성인들을 실험 참가자로 모집하여 일반적인 한국 성인들의 연령별 인지 통제 능력의 변화를 이해하고자 했다는 점에서 의의가 있다. 정보화 시대의 도래로 인해 모든 연령대의 사람들이 컴퓨터에 익숙해지기는 했지만, 여전히 중·장년층들은 청년층과 비교해 컴퓨터 사용 빈도가 낮고 기기 사용에 어려움을 경험하고 있다. 그런데도 전 연령층에서 일관되게 전환 조건의 반응이 반복 조건에 비해 느리고 부정확한 전환비용이 관찰된 것은 전연령을 대상으로 웹기반 실험을 사용할 수 있음을 시사하는 결과로 여겨진다. 하지만 실험실에서 진행

되는 연령차 연구들은 70대 이상 혹은 80대 이상의 고령층 참가자를 모집하여 연구를 진행하기도 하나, 해당 나이 대에 컴퓨터를 가지고 있는 실험 참가자를 찾기도 어려울 뿐만 아니라 실험자가 없는 상태에서 원활한 실험을 진행하는 것은 쉽지 않을 것이다. 따라서 추후 연구에서는 60대 이상의 노인 집단을 대상으로 웹기반 연구를 진행함으로써 실험실기반 연구와 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있는지를 확인하고 고연령 집단을 대상으로 웹기반 연구를 하는 데 생길 수 있는 문제와 이 문제를 해결하는 방안을 마련하고자 한다.

웹기반 연구방법과 실험실기반 연구방법을 비교한 연구들은 웹기반 연구의 우수성을 강조하고 있다. 하지만 웹기반 연구방법을 이용하여 본 연구에서 사용한 전환과제와 같은 복잡한 과제를 실시할 경우에는 더욱 세심한 실험 준비가 필요하다. 본 연구에 참여한 실험 참가자 중에서 정확률이 많이 낮아 분석에 포함되지 않은 100명의 참가자의 반응 오류를 분석한 결과 이 오류는 세 가지 양상으로 일어난다는 것을 확인할 수 있다. 첫 번째와 두 번째 반응 오류는 한 과제에 집중하여 한 손에 지나치게 집중한 경우로 일부 참가자들은 한 손만을 사용하여 과제를 수행하다 보니 다른 손으로 응답해야 하는 과제는 모두 오반응 처리가 되어 두 과제의 정확률이 100% 대 0%의 패턴을 보이고, 다른 참가자들은 두 손을 사용하기는 하나 한 과제에만 주의를 기울여서 한 손의 정확률은 상당히 높지만 다른 손의 정확률이 60% 미만으로 나타나기도 한다. 마지막 유형은 두 손을 모두 사용해서 과제를 했지만, 과제에 대한 집중력이 떨어지거나 과제에 대한 이해도가 낮아 두 과제 모두의 정확률이 60% 미만인 경우이다.

표 6. 분석에서 제외된 100명 참가자의 연령에 따른 오류 유형별 빈도표

	20대	30대	40대	50대	60대
한손만 사용한 경우	1명	2명	4명	2명	5명
한손의 수행이 월등한 경우	8명	8명	6명	11명	2명
두 과제 정확률이 모두 낮은 경우	2명	3명	10명	10명	26명

표 6은 오류 유형에 따른 참가자들의 분포를 연령대 별로 정리한 것이다. 연령별 참가자 수를 보면 연령대가 증가할수록 세 가지 유형에 속하는 오류를 보이는 참가자 수가 늘어나고 있음을 확인할 수 있고, 연령대에 따라 오류 유형의 패턴이 다르게 나타나는 것도 볼 수 있다. 보다 구체적으로 20대와 30대 참가자들은 주로 한 과제만을 선택하여 집중적으로 수행하는 오류를 보였고, 40대와 50대의 참가자들은 한 과제만 집중하는 오류와 두 과제의 정확률이 모두 낮은 오류를 보였으며, 마지막 60대는 두 과제를 모두 처리하기는 하지만 정확률이 지나치게 낮은 패턴을 보였다. 전체 중에서 25%에 달하는 참가자들이 높은 오반응율로 인해 분석에서 제외되었다는 것은 심리학 실험에 익숙하지 않은 일반 성인을 대상으로 웹기반 연구를 진행할 때는 실험에 대한 충분한 설명을 제공하거나 일정한 정확률에 도달할 때까지 연습 시행을 반복해야 하는 절차를 실험에 포함함으로써 어떤 참가자라도 효과적으로 실험에 참여할 수 있는 환경을 조성할 필요가 있음을 시사한다.

본 연구는 전환 능력의 연령차를 확인하고자 한국에 거주 중인 성인들(20세부터 69세까지)을 대상으로 웹기반 전환과제를 실시하였고, 전환 조건이 반복 조건에 비해 느리고 부정확해지는 전환비용이 모든 연령에서 일관되게 나타났음을 관찰하였다. 이러한 결과는 많

은 경우에 연령의 증가가 인지 통제 능력의 저하를 가져오지만, 전환비용을 측정할 수 있는 과제와 같이 자동적인 인지 통제를 요구하는 상황에서는 노화와 관계없이 일정한 통제 능력을 보일 수 있음을 보여준다. 또한 연령차 연구를 진행하는 과정에서 실험자가 참가자를 대면하여 연구를 진행하는 방식 외에도 웹기반 연구를 통해 자료 수집이 가능하다는 것을 본 연구 결과가 보여주었으므로 이 연구 기법을 사용하여 다양한 인지 기능의 발달적 변화를 확인하는 연구가 활발하게 진행되기를 기대한다.

## 참고문헌

- Alzahabi, R., Becker, M. W., & Hambrick, D. Z. (2017). Investigating the relationship between media multitasking and processes involved in task-switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43(11), 1872-1894. <https://doi.org/10.1037/xhp0000412>
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., ... & Gazzaley, A. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97-101.

- <https://doi.org/10.1038/nature12486>  
Anwyl-Irvine, A. L., Massonnié, J., Flitton, A., Kirkham, N., & Evershed, J. K. (2020). Gorilla in our midst: An online behavioral experiment builder. *Behavior Research Methods*, 52(1), 388-407.  
<https://doi.org/10.3758/s13428-019-01237-x>
- Aschenbrenner, A. J., & Balota, D. A. (2017). Dynamic adjustments of attentional control in healthy aging. *Psychology and Aging*, 32(1), 1-15. <https://doi.org/10.1037/pag0000148>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1406.5823>
- Bennett, I. J., Madden, D. J., Vaidya, C. J., Howard, D. V., & Howard Jr, J. H. (2010). Age related differences in multiple measures of white matter integrity: A diffusion tensor imaging study of healthy aging. *Human Brain Mapping*, 31(3), 378-390.  
<https://doi.org/10.1002/hbm.20872>
- Borella, E., Carretti, B., & De Beni, R. (2008). Working memory and inhibition across the adult life-span. *Acta Psychologica*, 128(1), 33-44.  
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.09.008>
- Botvinick, M., & Braver, T. (2015). Motivation and cognitive control: from behavior to neural mechanism. *Annual Review of Psychology*, 66, 83-113.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015044>
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: a dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 106-113.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Braver, T. S., Cohen, J. D., & Barch, D. M. (2002). The role of prefrontal cortex in normal and disordered cognitive control: A cognitive neuroscience perspective. *Principles of Frontal Lobe Function*, 428-447.  
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0027>
- Braver, T. S., Reynolds, J. R., & Donaldson, D. I. (2003). Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, 39(4), 713-726.  
[https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(03\)00466-5](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(03)00466-5)
- Braver, T. S., Satpute, A. B., Rush, B. K., Racine, C. A., & Barch, D. M. (2005). Context processing and context maintenance in healthy aging and early stage dementia of the Alzheimer's type. *Psychology and Aging*, 20(1), 33-46.  
<https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.1.33>
- Brickman, A. M., & Stern, Y. (2009). Aging and memory in humans, In L. R. Squire (Ed.), *Encyclopedia of neuroscience* (pp.175-180). Oxford: Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/b978-008045046-9.00745-2>
- Bugg, J. M. (2014). Evidence for the sparing of reactive cognitive control with age. *Psychology and Aging*, 29(1), 115-127.  
<https://doi.org/10.1037/a0035270>
- Buhrmester, M., Kwang, T., & Gosling, S. D. (2016). Amazon's Mechanical Turk: A new source of inexpensive, yet high-quality data?

- In A. E. Kazdin (Ed.), *Methodological issues and strategies in clinical research* (pp. 133-139). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14805-009>
- Burgess, G. C., & Braver, T. S. (2010). Neural mechanisms of interference control in working memory: effects of interference expectancy and fluid intelligence. *PLoS one*, 5(9), e12861. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012861>
- Burnham, M. J., Le, Y. K., & Piedmont, R. L. (2018). Who is Mturk? Personal characteristics and sample consistency of these online workers. *Mental Health, Religion & Culture*, 21(9-10), 934-944. <https://doi.org/10.1080/13674676.2018.1486394>
- Campbell, K. L., & Tyler, L. K. (2018). Language-related domain-specific and domain-general systems in the human brain. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 21, 132-137. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.04.008>
- Chetverikov, A., & Upravitelev, P. (2016). Online versus offline: The Web as a medium for response time data collection. *Behavior Research Methods*, 48(3), 1086-1099. <https://doi.org/10.3758/s13428-015-0632-x>
- Chica, A. B., Bartolomeo, P., & Valero-Cabré, A. (2011). Dorsal and ventral parietal contributions to spatial orienting in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 31(22), 8143-8149. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5463-10.2010>
- Chiu, Y. C., & Yantis, S. (2009). A domain-independent source of cognitive control for task sets: shifting spatial attention and switching categorization rules. *Journal of Neuroscience*, 29(12), 3930-3938. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5737-08.2009>
- Crump, M. J., Gong, Z., & Milliken, B. (2006). The context-specific proportion congruent Stroop effect: Location as a contextual cue. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(2), 316-321. <https://doi.org/10.3758/BF03193850>
- Davidson, D. J., Zacks, R. T., & Williams, C. C. (2003). Stroop interference, practice, and aging. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10(2), 85-98. <https://doi.org/10.1076/anec.10.2.85.14463>
- De Pisapia, N., & Braver, T. S. (2006). A model of dual control mechanisms through anterior cingulate and prefrontal cortex interactions. *Neurocomputing*, 69(10-12), 1322-1326. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2005.12.100>
- Deary, I. J., Johnson, W., & Starr, J. M. (2010). Are processing speed tasks biomarkers of cognitive aging? *Psychology and Aging*, 25(1), 219 - 228. <https://doi.org/10.1037/a0017750>
- Der, G., & Deary, I. J. (2006). Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychology and Aging*, 21(1), 62-73. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.21.1.62>
- Dey, A., & Sommers, M. S. (2015). Age-related differences in inhibitory control predict audiovisual speech perception. *Psychology and Aging*, 30(3), 634-646. <https://doi.org/10.1037/pag0000033>
- DiGirolamo, G. J., Kramer, A. F., Barad, V.,

- Cepeda, N. J., Weissman, D. H., Milham, M. P., ... & McAuley, E. (2001). General and task-specific frontal lobe recruitment in older adults during executive processes: a fMRI investigation of task-switching. *Neuroreport*, 12(9), 2065-2071.  
<https://doi.org/10.1097/00001756-200107030-00054>
- Fedorenko, E. (2014). The role of domain-general cognitive control in language comprehension. *Frontiers in Psychology*, 335.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00335>
- Finkel, D., Reynolds, C. A., McArdle, J. J., & Pedersen, N. L. (2007). Age changes in processing speed as a leading indicator of cognitive aging. *Psychology and Aging*, 22(3), 558-568.  
<https://doi.org/10.1037/0882-7974.22.3.558>
- Fleischman, D. A., Wilson, R. S., Gabrieli, J. D., Bienias, J. L., & Bennett, D. A. (2004). A longitudinal study of implicit and explicit memory in old persons. *Psychology and Aging*, 19(4), 617-625.  
<https://doi.org/10.1037/0882-7974.19.4.617>
- Go, E. T., Bae, S. B., & Lee, Y. (2022). The word superiority effects in Korean syllable perception: role of lexical properties. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 34(1), 11-24.  
<https://doi.org/11-24.10.22172/cogbio.2022.34.1.002>
- Goffaux, P., Phillips, N. A., Sinai, M., & Pushkar, D. (2006). Behavioural and electrophysiological measures of task switching during single and mixed-task conditions. *Biological Psychology*, 72(3), 278-290.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2005.11.009>
- Gopie, N., Craik, F. I., & Hasher, L. (2011). A double dissociation of implicit and explicit memory in younger and older adults. *Psychological Science*, 22(5), 634-640.  
<https://doi.org/10.1177/0956797611403321>
- Grieve, S. M., Williams, L. M., Paul, R. H., Clark, C. R., & Gordon, E. (2007). Cognitive aging, executive function, and fractional anisotropy: a diffusion tensor MR imaging study. *American Journal of Neuroradiology*, 28(2), 226-235.  
[http://www.ajnr.org/content/28/2/226?utm\\_source=TrendMD&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=AJNR\\_Am\\_J\\_Neuroradiol\\_TrendMD\\_1](http://www.ajnr.org/content/28/2/226?utm_source=TrendMD&utm_medium=cpc&utm_campaign=AJNR_Am_J_Neuroradiol_TrendMD_1)
- Gunning-Dixon, F. M., Brickman, A. M., Cheng, J. C., & Alexopoulos, G. S. (2009). Aging of cerebral white matter: a review of MRI findings. *International Journal of Geriatric Psychiatry: A journal of the psychiatry of late life and allied sciences*, 24(2), 109-117.  
<https://doi.org/10.1002/gps.2087>
- Hale, S., Rose, N. S., Myerson, J., Strube, M. J., Sommers, M., Tye-Murray, N., & Spehar, B. (2011). The structure of working memory abilities across the adult life span. *Psychology and Aging*, 26(1), 92 - 110.  
<https://doi.org/10.1037/a0021483>
- Hale, S., Rose, N. S., Myerson, J., Strube, M. J., Sommers, M., Tye-Murray, N., & Spehar, B. (2011). The structure of working memory abilities across the adult life span. *Psychology and Aging*, 26(1), 92-110.  
<https://doi.org/10.1037/a0021483>

- Hara, Y., & Naveh-Benjamin, M. (2015). The role of reduced working memory storage and processing resources in the associative memory deficit of older adults: simulation studies with younger adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 22(2), 129-154.  
<https://doi.org/10.1080/13825585.2014.889650>
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of Learning and Motivation*, 22, 193-225.  
[https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60041-9](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60041-9)
- Hultsch, D. F., MacDonald, S. W., & Dixon, R. A. (2002). Variability in reaction time performance of younger and older adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 57(2), 101-115.  
<https://doi.org/10.1093/geronb/57.2.P101>
- Hussey, E. K., Harbison, J. I., Teubner-Rhodes, S. E., Mishler, A., Velnoskey, K., & Novick, J. M. (2017). Memory and language improvements following cognitive control training. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 43(1), 23-58.  
<https://doi.org/10.1037/xlm0000283>
- Inzlicht, M., Bartholow, B. D., & Hirsh, J. B. (2015). Emotional foundations of cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(3), 126-132.  
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.01.004>
- Irlbacher, K., Kraft, A., Kehrer, S., & Brandt, S. A. (2014). Mechanisms and neuronal networks involved in reactive and proactive cognitive control of interference in working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 46, 58-70.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.06.014>
- Jacoby, L. L., Lindsay, D. S., & Hessels, S. (2003). Item-specific control of automatic processes: Stroop process dissociations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(3), 638-644.  
<https://doi.org/10.3758/BF03196526>
- Jaroslawska, A. J., & Rhodes, S. (2019). Adult age differences in the effects of processing on storage in working memory: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 34(4), 512-530.  
<http://doi.org/10.1037/pag0000358>
- Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching—A review. *Psychological Bulletin*, 136(5), 849-874.  
<https://doi.org/10.1037/a0019842>
- Kim, B., Baek, H., Lee, Y., & Choi, W. (2021). Replication of word predictability effect using a web-based self paced reading task. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 33(2), 87-93.  
<https://doi.org/10.22172/cogbio.2021.33.2.001>
- Kim, D., Lowder, M. W., & Choi, W. (2021). Effects of print exposure on an online lexical decision task: A direct replication using a web-based experimental procedure. *Frontiers in Psychology*, 3448.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.710663>
- King, J. A., Korb, F. M., & Egner, T. (2012). Priming of control: Implicit contextual cuing of top-down attentional set. *Journal of Neuroscience*, 32(24), 8192-8200.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0934-12.2012>

- Kochari, A. R. (2019). Conducting web-based experiments for numerical cognition research. *Journal of Cognition*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.5334/joc.85>
- Kray, J., Eber, J., & Lindenberger, U. (2004). Age differences in executive functioning across the lifespan: The role of verbalization in task preparation. *Acta Psychologica*, 115(2-3), 143-165. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.001>
- Kray, J., Eppinger, B. E. N., & Mecklinger, A. (2005). Age differences in attentional control: An event related potential approach. *Psychophysiology*, 42(4), 407-416. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00298.x>
- Kumle, L., Võ, M. L. H., & Draschkow, D. (2021). Estimating power in (generalized) linear mixed models: An open introduction and tutorial in R. *Behavior Research Methods*, 53(6), 2528-2543. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01546-0>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. (2017). lmerTest package: tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82, 1-26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Lawo, V., Philipp, A. M., Schuch, S., & Koch, I. (2012). The role of task preparation and task inhibition in age-related task-switching deficits. *Psychology and Aging*, 27(4), 1130-1137. <https://doi.org/10.1037/a0027455>
- Lee, H. W., Kim, S. K., Lee, K. E., Chung, E., & Park, J. (2012). The age-related changes in cognitive function. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 24(2), 127-148. <https://doi.org/10.22172/cogbio.2012.24.2.003>
- Lee, S., Nam, Y., & Lee, Y. (2021). Attention with the web-based on-line experiments: Is an online experiment as effective as a laboratory experiment?. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 23(3), 1355-1368. <https://doi.org/10.1016/10.37727/jkdas.2021.23.3.1355>
- Ma, F., Li, S., & Guo, T. (2016). Reactive and proactive control in bilingual word production: An investigation of influential factors. *Journal of Memory and Language*, 86, 35-59. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2015.08.004>
- Manard, M., Carabin, D., Jaspar, M., & Collette, F. (2014). Age-related decline in cognitive control: the role of fluid intelligence and processing speed. *BMC Neuroscience*, 15(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-15-7>
- Mayr, U. (2001). Age differences in the selection of mental sets: the role of inhibition, stimulus ambiguity, and response-set overlap. *Psychology and Aging*, 16(1), 96-109. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.16.1.96>
- Mittelstädt, V., Miller, J., & Kiesel, A. (2018). Trading off switch costs and stimulus availability benefits: An investigation of voluntary task-switching behavior in a predictable dynamic multitasking environment. *Memory & Cognition*, 46(5), 699-715. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0802-z>
- 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. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Moss, A. J., Rosenzweig, C., Robinson, J., & Litman, L. (2020). Demographic stability on Mechanical Turk despite COVID-19. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(9), 678-680. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.05.014>
- Nashiro, K., Qin, S., O'Connell, M. A., & Basak, C. (2018). Age-related differences in BOLD modulation to cognitive control costs in a multitasking paradigm: global switch, local switch, and compatibility-switch costs. *Neuroimage*, 172, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.030>
- Necka, E. A., Cacioppo, S., Norman, G. J., & Cacioppo, J. T. (2016). Measuring the prevalence of problematic respondent behaviors among MTurk, campus, and community participants. *PLoS one*, 11(6), e0157732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157732>
- Nicosia, J., & Balota, D. (2020). The consequences of processing goal-irrelevant information during the Stroop task. *Psychology and Aging*, 35(5), 663-675. <https://doi.org/10.1037/pag0000371>
- Nicosia, J., Cohen-Shikora, E. R., & Balota, D. A. (2021). Re-examining age differences in the Stroop effect: The importance of the trees in the forest (plot). *Psychology and Aging*, 36(2), 214-231. <https://doi.org/10.1037/pag0000599>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(5), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(2), 299-320. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.2.299>
- 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. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm135>
- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., ... & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51(1), 195-203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Pettigrew, C., & Martin, R. C. (2016). The role of working memory capacity and interference resolution mechanisms in task switching. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(12), 2431-2451. <https://doi.org/10.1080/17470218.2015.1121282>
- Pliatsikas, C., Verissimo, J., Babcock, L., Pullman, M. Y., Gleit, D. A., Weinstein, M., ... & Ullman, M. T. (2019). Working memory in older adults declines with age, but is modulated by sex and education. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(6), 1308-1327. <https://doi.org/10.1177/1747021818791994>
- Pratte, M. S., Rouder, J. N., Morey, R. D., & Feng, C. (2010). Exploring the differences in



- distributional properties between Stroop and Simon effects using delta plots. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(7), 2013-2025. <https://doi.org/10.3758/APP.72.7.2013>
- Qin, S., & Basak, C. (2020). Age-related differences in brain activation during working memory updating: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 138, 107335. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107335>
- Reimers, S., & Maylor, E. A. (2005). Task switching across the life span: Effects of age on general and specific switch costs. *Developmental Psychology*, 41(4), 661 - 671. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.41.4.661>
- Rey-Mermet, A., & Gade, M. (2018). Inhibition in aging: What is preserved? What declines? A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(5), 1695-1716. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1384-7>
- Rubin, O., & Meiran, N. (2005). On the origins of the task mixing cost in the cuing task-switching paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(6), 1477 - 1491. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.6.1477>
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.103.3.403>
- Semmelmann, K., & Weigelt, S. (2017). Online psychophysics: Reaction time effects in cognitive experiments. *Behavior Research Methods*, 49(4), 1241-1260. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0783-4>
- Tae, J., Kim, T. H., & Choi, W. (2021). Reinvestigating the phonological and orthographic priming effects with the web-based experiment. *Korean Journal of Linguistics*, 46(4), 1223-1250. <https://doi.org/10.18855/lisoko.2021.46.4.012>
- Van Gerven, P. W., Hurks, P. P., Bovend'Eerd, T. J., & Adam, J. J. (2016). Switch hands! Mapping proactive and reactive cognitive control across the life span. *Developmental Psychology*, 52(6), 960-971. <https://doi.org/10.1037/dev0000116>
- Verhaeghen, P. (2011). Aging and executive control: Reports of a demise greatly exaggerated. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3), 174-180. <https://doi.org/10.1177/0963721411408772>
- Verhaeghen, P. (2013). The elements of cognitive aging: Meta-Analyses of age-related differences in processing speed and their consequences. Oxford, New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195368697.001.0001>
- Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 26(1), 15 - 20. <https://doi.org/10.1037/a0020912>
- Whitehead, P. S., Brewer, G. A., & Blais, C. (2019). Are cognitive control processes reliable? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(5), 765-778. <https://doi.org/10.1037/xlm0000632>
- Wu, Q., Chang, C. F., Xi, S., Huang, I. W., Liu, Z., Juan, C. H., ... & Fan, J. (2015). A critical role of temporoparietal junction in the

- integration of top down and bottom up attentional control. *Human Brain Mapping*, 36(11), 4317-4333.  
<https://doi.org/10.1002/hbm.22919>
- Zheng, A., & Church, J. A. (2021). A Developmental Eye Tracking Investigation of Cued Task Switching Performance. *Child Development*, 92(4), 1652-1672.  
<https://doi.org/10.1111/cdev.13478>
- Zimprich, D., & Martin, M. (2002). Can longitudinal changes in processing speed explain longitudinal age changes in fluid intelligence? *Psychology and Aging*, 17(4), 690-695.  
<https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.4.690>
- Zuber, S., Ihle, A., Loaiza, V. M., Schnitzspahn, K. M., Stahl, C., Phillips, L. H., Kaller, C. P., & Kliegel, M. (2019). Explaining age differences in working memory: The role of updating, inhibition, and shifting. *Psychology & Neuroscience*, 12(2), 191-208.  
<https://doi.org/10.1037/pnc0000151>
- 1차원고접수 : 2022. 05. 26.  
2차원고접수 : 2022. 10. 05.  
최종게재결정 : 2022. 12. 08.

## The Relationship between Aging and Cognitive Control in Performing a Switching Task: Evidence from a Web-based Experimental Study

Jini Tae<sup>1)</sup> Hyunah Baek<sup>1)</sup> Yoonhyoung Lee<sup>2)</sup> Wonil Choi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Gwangju Institute of Science and Technology <sup>2)</sup>Yeungnam University

Aging involves changes not only in our physical abilities but also in cognitive functions. In particular, cognitive control includes several cognitive sub-processes, such as inhibition, switching, and updating; thus, comparing cognitive control abilities between different age groups can help understand age-related changes in cognitive functions. This study utilized the task-switching paradigm to examine whether a switching cost varies with age. Unlike traditional studies, in which participants visit a lab and perform a task in controlled conditions, we adopted a web-based experimental procedure, in which participants completed the task using their computer or laptop at their convenience. This enabled collection of large data from various age populations within a short period of time. Adults aged 20 to 69 participated in the switching task. The results indicated three main effects; age, task transition, and task type. Also, task type interacted with participants' age. The interaction suggests that older adults who experience cognitive decline invest more cognitive resources to the easier task out of the two tasks with a varying task difficulty. However, the size of the switching cost remained relatively constant across the age spectrum. These results suggest that, even though aging is associated with a general decline in cognitive control abilities, reactive control abilities remain intact throughout the adult lifespan.

*Key words* : aging study, cognitive control, task switching, switching cost, web-based experiment