

## 인지적 통제 과정에 미치는 노화의 비대칭적 영향

### ERP 연구

Asymmetric effect of aging on cognitive control processes : An ERP study

---

|                    |   |
|--------------------|---|
| 저자<br>(Authors)    | 진영선, 김현옥<br>Youngsun Jin, Hyunok Kim  |
| 출처<br>(Source)     | <a href="#">인지과학 28(4)</a> , 2017.12, 245-265(21 pages)<br><a href="#">KOREAN JOURNAL OF COGNITIVE SCIENCE 28(4)</a> , 2017.12, 245-265(21 pages) |
| 발행처<br>(Publisher) | <a href="#">한국인지과학회</a><br>The Korean Society for Cognitive Science   |
| URL                | <a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07291163">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07291163</a>   |
| APA Style          | 진영선, 김현옥 (2017). 인지적 통제 과정에 미치는 노화의 비대칭적 영향. <a href="#">인지과학</a> , 28(4), 245-265  |
| 이용정보<br>(Accessed) | 이화여자대학교<br>203.255.***.68<br>2019/10/10 21:01 (KST)   |

---

#### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

#### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## 인지적 통제 과정에 미치는 노화의 비대칭적 영향: ERP 연구\*

진 영 선\*

김 현 옥

경북대학교 심리학과

최근 인지적 통제에 대한 연구들은 최적의 통제 수준이 보상과 비용에 의해 결정된다는 것을 밝혀냈다. 보상이 가지는 가치는 주관적이며 이에 따라 최적의 신호 강도도 달라진다. 우리는 인지적 통제에 대한 노화의 영향에 대한 연구 결과들이 비일관적인 이유가 노인이 탄력적으로 통제 신호를 조절한 결과일 수 있다고 보았다. 다시 말해, 노인은 최적의 통제 수준을 결정하는 능력을 잘 유지하고 있을 수 있는데, 이는 전대상회의 역할로 알려져 있다. 반면 인지적 통제에서 노화에 따른 기능의 감퇴는 주로 규칙 표상의 유지와 억제에서 나타나는데, 이는 주로 외측전전두피질이 담당하고 있다. 본 연구는 청년과 노인에게 보상의 유형을 조절한 Go-Nogo 과제를 수행하게 하여 각 보상 조건에서 행동결과와 ERN(Error-Related Negativity) 크기를 비교하였다. 두 집단 모두는 각 연령에게 가장 중요하다고 여겨지는 조건에서 가장 뛰어난 행동 수행과 가장 큰 ERN 크기를 나타내었다. 또한 노인은 d와 정확률에서는 연령차를 나타내었으나 ERN의 크기에서는 연령차를 나타내지 않았다. 이와 같은 결과는 인지적 통제의 각 과정에 대한 노화의 영향이 상이할 수 있을 가능성을 보여준다.

주제어 : 인지적 통제, 동기, 노화, ERN

---

\* 이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015S1A5A2A01012912).

† 교신저자: 진영선, 경북대학교 심리학과, (41566) 대구광역시 북구 대학로 80  
연구분야: 인지신경과학

E-mail: ysjin@knu.ac.kr

## 서론

인지적 통제는 계속해서 변화하는 환경에서 내적 목표를 성취하기 위해 우리의 생각과 사고를 조절하는 인지 과정을 말한다(Miller & Cohen, 2001). 인지적 통제에 대한 연구들은 오랫동안 무엇이 통제적 처리과정을 일으키는지를 밝히는데 초점을 맞춰왔다. 이에 대한 가장 설득력있는 설명은 갈등 감시 이론으로, 갈등의 탐지가 통제 시스템을 촉발시키며 통제 수준을 상향 조절해서 이를 해소하는 과정이 뒤따른다고 가정한다(Botvinick, Nystrom, Fissell, Carter, & Cohen, 1999; Botvinick, Cohen, & Carter, 2004). 이제 인지적 통제에 대한 다음 질문은 통제 메커니즘이 어떤 방식으로 얼마나 많은 통제가 필요한지를 결정하느냐라고 할 수 있다. 갈등-통제로 이어지는 고리에서 통제 신호는 갈등을 해결하기에 충분히 강해야한다. 다시 말해, 강한 통제 신호는 통제 과정의 성공을 의미하며 약한 통제 신호의 경우 반대가 될 것이다. 그러나 이러한 이분법으로는 다양한 요인들에 의해 영향을 받는 통제 신호 강도의 변산을 설명할 수 없다.

몇몇 연구자들은 기존 이론의 한계를 극복하기 위해 정서와 동기를 포함한 보상-기반 통제 시스템을 제안한 바 있다(Shackman et al 2011; Dixon & Christoff, 2012; Shenhav, Botvinick, & Cohen, 2013). Shenhav와 동료들은(2013) 통제 시스템이 갈등이 얼마나 해결될 “가치가 있는지”에 따라 최적의 통제 강도를 결정한다고 제안하였다. 즉, 동일한 갈등에 대해서도 보상의 수준에 따라 다양한 통제 강도가 존재할 수 있다는 것이다. 금전적 보상이 더 높은 정확률과 더 빠른 반응 시간, 그리고 관련 뇌 영역의 더 강한 활성화를 가져온다는 연구들은 이를 뒷받침한다(Boehler, Schevernels, Hopf, Stoppel, & Krebs, 2014; Krebs, Boehler, Appelbaum, & Woldorff, 2013; Padmala & Pessoa, 2011). 중요한 것은, 갈등이 얼마나 해결할만한 가치가 있느냐는 질문에 대한 대답은 주관적일 수 밖에 없다는 것이다.

동기가 ERN(Error-Related Negativity: 오류 관련 부적 전위) 진폭의 크기에 미치는 영향에 대한 연구들은 최적 통제 강도가 보상의 가치에 대한 주관적 평가에 의해 결정된다는 것을 보여준다(Riesel, Weinberg, Endrass, Meyer, & Hajcak, 2013; Stahl, Acharki, Kresimon, Voller, & Gibbons, 2015). Pailing과 Segalowitz(2004)의 연구에서, ERN 진폭의 크기는 금전적 보상의 정도에 비례하였으며 이 효과는 보상에 대한 민감도가 높은 개인에게서 더 강하게 나타났다. 강박장애 환자들에게서 나타나는 더 큰 ERN은 실수를 하지 않으려는 동기가 더 높기 때문인 것으로 보인다(Gehring, Himle, & Nisenson, 2000; Grundler, Cavanagh, Figueroa, Frank, & Allen, 2009; Mathews, Perez, Delucchi, & Mathalon, 2012; Stahl, Acharki, Kresimon, Voller, & Gibbons, 2015). Hajcak(2012)의 연구에서 특성 불안이 높은 참가자는 피드백이 주어지는 조건에서 더 큰 ERN을 나타냈다.

동기가 통제 강도에 미치는 영향은 인지 노화 연구의 오래된 난제에 대한 해답을 제공할 수 있다. 일반적으로 인지적 통제는 노화에 가장 취약한 인지기능으로 알려져 있다(Braver, & West, 2008; Braver & Barch, 2002; Hedden & Gabrieli, 2004; Verhaeghen & Cerella, 2002). 그러나 노화에

의해 인지적 통제 능력이 감퇴된다는 증거들이 명확함에도 불구하고, 노인들은 종종 정서정보를 처리할 때에는 연령차를 나타내지 않는다(김현옥 & 진영선, 2016; Mikels, Larkin, Reuter-Lorenz, & Carstensen, 2005; Samanez-Larkin, Robertson, Mikels, Carstensen, & Gotlib, 2009). 그 좋은 예로 정서조절을 들 수 있는데, 많은 경우 정서를 상황과 의도에 맞게 조절하기 위해서는 집행적 통제의 개입이 필요하기 때문이다(진영선 & 김현옥, 2016, Ochsner and Gross, 2005). 또한 노화 연구에서 활발히 다루어진 긍정성 효과(positivity effect) 역시 정서적 속성을 가진 정보를 다룰 때 노화의 영향이 나타나지 않은 결과라고 할 수 있다. 노인은 환경에서 주어지는 다양한 정보 중에서 부정적 정서와 관련된 정보에 대해서는 인지 자원을 철회하고 긍정적 정서 정보에 대해서 편향적 처리 경향을 보인다. 따라서 일반적으로 나타나는 기억이나 주의에서의 연령차는 긍정적 정서 정보의 처리에서는 나타나지 않는다. 이는 집행적 통제를 통해 긍정적 정서 정보에 인지 자원을 편향시킨 결과이다. 노화에 의한 인지적 통제 기능의 감퇴가 이렇게 선택적인 양상을 띠는 이유는 무엇인가? 사회정서적선택이론(socioemotional selectivity theory)에 따르면 사람들은 나이가 들면서 삶의 정서적 측면에 우선적 가치를 두게 된다(Carstensen, 1992; Carstensen, Isaacowitz, & Charles, 1999). 그렇다면 노인들은 정서적 정보의 처리에 대한 높은 동기를 가지고 있을 것이며, 이것이 정보의 속성에 따른 노화의 영향의 비일관적으로 나타나는 원인일 가능성이 높다. 노인에게서 나타나는 통제적 처리의 선택적 개입은 기대되는 보상에 맞춰 성공적으로 통제 강도를 적절하게 조절한 결과일 수 있다.

지금까지 인지적 통제에 대한 노화의 영향에 대한 연구들은 통제의 실행이 얼마나 잘 이루어지는지에 초점을 맞춰왔는데, 이는 주로 외측전전두피질(lateral prefrontal cortex)가 담당하는 기능이다. 확산텐서영상(DTI), 양전자방출단층촬영(PET), 기능적 자기공명영상(fMRI) 연구 결과들은 일관적으로 외측 전전두 피질이 회백질과 백질의 용적 감소, 세포 밀도 저하, 신진대사 활동 저하, 도파민 신경전달 물질 수용기의 감소 등의 생리적 감퇴를 보인다고 보고하였다(Gunning-Dixon, Brickman, Cheng, & Alexopoulos, 2009; Milham et al 2002; Pardo et al 2007; Raz et al, 2005). 외측 전전두피질의 생리적 감퇴는 과제 표상을 유지하고 통제를 실행하는 것과 같은 관련된 기능의 감퇴로 이어진다(MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter, 2000; Mansouri, Tanaka, & Buckley, 2009) 실제로 노화에 따른 집행적 통제 능력의 저하는 과제 표상의 유지와 반응 억제에서 두드러진다(Belanger, Belleville, & Gauthier, 2010; Troyer, Leach, & Strauss, 2006). 집행 기능의 연령차에 대한 뇌 영상 연구에서 노인은 집행적 통제가 필요한 조건에서 청년에 비해 낮은 외측전전두피질의 활성을 나타냈다(West, 1996; West & Alain, 2000; Troyer, Leach & Strauss, 2006; Belanger, Belleville & Gauthier, 2010). 그리고 이러한 결과들을 바탕으로 인지적 통제가 노화에 가장 취약한 인지 기능이라는 주장이 정설로 자리를 잡았다.

그러나 통제 강도를 적절하게 조절하는 기능은 실제로 통제를 실행하는 기능과는 분리된다는 점에 주목할 필요가 있다. 또한 통제의 실행과 최적 강도의 결정은 신경학적으로도 분리되어 있

는 것으로 보인다. Shenhav와 동료들은(2013) 인지적 통제의 과정에 갈등의 감시와 해결과는 별도로 기대되는 보상에 맞춰 최적 신호 강도를 조절하는 과정이 있으며, 전대상회(anterior cingulate cortex)가 이를 담당한다고 제안하였다. Pietschmann, Endrass, Czerwon, 그리고 Kathmann (2011)의 연구에서 청년들이 피드백이 주어질 가능성이 높은 조건과 낮은 조건 모두에서 ERN과 CRN(Correct response Related Negativity: 정반응 관련 부적 전위)의 유의한 차이를 나타낸 반면, 노인은 피드백이 주어질 가능성이 높은 조건에서만 ERN과 CRN의 차이를 보였다. 즉, 노인은 피드백이 주어질 때 더욱 통제 강도를 높였다. Ford와 Kensing(2014)의 연구에서 노인은 집행 기능을 요구하는 과제 수행 시 과제 정보의 속성이 정서적일 때에 한하여 선택적으로 전대상회와 관련 신경학적 영역 간 연결성 강화를 나타내었다. 종합하여 볼 때, 외측 전전두피질에 의한 통제의 실행에서 노화에 의한 감퇴가 명백한 반면, 기대되는 보상에 따라 통제 강도를 조절하는 전대상회의 기능은 노년기까지 잘 유지되는 것으로 보인다.

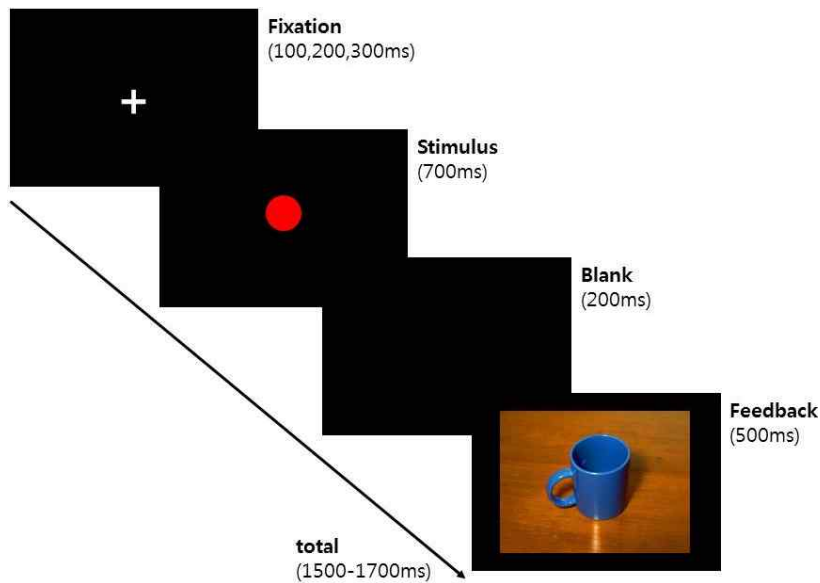
본 연구는 청년과 노인이 보상의 유형을 조절한 고-노고 과제를 수행하게 하여 보상 조건에 따라 ERN의 진폭과  $d'$ , 정확률이 조절되는지를 살펴보았다. 선행 연구에 따르면 청년 집단은 금전적 보상이 주어질 때 수행의 향상을 나타내며 노인은 정서적 보상에 민감한 것으로 보인다. 우리는 청년뿐 아니라 노인도 가장 중요하게 여기는 보상이 주어지는 조건에서 가장 높은 통제 수준을 나타낼 것이라고 예상하였다. 따라서 청년은 금전적 보상이 주어지는 조건에서, 노인은 정서적 보상이 주어지는 조건에서 가장 뛰어난 수행과 가장 큰 ERN 진폭을 나타낼 것으로 기대하였다. 또한, 노인은 과제 규칙의 표상과 통제의 실행에서는 청년보다 저조한 수행을 나타내는 반면에 전대상회에서 생성하는 ERN 진폭의 크기에서는 연령차를 나타내지 않을 것으로 예측하였다.

## 방 법

### 참가자

12명의 청년과(남성 6명, 여성 6명,  $M = 21.55$ ,  $SD = 2.63$ ) 12명의 노인(남성 5명, 여성 7명,  $M = 75.35$ ,  $SD = 6.32$ )이 실험에 참여하였다. 두 연령 집단 간 교육연수의 차이는 유의하지 않았다(청년:  $M = 14.49$ ,  $SD = 2.31$ ; 노인:  $M = 13.21$ ,  $SD = 3.77$ ,  $t(22) = 0.33$ ,  $p = 0.74$ ). 참가자들은 실험 전에 실험 참가 동의서를 작성하였으며 이 실험의 모든 절차는 XX대학교 생명윤리 위원회의 승인을 받았다. 신경학적 혹은 심리적 장애로 인한 병력을 가졌거나 우울, 불안 등의 심리적 문제로 인하여 약물을 복용 중인 참가자는 없었다. 참가자들은 실험 전일에 음주를 하지 말고, 실험 당일에 커피나 콜라 초콜릿을 섭취 하지 않도록 안내 받았으며, 실험 당일 모

두 이러한 안내사항을 지켰다고 보고하였다. 노인 참가자의 경우, 한국판 간이 정신상태 검사 (K-MMSE: Korean version of the Mini-Mental State Examination) 점수 분포는 28에서 30(평균 = 29.87, 표준편차 = 0.94)이었는데, 이는 치매의 증후가 전혀 나타나지 않음을 말한다. 금전적 보상에 의한 효과를 통제하기 위해 참가자들은 실험 전에 모두 별도의 참가 사례금이 아닌 정답률에 따른 금전적 보상을 받았게 된다고 안내 받았으나, 노인 참가자들이 모두 외부에서 모집되었다는 점을 고려하여 실험 이후 10000원의 참가비를 별도로 지급하였다.



(그림 1) 실험 자극과 절차(중립 조건의 경우)

## 과제와 자극

참가자들은 Go 자극으로는 빨간 원과 파란색 삼각형이, No go 자극으로는 파란 원과 빨간 삼각형이 제시되는 Go-No go 과제를 수행하였다. 각 시행 이후 정답 여부에 따른 피드백이 주어졌다. 피드백 이미지는 국제 정서 사진 시스템(IAPS: International Affective Pictures System)의 사진 중 정서가와 각성가를 기준으로 각각 긍정, 부정 자극 하나씩과 중립 자극 두 가지를 선택하였다. 긍정 정서 이미지는 미소 짓는 어린 아이의 사진(정서가: 7.08, 각성가: 4.46)이었으며 부정 정서 이미지는 얼굴을 다친 사람의 사진(정서가: 1.91, 각성가: 6.76)이었다. 긍정 정서 이미지는 정서 피드백 조건에서 정답을 맞추는 경우에 피드백으로 제시되었으며, 틀린 답을 선택한 경우에는 부정 정서 이미지가 피드백으로 제시되었다. 중립 조건에서는 정답일 때는 컵(정서가: 4.93, 각성가: 3.01) 이미지가, 틀렸을 때는 수건(정서가: 4.97, 각성가: 3.16) 이미지가 피드백으로 주어

졌다. 금전 피드백 조건에서는 정답을 맞추는 경우 양 손바닥에 동전을 가득 들고 있는 이미지 위에 각 시행 당 주어지는 금액이 검정색 글씨로 제시되었으며, 틀리는 경우 손바닥 위에 동전 몇 개가 놓여 있는 사진 위에 각 시행 당 주어지는 금액이 마이너스 부호와 함께 검정색 글씨로 적혀있었다.

## 실험절차

참가자들은 실험 전에 실험 참가 동의서와 실험에 필요한 정보를 묻는 질문지를 작성하였으며, 노인의 경우 한국판 간이 정신 상태 검사를 받은 후에 실험 과제를 수행하였다. 자극의 제시와 반응의 기록은 Superlab 5.0을 사용하였다. 각 조건 전에는 20회기로 이루어진 연습 과제를 수행하였다. 참가자들은 빨간 원과 파란 삼각형이 나오면 스페이스 바를 누르라고 지시받았다. 모든 시행은 검정색 바탕 가운데에 하얀색 십자가 모양의 고정점이 제시되면서 시작되었다. 고정점이 제시되는 시간은 100ms, 200ms, 300ms로 무선화 되었다. 고정점 제시 이후 과제 자극이 700ms동안 주어졌으며 과제 자극이 제시된 이후에는 검정색 화면이 피드백이 주어지기까지 200ms동안 제시되었다(그림 1). 참가자들은 피드백 화면이 주어지기 전까지 반응을 하도록 지시를 받았으며, 주어진 시간이 지난 후에도 반응 하지 않은 경우는 오답 처리되었다(Vallesi, 2011). 피드백 이미지는 참가자가 반응을 하는 즉시 주어졌으며 화면에 500밀리 초 동안 제시되었다. 참가자들은 최대한 빠르고 정확하게 반응하도록 지시 받았다.

실험은 총 600시행으로 구성되었으며 피드백의 유형에 따라 정서 피드백, 금전 피드백, 중립 피드백 블록으로 나뉘어 실시되었다. 실험 진행 순서는 금전-정서-중립, 금전-중립-정서, 정서-금전-중립, 정서-중립-금전, 중립-금전-정서, 중립-정서-금전으로 총 6가지였으며 각 순서에 할당된 피험자 수는 동일하였다. 금전 피드백 조건에서 참가자들은 실험이 끝난 후 각 시행 당 주어지는 상금의 총 합계 금액을 받게 될 것이라는 설명을 들었다. 금전 피드백 블록에서 한 번도 틀리지 않을 경우에 받게 될 보상은 20000원이었다. 보상은 모든 실험 절차가 끝난 후 금전 피드백 조건에서 정답을 맞힌 회기 수에 따라 현장에서 지급되었다.

각 블록 당 Go 조건은 140 시행, No go 조건은 60 시행이었다. 과제 자극은 Go 조건에서는 동일한 자극이 4번, No go 조건에서는 동일한 자극이 2번을 초과해서 연속 제시되지 않도록 자극 제시 순서를 준무선화(pseudo randomizing)시켜 반응 반복에 의한 점화효과를 통제하였다.

## 행동결과 분석

본 연구는 유사한 네 가지 자극을 사용한 고-노고 과제를 통해 규칙 표상을 유지하고 반응을 억제하는 능력을 측정하고자 하였다. 규칙 표상을 잘 유지하는지 여부는 정확률을, 반응 억제

능력은  $d'$ 을 통하여 각각 측정하였다.  $d'$ 은 신호 탐지 이론에서 사용되는 통계치로, 신호(Go 자극)와 노이즈(No go 자극)를 구분하는 능력을 측정한다. 본 연구에서는  $d'$ 을 측정하기 위해 우선 피험자의 반응을 Hit(Go 자극에 Go 반응), CR(Correct rejection: No go 자극에 No go 반응), FA(False alarm: No go 자극에 Go 반응), Miss(Go 자극에 No go 반응)의 네 종류로 나누어서 각 반응 유형의 비율을 계산하였다. 이후 전체 반응 중에서 Hit 반응의 수와 전체 반응 중에서 CR반응의 수를 합친 비율을 정확률로 사용하였으며, Hit 비율과 FA비율을 각각  $z$ 변환하여  $d'$ 을 계산하였다.  $d'$ 을 계산한 공식은 다음과 같다.

$$d' = Z(\text{Hit rate}) - Z(\text{False alarm rate})$$

## ERP 측정 및 분석

EEG 데이터는 전자기파를 차폐하는 실험실에서 10-20국제체계 배열에 따른 정중선 3개 위치(Fz, Cz, Pz)와 안구운동을 측정하기 위한 EOG 2개 위치에서 자극 제시 시점을 기준으로 수집되었다. 모든 신호는 25Hz로 표집하였으며, Biopac mp150로 증폭하였다. High-pass filter는 0.01Hz, Low-pass filter는 30Hz 였고, 피부저항은 10k $\Omega$ 이하로 유지하였으며, 참조전극은 A1, A2에 해당하는 전극이었다.

측정된 EEG를 Biopac mp150을 사용해 분석하였다. 참조전극 위치를 양쪽 전극(A1, A2)의 평균으로 바꾸었다. 참조전극으로 사용한 A1과 A2를 제외한 8개 전극 위치에서 분석하였다. 눈 깜빡임이나 눈 운동이 다른 전극에 미치는 영향은 ICA로 교정하였으며 ERP epoch은 반응 전 500ms에서 반응 후 1500ms이었다. 분석구간단위에서 전압이 75 $\mu$ v이상이거나 -75 $\mu$ v미만인 경우 경우는 분석에서 제외하였다. ERN은 운동 반응의 완료 이전에도 시작될 수 있으므로 오류 반응 전 200ms 동안의 평균 진폭을 기저선으로 삼아 EEG 데이터를 영점 교정하였다(Weinberg, Olvet, & Hajcak, 2010).

ERP 결과의 분석은 0ms에서 200ms 시간창을 대상으로 이루어졌다. 0ms는 오류 수행 시점을 기준으로 하였다. 각 전극에서 오류 반응 시작부터 이후 200ms 사이에 각 피험자에게서 가장 큰 음수 값을 평균한 후, 이를 연령 집단과 피드백 유형별로 다시 평균하여 연령과 피드백 유형의 혼합 변량분석을 수행하였다. 또한 각 연령 집단별로 다시 피드백 유형을 요인으로 일원변량분석을 수행하였다. 청년 집단과 노인 집단 각각에서 오류 수행의 평균 진폭을 구하여 Cz, Fz, Pz 채널에서 연령과 피드백 조건을 요인으로 한 혼합변량분석(mixed ANOVA)을 수행하였다. 오류 시행의 수가 6개 이하인 참가자의 경우 분석에서 제외하였다(Pontifex, Scudder, Brown, O'Leary, Wu, Themanson, et al., 2010). 분석에서 제외된 참가자는 청년의 경우 2명 이었으며 노인의 경우는 없었다.



## 결 과

### 행동결과

각 연령집단의 조건별 정확률과  $d'$ 은 표 1에 제시하였다.

〈표 1〉 각 연령집단의 조건별 정확률과  $d'$ (괄호 안은 표준편차)

|       | 청년         |            | 노인         |            |
|-------|------------|------------|------------|------------|
|       | 정확률        | $d'$       | 정확률        | $d'$       |
| 금전 조건 | 0.93(0.04) | 3.19(0.75) | 0.78(0.09) | 1.68(0.70) |
| 정서 조건 | 0.94(0.04) | 3.14(0.76) | 0.80(0.11) | 1.82(0.63) |
| 중립 조건 | 0.90(0.06) | 2.67(0.82) | 0.73(0.12) | 1.50(0.52) |

### 정확률

연령과 피드백 조건의 혼합 변량분석을 수행한 결과 피드백 유형의 주효과와 [ $F(2, 44) = 8.36, p = .001$ ] 연령의 주효과가 [ $F(1, 22) = 26.07, p = .001$ ] 유의하였는데, 노인이 청년보다 낮은 정확률을 보였다(표 2). 피드백 유형과 연령의 상호작용은 유의하지 않았다 [ $F(2, 44) = 1.11, p = .34$ ]. 각 연령 집단별로 피드백 유형을 요인으로 한 일원변량분석을 수행한 결과 청년 집단 내에서는 피드백 유형의 주효과가 준유의한 것으로 [ $F(2, 22) = 3.12, p = .06$ ], 노인 집단에서는 유의하게 나타났다 [ $F(2, 22) = 5.41, p = .01$ ]. 사후 검정에서 청년 집단에서는 금전 조건의 정확률이 중립 조건보다 준유의하게 높았으며( $p = .06$ ), 노인 집단의 경우 정서 조건이 중립조건보다 유의하게 높았다( $p = .03$ ).

### $d'$

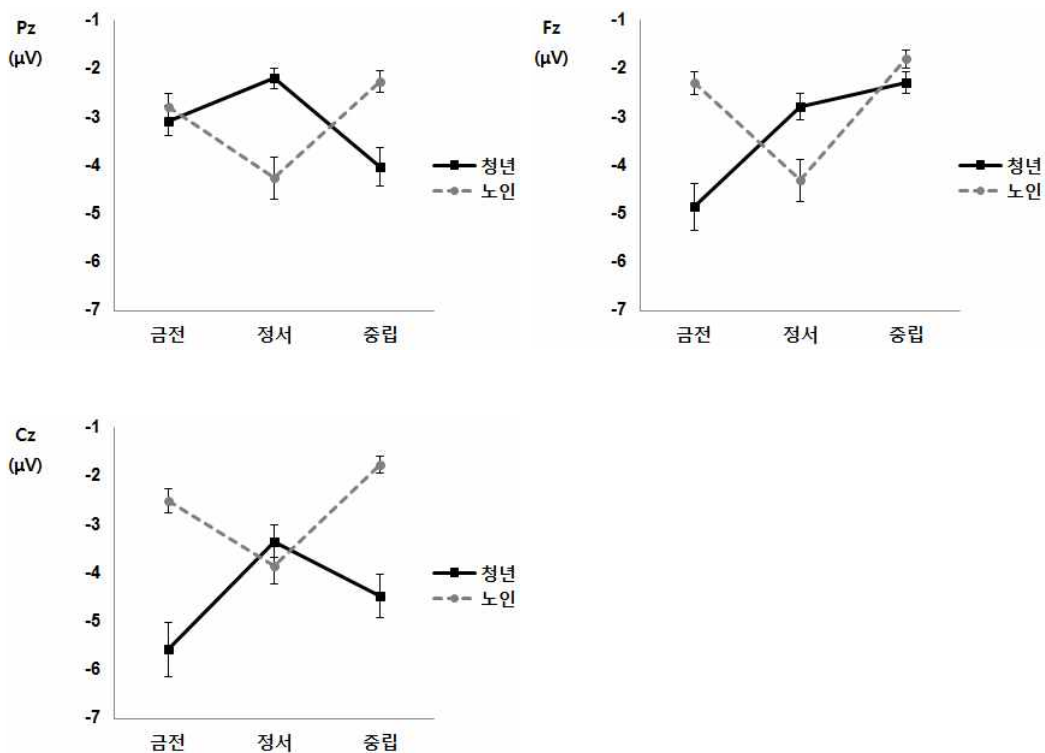
다음으로는  $d'$ 을 종속변인으로 연령과 피드백 조건의 혼합 변량분석을 수행하였다. 그 결과 연령의 주효과 [ $F(1, 22) = 32.06, p = .001$ ]와 피드백 유형의 주효과 [ $F(2, 44) = 5.83, p = .01$ ]가 유의한 것으로 나타났다. 노인은 청년보다 낮은  $d'$ 을 나타내었다. 피드백 유형과 연령의 상호작용은 유의하지 않았다 [ $F(2, 44) = 0.84, p = .44$ ]. 피드백 유형을 요인으로 하여 각 연령 집단에서 일원변량 분석을 수행한 결과, 청년 집단에서 피드백 유형의 주효과가 유의하였으며 [ $F(2, 22) = 3.43, p = .05$ ] 노인 집단에서는 [ $F(2, 22) = 3.05, p = .06$ ] 준유의한 것으로 나타났다. 사후 검정 결과 청년 집단은 금전조건이 중립조건보다 유의하게 높았다( $p = .04$ ). 노인은 정서 조건이 중립조건보다 준

유의하게 높았다( $p=.06$ ).

## ERP 결과

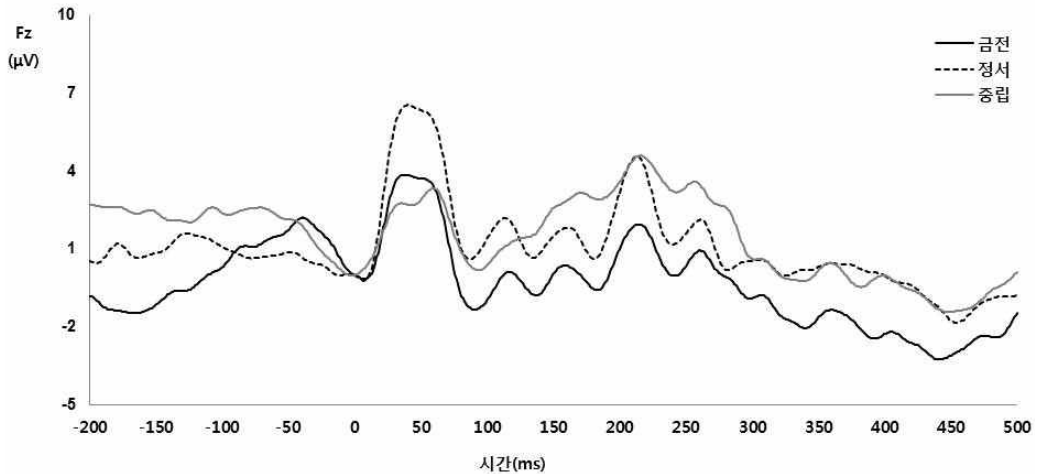
먼저 Pz 전극에서 피드백과 연령의 상호작용이 [ $F(2, 44) = 4.71, p=.01$ ] 유의하였다(그림 2). 그러나 연령의 주효과와 [ $F(1, 22) = 0.00, p=.99$ ] 피드백의 주효과는 [ $F(2, 44) = 1.12, p=.89$ ] 유의하지 않았다. 상호작용을 탐색하기 위해 연령 집단별로 피드백 유형을 요인으로 일원변량 분석을 수행한 결과 청년 집단과 [ $F(2, 22) = 2.46, p=.11$ ] 노인 집단 모두에서 [ $F(2, 22) = 2.38, p=.12$ ] 피드백 유형의 주효과는 유의하지 않았다.

다음으로, Fz 전극에서는 피드백 유형의 주효과와 [ $F(2, 44) = 3.67, p=.03$ ] 피드백과 연령의 상호작용이 [ $F(2, 44) = 5.00, p=.01$ ] 유의하였다(그림 2). 그러나 연령의 주효과는 유의하지 않았다 [ $F(1, 22) = 0.19, p=.67$ ]. 각 연령별로 피드백 유형의 주효과를 살펴본 결과 청년 집단과 [ $F(2, 22) = 3.90, p=.03$ ] 노인 집단 모두에서 [ $F(2, 22) = 4.88, p=.02$ ] 피드백 유형의 주효과가 유의하였다. 사후 검정 결과 청년 집단은 금전조건의 최대 진폭이 정서조건과( $p=.02$ ). 중립조건( $p=.03$ ). 모두

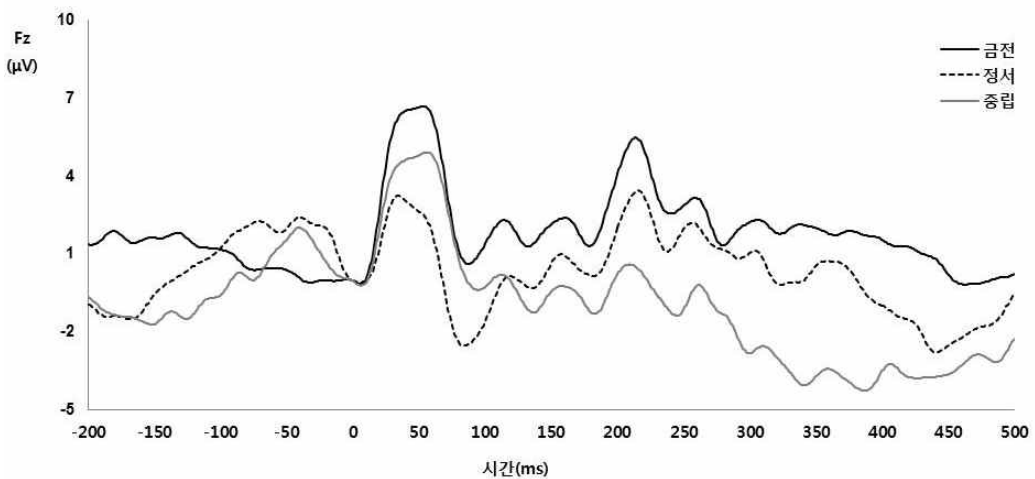


(그림 2) ERN의 최대 진폭에서 나타난 연령과 피드백 유형의 상호작용

### A. 청년



### B. 노인



(그림 3) 각 연령집단에서 Fz 전극에서 나타난 조건별 ERN의 grand average 파형. 오류 수행 시점을 0점으로 하여 오류 발생 이전 200ms와 이후의 500ms까지를 시간창으로 하였다.

에서 더 높았다. 노인 역시 정서 조건의 ERN 최대 진폭이 금전 조건이나( $p=.05$ ) 중립조건보다( $p=.03$ ) 더 높았다(그림 3).

마지막으로 Cz 전극에서는 피드백과 연령의 상호작용만이( $F(2, 44) = 3.44, p=.04$ ) 유의하였으며(그림 2), 피드백의 주효과와( $F(2, 44) = 0.75, p=.48$ ) 연령의 주효과는( $F(1, 22) = 2.17, p=.16$ ) 유의

하지 않았다. 각 연령별 분석에서도 피드백의 주효과는 청년과[ $F(2, 22) = 2.38, p = .12$ ] 노인[ $F(2, 22) = 1.85, p = .18$ ] 모두에서 유의하지 않았다.

## 논 의

본 연구는 보상에 대한 주관적 가치 평가에 따라 통제 신호의 강도를 조절하는 기능이 노년 기에도 성공적으로 이루어질 것이라고 예측하였다. 또한 인지적 통제의 각 과정에 대한 노화의 영향이 균일하지 않을 것이라고 보고, 노인은 과제 표상의 유지와 억제 기능에서는 기존의 연구에서와 같이 기능 저하를 나타내지만 보상에 따른 탄력적 조절을 담당하는 기능에서는 연령차를 보이지 않을 것으로 예상하였다. 우리는 청년과 노인에게 두 가지 속성(색상과 모양) 중에서의 속성에서 겹치는 자극에 대해 상반되는 반응을 요구하는 고-노고 과제를 수행하게 하여 d'과 정확률을 통해 억제 기능과 과제 표상을 유지하는 능력을, ERN의 진폭 변화를 통해 동기에 따른 신호 강도 조절 기능을 살펴보았다. 그 결과 본 연구에서 발견한 내용은 다음과 같다.

첫 번째로, 청년과 노인 모두는 해당 연령대에 더 중요하다고 여겨지는 보상이 주어질 때 가장 높은 통제 강도를 나타내었다. 보다 구체적으로, 청년은 금전 조건에서 노인은 정서 조건에서 가장 큰 ERN 진폭을 나타내었으며 이는 d'과 정확률과 같은 행동 결과에서도 마찬가지였다. 주목할 만한 점은, 청년 집단에서는 정서 조건과 중립 조건 간 차이가, 노인 집단에서는 금전 조건과 중립 조건 간 차이가 유의하지 않았다는 점이다. 이는 가장 중요하게 여기는 보상 조건에서 가장 뛰어난 수행이 나타날 것이라는 본 연구의 주된 예측과는 별개로, 상대적으로 덜 매력적인 보상은 보상이 주어지지 않는 것과 차이가 없다는 의미가 된다. 최적 통제 강도는 보상에 대한 개인의 주관적 평가에 의해 결정되며, 이는 노인의 특성이 아닌 인지적 통제의 일반적 원리인 것으로 보인다.

기존의 인지적 통제 모형에서는 갈등을 해결하기에 충분할 정도의 통제를 실행하지 못하는 것을 기능의 저하 혹은 오류로 설명해왔다. 그 이유는 통제 강도를 결정하는 유일한 요인이 갈등이었기 때문이다. 목표 성취를 방해하는 갈등을 해결하기 위해 통제 신호의 강도를 높인다는 기존의 모형에서 통제 강도는 갈등의 크기에 따라 결정되어야 한다. 그러나 갈등 뿐 아니라 갈등을 해결해서 얻는 보상에 대한 주관적인 평가가 통제 강도를 결정하는 요인에 포함 된다면 동일한 갈등에 대해서도 최적의 통제 강도가 개인적 특성에 따라 다양해질 수 있다. 이는 통제 강도가 약하다고 해서 통제 시스템이 적절하게 작용하지 못했다고 볼 수는 없다는 의미이며, 극단적인 경우 통제 자체를 포기하는 것 역시 성공적인 통제적 처리에 포함될 수 있다. 실제로, 통제적 처리 과정은 육체노동과 마찬가지로 피로를 유발하기 때문에 인지적 통제의 개입은 종종 우리가 내리는 최후의 선택인 경우가 많다(Westbrook, Kester, & Braver, 2013). 일단 통제

시스템의 개입이 결정되면 그 강도는 보상과 비용이라는 경제 논리에 따라 결정된다(Dixon & Christoff, 2012; Kool & Botvinick, 2014; Saunders, Milyavskaya, & Inzlicht, 2015). 최적의 신호 강도는 갈등을 해결하기에 충분하지 않은 강도 혹은 아예 통제 자체를 실행 하지 않는 것을 포함될 정도로 탄력적이다. 즉, 통제적 개입을 아예 하지 않는 것이 높은 통제 강도로 갈등을 성공적으로 해결하는 것보다 더욱 경제적이고, 결과적으로 더욱 성공적인 결정일 수 있다. 따라서 인지적 통제가 성공적으로 이루어지는지를 살펴보기 위해서는 얼마나 강하게 통제 수준을 높여서 갈등을 잘 해결할 수 있는가 보다는 보상과 비용에 근거하여 최적 강도를 탄력적으로 조절할 수 있는지에 주목할 필요가 있다.

임상 집단을 대상으로 한 연구에서 보고되는 내용-특정적 결함은 이에 대한 좋은 예이다. 일반적으로 임상 집단에서 나타나는 과도하거나 약한 통제 강도는 통제 시스템의 기능 저하로 해석되었다. 그러나 불안이나 우울에 대한 문제를 가진 임상 집단은 불안 자극이나 우울 자극이 방해 자극으로 사용될 경우에는 억제 기능 저하를 나타내지만 반면에 이들 자극이 목표 자극으로 사용되거나 정서 중립적 자극이 제시되는 경우에는 정상 집단과 차이를 보이지 않는다(Ashley, Honzel, Larsen, Justus, & Swick, 2013; Kalanthroff, Henik, Derakshan, & Usher, 2015; Vanderhasselt, Baeken, Van Schuerbeek, Luypaert, & De Raedt, 2013). Ashley와 동료들(2013)은 외상후 스트레스 장애를 겪고 있는 이라크 전쟁에 참전한 퇴역 군인들이 외상적 경험과 관련된 단어가 사용된 조건에서 선택적으로 수행 저하를 나타낸다는 사실을 발견하였다. 이러한 연구 결과들은 임상적 증상과 같은 비합리적 정보 처리 역시 개인의 특성에 따라 특정 정보의 처리에 대한 높은 처리 동기가 내용 특정적 양상으로 나타났음을 보여준다. 즉, 임상 집단에서 나타나는 부적절한 정보 처리는 통제 시스템의 실패가 아니라 오히려 성공적인 작동의 결과라고 할 수 있다.

본 연구의 결과는 실제 생활에서 인간의 행동이 항상 합리적이지는 않은 이유에 대한 부분적인 설명이 될 수 있다. 예컨대, 중요한 시험을 앞두고 열심히 공부해야한다는 것을 누구나 알고 있지만 모두가 시험공부를 열심히 하지는 않는다. 시험에 대한 인지적 비용과 보상에서 존재하는 개인차가 있을 수 있기 때문이다. 또한 우리는 가끔 운전을 하면서 딴 생각을 하거나 전방 주시를 하지 않고 다른 곳을 보기도 한다. 이것은 명백히 비합리적이며 심지어 자신과 타인의 안전을 위협하는 행위가 될 수 있다. 그러나 이는 인간은 주어지는 정보를 기계적으로 처리하는 프로그램이 아님을 보여주는 증거이다. 최우선 동기는 환경에 따라 지속적으로 바뀌며, 드물게는 안전에 대한 욕구보다 우선하는 동기가 발생할 수 있다. 인간의 동기는 개인적 경험과 특성, 환경적 요구에 따라서 수시로 발생하고 소멸하며 우선순위는 지속적으로 변화한다. 따라서 정서와 동기 요인을 고려한 통제 모형만이 각기 다른 상황에서 일어나는 통제 강도의 변산을 설명할 수 있을 것이다.

두 번째로, 인지적 통제의 개별 과정에 대한 노화의 영향이 각기 다른 것으로 나타났다. 앞서 살펴보았듯이, 노인은 ERN의 진폭과 d', 정확률 모두에서 보상 유형에 따른 유의한 차이를 나타

내었으며 ERN 진폭에서 연령차는 발견되지 않았다. 이를 바탕으로 볼 때 노년기에도 보상 평가를 통해 최적 통제 강도를 결정하는 기능과 반응 감시를 통해 오류를 탐지하는 기능이 잘 유지되고 있는 것으로 보인다. 흥미로운 점은 이 두 기능이 모두 전대상회의 역할이라는 것이다 (Shenhav, Botvinick, & Cohen, 2013). 본 연구의 결과는 전대상회가 노화의 영향에서 비교적 자유로운 영역일 가능성을 보여준다. 반면에 d'과 정확률에서는 연령차가 뚜렷하게 나타났다. 이는 배외측전전두피질이 담당하는 억제와 규칙 표상에서 노화에 따른 감퇴가 일관적으로 나타난 것과 같은 맥락이다(Barch, Braver, Racine, & Satpute, 2001; Paxton, Barch, Racine, & Braver, 2008; Belanger, Belleville, & Gauthier, 2010). 이러한 결과는 노화의 영향이 인지적 통제의 각 단계에서 균일하게 일어나지 않는다는 것을 의미한다. 다시 말해, 전두엽의 각 하위 영역에서 노화에 의한 기능 감퇴는 비대칭적인 것으로 보인다.

전대상회와 외측전전두피질에 대한 노화의 영향이 상이하다는 사실은 인지 노화 연구의 몇 가지 이슈들에 대한 해답의 실마리를 제공한다. 첫째로, 노년기 전두엽 기능에 대한 일관적이지 못한 연구 결과들이다. 노인의 전두엽 기능에 대한 많은 연구들은 생리적, 기능적 손상이 일어난다는 사실을 확인하였다(Troyer, Leach & Strauss, 2006; Belanger, Belleville & Gauthier, 2010). 그럼에도 불구하고 전두엽 기능의 연령차에 대한 일부 연구들은 기존의 연구에서 명백하게 확인된 연령차가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이들 연구는 갈등의 해결 과 탐지를 구분하거나 갈등의 탐지에 대한 민감도를 측정하는 것과 같이 인지적 통제 과정에서 전대상회의 역할을 분리해서 관찰했다는 공통점을 가진다(Czernochowski, 2014; Milham, Erickson, Banich, Kramer, Webb, Wszalek, & Cohen, 2002). Czernochowski(2014)의 연구에서, 갈등의 해결 단계에서는 연령차가 나타난 반면, 갈등의 탐지에서는 연령차가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 갈등의 해결에는 외측전전두 피질이 갈등의 탐지에는 전대상회가 관여한다는 것을 고려할 때, 전두엽 내 하위 영역 간 노화의 영향이 동일하지 않다는 본 연구의 결과를 뒷받침 한다.

두 번째로, 왜 인지적 노화가 실험실에서의 뚜렷한 저하에도 불구하고 직업 활동 등 일상적 기능에서의 뚜렷한 연령차로 나타나지 않는지에 대한 의문이다. 인지 노화 연구자들은 이에 대해 몇 가지 설명을 제안하였는데, Salthouse(2012)는 우리의 일상적 활동은 그다지 높은 수준의 인지 기능을 좀처럼 요구하지 않지만 설사 그렇더라도 노인은 경험과 숙달로 이를 보완한다고 설명하였다. Hess(2014)는 노인이 인지 자원의 소비에 까다롭고 선택적이라고 설명했다. 즉 자신이 중요하다고 여겨지는 곳에만 인지 자원을 사용하여 노화로 인한 감퇴를 극복한다는 것이다. 전두엽 내 하위 영역에서 나타나는 노화의 비대칭적 영향은 이러한 제안들보다 간명한 설명을 제공할 수 있다. 즉, 동기에 따라 인지적 자원의 소비량을 결정하는 능력이 노화의 영향에서 비교적 자유롭기 때문에 실생활에서 다양한 인지적 요구를 받을 때 노인은 탄력적으로 통제적 개입의 수준을 조절할 수 있다. 인지적 통제는 기억, 의사결정, 규칙 학습, 주의 등의 다양한 하위 인지 기능들을 조절하는 상위 기능으로, 본 연구의 결과는 인지적 통제 뿐 아니라 인지 기능 전

반으로 확장될 수 있다.

지금까지 인지적 통제 능력의 개인차를 살펴본 연구들은 대부분 통제 강도의 크기, 즉 갈등을 얼마나 성공적으로 해결하는지에 초점을 맞추어 왔다. 앞서 살펴 본 것과 같이 통제 시스템의 성공적인 작동은 통제 강도를 높여 갈등을 잘 해결하느냐에 달렸다고 여겨졌기 때문이다. 그 결과, 다양한 개인적, 상황적 특성에 따른 통제 강도의 변산은 단순히 오류 혹은 실패라는 이분법으로 분류될 수밖에 없었다. 그러나 인지적 통제가 동기와 정서의 요인을 포함하게 되면서 이제 우리는 실제 인간의 마음과 행동에 보다 가깝게 다가갈 수 있게 되었다. 실제로 우리가 인지 기능을 사용하는 현실에서, 보상의 요소가 완전히 배제된 상황은 있을 수 없다는 점에서 더욱 그렇다. 새로운 인지적 통제 모형은 이제 정상과 비정상, 성공과 실패라는 이분법에서 벗어나 현실에서 나타나는 다양한 인간의 마음과 행동에 대해 보다 깊이 있는 이해를 가능하게 한다. 알파고와 같은 인공 지능과 인간의 인지가 어떻게 다른지에 대해 우리는 전두엽의 인지적 통제를 연구함으로써 이해할 수 있다. 중요한 대국을 갑자기 취소하고 여행 가방을 싸서 휴양지로 떠나는 것은 오직 인간만이 할 수 있을 행동이기 때문이다. 전두엽 기능에 대한 보다 깊은 이해는 인간을 가장 인간답게 만드는 것이 무엇인지에 대한 통찰을 제공할 수 있을 것이다.

본 연구 제한점은 ERP 결과에서는 각 전극 모두에서 뚜렷하게 나타난 피드백 유형과 연령의 상호작용이 정확률과  $d'$ 과 같은 행동 결과에서는 발견되지 않았다는 점이다. 피드백유형이 각 연령 집단에서 가지는 주효과를 확인한 결과 각 연령 집단은 정확률과  $d'$  모두에서 자신들이 가장 선호하는 유형의 피드백이 주어지는 조건에서 중립조건보다 유의하게 뛰어난 수행을 나타내었다. 이로 미루어 보건데 청년과 노인 모두는 피드백의 유형에 따라 수행 수준을 성공적으로 조절한 것으로 보인다. 따라서 행동 결과와 ERP 결과는 모두 가장 중요한 피드백에 대해 가장 높은 수준의 수행을 보일 것이라는 가설을 지지한다고 할 수 있다. ERP 결과에서 명확하게 나타난 연령과 피드백 유형의 상호작용이 행동 지표에서는 경향성 정도로만 확인된 이유에 대한 가능한 설명 중 하나는 ERN이 개인간, 개인내 변산이 크다는 점을 생각해볼 수 있다(Weinberg, Riesel, & Hajcak, 2012). 마지막으로, 후속 연구에 대한 제언은 다음과 같다. 본 연구에서는  $d'$ 과 정확률로 억제 기능과 규칙 표상 기능을 측정하였으나, 만약 외측전전두피질과 전대상회에 대한 노화의 영향이 각 영역에 따라 다르게 나타나는 것이라면 보상의 유형에 따른 외측 전전두피질의 활동을 직접 관찰해 볼 필요가 있을 것이다.

## 참고문헌

김현옥, 진영선 (2016). The effect of reward type on cognitive control in young and old adults. **한국심리학회지: 발달**, 29(4), 37-59.

진영선, 김현옥 (2016). 노화와 정서조절: 보상평가를 통한 인지적 통제의 탄력적 개입. **한국심리학회지: 발달**, 29(3), 135-163.

Ashley, V., Honzel, N., Larsen, J., Justus, T., & Swick, D. (2013). Attentional bias for trauma-related words: exaggerated emotional Stroop effect in Afghanistan and Iraq war veterans with PTSD. *Bio Med Central Psychiatry*, 13(1), 1-11.

Barch, D., Braver, T., Racine, C., & Satpute, A. (2001). Cognitive control deficits in healthy aging: Neuroimaging investigations. *Neuroimage*, 13(6), S1025-S1025.

Belanger, S., Belleville, S., & Gauthier, S. (2010). Inhibition impairments in Alzheimer's disease, mild cognitive impairment and healthy aging: effect of congruency proportion in a Stroop task. *Neuropsychologia*, 48(2), 581-590.

Boehler, C. N., Schevernels, H., Hopf, J. M., Stoppel, C. M., & Krebs, R. M. (2014). Reward prospect rapidly speeds up response inhibition via reactive control. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 14(2), 593-609.

Borvinick, M., Nystrom, L. E., Fissell, K., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402(6758), 179-181.

Borvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends Cognitive Sciences*, 8(12), 539-546.

Braver, T. S., & Barch, D. A. (2002). A theory of cognitive control, aging cognition, and neuromodulation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 809-817.

Braver, T. S., & West, R. (2008). Working memory, executive control, and aging. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The handbook of aging and cognition* (3rd ed., pp. 311 - 372). New York, NY: Psychology Press.

Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(6), 215-222.

Carstensen, L. L. (1992). Social and emotional patterns in adulthood: support for socioemotional selectivity theory. *Psychology and Aging*, 7(3), 331-338.

Carstensen, L. L., Isaacowitz, D. M., & Charles, S. T. (1999). Taking time seriously. A theory of socioemotional selectivity. *American Psychologist*, 54(3), 165-181.

Czernochowski, D. (2014). Conflict Monitoring Across the Life Span How to Tell Right From Wrong and Act Accordingly. *Journal of Psychophysiology*, 28(3), 124-135.

Dixon, M. L., & Christoff, K. (2012). The Decision to Engage Cognitive Control Is Driven by Expected Reward-Value: Neural and Behavioral Evidence. *PLoS One*, 7(12), e51637

Dreher, J.C., Meyer-Lindenberg, A., Kohn, P., Berman, K.F. (2008). Age-related changes in midbrain



- dopaminergic regulation of the human reward system. *Proceedings of National Academy of Sciences of the USA*, 105(39), 15106-15111
- Eppinger, B., Kray, J., Mock, B., & Mecklinger, A. (2008). Better or worse than expected? Aging, learning, and the ERN. *Neuropsychologia*, 46(2), 521-539.
- Ford, J. H., & Kensing, E. A. (2014). The relation between structural and functional connectivity depends on age and on task goals. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 307
- Gehring, W. J., Himle, J., & Nisenson, L. G. (2000). Action-monitoring dysfunction in obsessive-compulsive disorder. *Psychological Science*, 11(1), 1-6.
- Goeleven, E., De Raedt, R., Baert, S., & Koster, E. H. (2006). Deficient inhibition of emotional information in depression. *Journal of Affective Disorders*, 93(1), 149-157.
- Grundler, T. O., Cavanagh, J. F., Figueroa, C. M., Frank, M. J., & Allen, J. J. (2009). Task-related dissociation in ERN amplitude as a function of obsessive-compulsive symptoms. *Neuropsychologia*, 47(8-9), 1978-1987.
- 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*, 24(2), 109-117.
- Gunning-Dixon, F. M., Gur, R. C., Perkins, A. C., Schroeder, L., Turner, T., Turetsky, B. I., Gur, R. E. (2003). Age-related differences in brain activation during emotional face processing. *Neurobiology of Aging*, 24(2), 285-295.
- Hajcak, G. (2012). What We've Learned From Mistakes: Insights From Error-Related Brain Activity. *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 101-106.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(2), 87-96.
- Hertel, P. T., & Gerstle, M. (2003). Depressive deficits in forgetting. *Psychological Science*, 14(6), 573-578.
- Hess, T. M. (2014). Selective engagement of cognitive resources: motivational influences on older adults' cognitive functioning. *Psychological Science*, 9(4), 388-407.
- Jimura, K., Locke, H. S., & Braver, T. S. (2010). Prefrontal cortex mediation of cognitive enhancement in rewarding motivational contexts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(19), 8871-8876.
- Jimura, K., Myerson, J., Hilgard, J., Keighley, J., Braver, T. S., & Green, L. (2011). Domain independence and stability in young and older adults' discounting of delayed rewards. *Behavioral Processes*, 87(3), 253-259.
- Kalanthroff, E., Henik, A., Derakshan, N., & Usher, M. (2015). Anxiety, Emotional Distraction, and

- Attentional Control in the Stroop Task. *Emotion*, 16(3), 293-300.
- Kool, W., McGuire, J. T., Rosen, Z. B., & Botvinick, M. M. (2010). Decision making and the avoidance of cognitive demand. *Journal of Experimental Psychology-General*, 139(4), 665-682.
- Krebs, R. M., Boehler, C. N., Appelbaum, L. G., & Woldorff, M. G. (2013). Reward associations reduce behavioral interference by changing the temporal dynamics of conflict processing. *PLoS One*, 8(1), e53894.
- Lucci, G., Berchicci, M., Spinelli, D., Taddei, F., & Di Russo, F. (2013). The effects of aging on conflict detection. *PLoS One*, 8(2), e56566.
- MacDonald, A. W., 3rd, 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.
- Mansouri, F. A., Tanaka, K., & Buckley, M. J. (2009). Conflict-induced behavioural adjustment: a clue to the executive functions of the prefrontal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 141-152.
- Mathalon, D. H., Bennett, A., Askari, N., Gray, E. M., Rosenbloom, M. J., & Ford, J. M. (2003). Response-monitoring dysfunction in aging and Alzheimer's disease: an event-related potential study. *Neurobiology of Aging*, 24(5), 675-685.
- Mathews, C. A., Perez, V. B., Delucchi, K. L., & Mathalon, D. H. (2012). Error-related negativity in individuals with obsessive-compulsive symptoms: toward an understanding of hoarding behaviors. *Biological Psychology*, 89(2), 487-494.
- Metzler-Baddeley, C., Jones, D. K., Steventon, J., Westacott, L., Aggleton, J. P., & O'Sullivan, M. J. (2012). Cingulum Microstructure Predicts Cognitive Control in Older Age and Mild Cognitive Impairment. *Journal of Neuroscience*, 32(49), 17612-17619.
- Milham, M. P., Erickson, K. I., Banich, M. T., Kramer, A. F., Webb, A., Wszalek, T., & Cohen, N. J. (2002). Attentional control in the aging brain: insights from an fMRI study of the stroop task. *Brain and Cognition*, 49(3), 277-296.
- Mikels, J. A., Larkin, G. R., Reuter-Lorenz, P. A., & Carstensen, L. L. (2005). Divergent trajectories in the aging mind: Changes in working memory for affective versus visual information with age. *Psychology and Aging*, 20(4), 542-553.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Ochsner, K. N., Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion, *Trends in Cognitive Science*, 9(5), 242-249.
- Padmala, S., & Pessoa, L. (2011). Reward reduces conflict by enhancing attentional control and biasing

- visual cortical processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3419-3432.
- Pailing, P. E., & Segalowitz, S. J. (2004). The error-related negativity as a state and trait measure: motivation, personality, and ERPs in response to errors. *Psychophysiology*, 41(1), 84-95.
- Pardo, J. V., Lee, J. T., Sheikh, S. A., Surerus-Johnson, C., Shah, H., Munch, K. R., Dysken, M. W. (2007). Where the brain grows old: decline in anterior cingulate and medial prefrontal function with normal aging. *Neuroimage*, 35(3), 1231-1237.
- Paxton, J. L., Barch, D. M., Racine, C. A., & Braver, T. S. (2008). Cognitive control, goal maintenance, and prefrontal function in healthy aging. *Cereb Cortex*, 18(5), 1010-1028.
- Phillips, L. H., & Della Sala, S. (1998). Aging, intelligence, and anatomical segregation in the frontal lobes. *Learning and Individual Differences*, 10(3), 217-243.
- Pietschmann, M., Endrass, T., Czerwon, B., & Kathmann, N. (2011). Aging, probabilistic learning and performance monitoring. *Biological Psychology*, 86(1), 74-82.
- Pontifex, M., Scudder, M., Brown, M., O'Leary, K., Wu, C., Themanson, J., et al. (2010). On the number of trials necessary for stabilization of error related brain activity across the life span, *Psychophysiology*, 47(4), 767-773.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik and Salthouse T. A. (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition* (2nd edition, pp. 1-90). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Head, D., Williamson, A., Acker, J. D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: general trends, individual differences and modifiers. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1676-1689.
- Riesel, A., Weinberg, A., Endrass, T., Meyer, A., & Hajcak, G. (2013). The ERN is the ERN is the ERN? Convergent validity of error-related brain activity across different tasks. *Biological Psychology*, 93(3), 377-385.
- Salthouse, T. A. (2012). Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology*, 63, 201-226.
- Samanez-Larkin, G. R., Robertson, E. R., Mikels, J. A., Carstensen, L. L., & Gotlib, I. H. (2009). Selective attention to emotion in the aging brain. *Psychology and Aging*, 24(3), 519-529.
- Shackman, A. J., Salomons, T. V., Slagter, H. A., Fox, A. S., Winter, J. J., & Davidson, R. J. (2011). The Integration of Negative Affect, Pain, and Cognitive Control in the Cingulate Cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(3), 154-167.
- Shenhav, A., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2013). The expected value of control: an integrative theory of anterior cingulate cortex function. *Neuron*, 79(2), 217-240.

- Schott, B. H., Niehaus, L., Wittmann, B. C., et al. (2007). Ageing and early-stage Parkinson's disease affect separable neural mechanisms of mesolimbic reward processing. *Brain*, 130(9), 2412-2424.
- Stahl, J., Acharki, M., Kresimon, M., Voller, F., & Gibbons, H. (2015). Perfect error processing: Perfectionism-related variations in action monitoring and error processing mechanisms. *International Journal of Psychophysiology*, 97(2), 153-162.
- Tisserand, D. J., Pruessner, J. C., Arigita, E. J. S., van Boxtel, M. P. J., Evans, A. C., Jolles, J., & Uylings, H. B. M. (2002). Regional frontal cortical volumes decrease differentially in aging: An MRI study to compare volumetric approaches and voxel-based morphometry. *Neuroimage*, 17(2), 657-669.
- Troyer, A. K., Leach, L., & Strauss, E. (2006). Aging and response inhibition: Normative data for the Victoria Stroop Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 13(1), 20-35.
- Vallesi, A. (2011). Targets and non-targets in the aging brain: A go/nogo event-related potential study. *Neuroscience Letters*, 487, 313-317.
- Vanderhasselt, M. A., Baeken, C., Van Schuerbeek, P., Luypaert, R., & De Raedt, R. (2013). Inter-individual differences in the habitual use of cognitive reappraisal and expressive suppression are associated with variations in prefrontal cognitive control for emotional information: an event related fMRI study. *Biological Psychology*, 92(3), 433-439.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 849-857.
- Weinberg, A., Olver, D. M., & Hajcak, G. (2010). Increased error-related brain activity in generalized anxiety disorder. *Biological Psychology*, 85, 472-480.
- Weinberg, A., Riesel, A., & Hajcak, G. (2012). Integrating multiple perspectives on error-related brain activity: The ERN as a neural indicator of trait defensive reactivity. *Motivation and Emotion*, 36, 84-100.
- West, R., & Alain, C. (2000). Age-related decline in inhibitory control contributes to the increased Stroop effect observed in older adults. *Psychophysiology*, 37(2), 179-189.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120(2), 272-292.
- Westbrook, A., Kester, D., & Braver, T. S. (2013). What Is the Subjective Cost of Cognitive Effort? Load, Trait, and Aging Effects Revealed by Economic Preference. *PLoS One*, 8(7), e68210.
- Westbrook, A., & Braver, S. (2013). The economics of cognitive effort. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 704-726.

1차 원고 접수: 2017. 09. 19  
1차 심사 완료: 2017. 10. 21  
2차 원고 접수: 2017. 11. 01  
2차 심사 완료: 2017. 11. 17  
3차 원고 접수: 2017. 11. 23  
3차 심사 완료: 2017. 11. 28  
최종 게재 확정: 2017. 12. 05

(Abstract)

## Asymmetric effect of aging on cognitive control processes: An ERP study

Youngsun Jin

Hyunok Kim

Department of Psychology, Kyunpook National University

Recently, studies on cognitive control revealed that the optimal level of control is determined on the basis of reward and cost. The value of reward can be subjective and therefore, the optimal control strength can vary accordingly. The inconsistent effect of aging on cognitive control can be the result of flexible adjustment of control signal strength made by the older subjects. In other words, the elderly people maintains the ability to set the optimal level of control, which is known as the function of the dorsal anterior cingulate cortex. On the other hand, the age-related decline in cognitive control is obvious in rule maintenance and inhibition, which has to do with the function of lateral prefrontal cortex. In this study, we had young and old adults perform go-no go task and compared the behavioral and neural results for different reward conditions. Both age groups showed the best performance and the largest ERN amplitude when the reward was most appealing to them. And there was no age effect in ERN amplitude even though older adults' d' and accuracy was inferior to younger participants. These findings suggest that the effect aging on different cognitive control processes can be asymmetric.

*Key words* : cognitive control, motivation, aging, ERN