

## 노화의 인지신경기전

박 태 진

전남대학교 심리학과

노화에 관한 인지심리학 및 신경심리학 연구, 그리고 인지신경과학 연구를 개관하였다. 지각 능력의 연령 관련 감퇴는 인지 능력의 감퇴와 관련된 것으로 짐작되며, 일화기억과 작업기억은 의미기억, 암묵기억 및 절차기억에 비해 노화의 영향을 크게 받는다. 인지심리학적 설명으로서 처리 속도의 저하(처리 속도론), 처리자원의 감소(처리 자원론), 억제적 통제의 감퇴(억제적 통제론), 감각기능의 감퇴(감각기능론) 등이 제안되었다. 신경영상 연구에 따르면, 형태나 공간 지각 도중 노인은 시각처리의 결핍을 전두엽을 포함한 다른 영역의 활성화로 보상한다(기능적 보상). 또한 노인의 일화기억 부호화와 인출에서 관찰된 전전두엽 활성화패턴의 감소된 반구비대칭성은 기능적 보상과 전두엽 퇴조(전두엽가설)에 기인한 것으로 짐작된다. 마지막으로 전두엽 가설과 같이 단일 기전에 근거한 일반화 모델의 문제점을 논의하였다.

주제어: 노화, 인지신경과학, 기능적 보상, 전두엽가설

---

본 연구는 과학기술부 뇌신경정보사업의 지원을 받아 수행되었음. 이 논문에 대해 귀중한 조언을 제공한 심사위원들에게 감사한다.

교신저자: 박 태 진, (500-757) 광주광역시 북구 용봉동 300, 전남대학교 심리학과

E-mail: tpark@chonnam.ac.kr

정상적인 노화 과정에서도 뇌의 기능 감퇴는 일반적인 현상이다. 노화 과정에서 뇌는 다양한 부적 변화를 보이는데, 회백질과 백질의 위축, 시냅스 퇴화, 혈류 감소, 신경화학적 변화 등을 그 예로 들 수 있다. 정상적인 노화는 사고나 뇌졸중에 기인한 뇌 기능 감퇴와 유사하게 다양한 인지적 결함을 수반한다. 주의집중 장애나 망각 등 다양한 인지적 결함이 대부분 연령 증가에 따른 뇌 기능 감퇴와 관련되어 있다는 것은 논란의 여지가 없다.

인지적 노화 연구와 신경적 노화 연구가 매우 활발하게 이루어져 왔음에도 불구하고 이 두 계열의 연구는 비교적 최근까지 독립적으로 연구되어 왔으며, 양자간의 관계에 관한 연구는 최근에야 관심의 대상이 되기 시작하였다. 즉, 노화의 신경과학과 노화의 인지심리학은 잘 발달되어 왔지만, 노화의 인지신경과학은 아직 태동기에 있다고 할 수 있다(Cabeza, 2001).

노화의 신경적 측면과 인지적 측면간 관계를 연구하는 방법으로서 다음을 들 수 있다. 먼저, 노화의 신경적 측정치와 인지적 측정치의 상관관을 구하는 방법으로서, 뇌 부피와 기억수행간 관계에 관한 연구 등을 그 예로 들 수 있다. 최근에는, 기능적 신경영상기법(예, PET, fMRI)을 이용하여 신경적 노화와 인지적 노화간 관계를 규명할 수 있는 중요한 전기가 마련되었다. 본 고찰에서는 먼저 노화에 관한 신경학적 연구, 그리고 인지심리학적 연구 및 이론적 설명들을 먼저 살펴보겠다. 그 후 인지신경과학적 연구 및 이와 관련된 전두엽 가설을 살펴볼 것이다.

## 구조적 변화

노화가 뇌 구조에 미치는 영향은 여러 측면에서 관찰되는데, 뇌 부피, 백질의 밀도, 화학 물질의 축적 등 다양하다. 이 가운데, 노화의 영향을 가장 뚜렷하게 보여주는 뇌 구조의 특성으로서 뇌 부피를 들 수 있다. 검시 연구들에 따르면, 뇌의 무게와 부피는 노화에 따라 10년 당 약 2% 정도의 비율로 감소한다(Kemper, 1994). 이러한 위축은 수상돌기 감소와 시냅스 상실에 기인한 신경의 사망이나 신경의 위축을 반영한다(Esiri, 1994). MRI 연구들 역시 뇌 부피와 연령간에 부적 상관(예,  $r=-.41$ ; Raz 등, 1997)이 있음을 보고하였다.

흥미로운 사실은 연령 관련 위축이 뇌 영역에 따라 그 정도가 크게 다르다는 점이다. 가장 큰 연령 관련 위축을 보이는 부위는 전전두엽(PFC: prefrontal cortex;  $-.47$ ), 선조체(미상,  $-.47$ ; 피각,  $-.44$ )이며, 측두엽( $-.27$ )과 두정엽( $-.29$ ), 해마( $-.31$ )와 소뇌( $-.29$ )는 상대적으로 연령의 영향을 덜 받고, 일차 감각영역과 뇌교는 거의 아무런 부피 감소를 보이지 않는다(Raz, 2000). 하지만 위축 비율이 크다고 해서 기능 감소 역시 반드시 큰 것은 아니며, 위축과 기능간 관계는 뇌 영역에 따라 달라질 수 있다. 앞서 Raz(2000)의 연구에서 주목할 만한 점은 연령에 따른 위축이 해마보다 전전두엽에서 더 크게 나타난다는 사실인데, 통상 전전두엽 위축은 건강한 노화의 특징인데 반해 해마 위축은 병리적 노화(예, Alzheimer 질병: AD)의 신호로 간주된다(Raz, 2000).

## 기능적 변화

연령과 관련된 뇌 기능의 변화로서 신경화

## 노화의 신경심리학

학, 혈류 등의 변화를 들 수 있다. 수용기의 수 그리고 효소와 신경전달물질의 농도 변화가 세로토닌, 아세틸콜린, 도파민 수용기에서 관찰되었다(Strong, 1998). 전전두엽의 수용기 상실은 이상 세 수용기 모두에서 관찰되는데, 정서 조절과 관련된 세로토닌 기능 감퇴는 노인의 우울증과 연결되며, 학습 및 기억과 관련된 콜린성 체계의 기능 감퇴는 AD환자의 기억 쇠퇴의 원인 가운데 하나이다(Weinstock, 1995). 운동기능과 관련된 도파민은 전두엽 인지 기능을 조절하는데, 그 변화는 파킨슨 질병(PD)뿐만 아니라 정상 노화에서도 인지 감퇴의 원인이다(Prull, Gabrieli, & Bunge, 2000). 국소 뇌혈류(rCBF: regional cerebral blood flow) 측정 결과에 따르면, 노화는 피질 전반에 걸친 rCBF의 감소와 관련된다(Madden & Hoffman, 1997). 한편 뇌의 전측 부위와 후측 부위에서의 혈류 분포 역시 연령에 따라 달라지는데, 중년 성인은 뇌의 후측 영역보다 전측 영역에서 더 많은 rCBF를 보이는 반면(고전두성: hyperfrontality), 노인은 반대의 패턴을 보인다(저전두성: hypofrontality) (West, 1996).

뇌 구조적 측면에서 연령에 따른 뇌 위축이 다른 뇌영역에 비해 전두엽에서 더 크게 일어난다는 사실, 아울러 신경화학적 변화나 뇌 혈류의 감소 역시 전두엽에서 두드러진다는 사실은 전두엽가설을 지지하는 증거라 할 수 있다. 이 가설에 따르면 인지적 노화는 전두엽영역의 퇴조와 관련되어 있는데, 자세한 내용은 나중에 다룰 것이다.

## 노화의 인지심리학

노화가 인지 기능에 미치는 영향은 지각과

주의, 다중 기억체계들, 언어 처리 등 다양한 인지적 측면에서 연구되었다.

## 지각과 주의

과거 한때, 노화는 고등수준 인지기능에만 주로 영향을 미치고 지각기능에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 간주되었다. 하지만 최근 지각과 인지 각각에 미치는 노화의 효과가 서로 밀접하게 상관되어 있음을 밝힌 연구들이 보고되었다. 시각의 경우 감각 결합의 일차적 원인으로서는 각막, 홍채, 렌즈 등 안구 구조의 감퇴를 들 수 있다. 그러나 연령 관련 감퇴는 주변시나 운동 지각과 같은 고등수준 시각과정에서도 나타나는데(Schneider & Pichora-Fuller, 2000), 이는 특히 분할주의와 같이 주의를 요구하는 과제 수행에서 더욱 두드러진다(McDowd & Shaw, 2000). 일반적으로 더 복잡한 감각기전에 비해 단순한 감각기전은 노화의 영향을 덜 받는다. 예를 들어, 조도와 같은 1차 자극보다 대비와 같은 2차 자극에 대해 노인은 젊은 성인에 비해 더 낮은 민감성을 보이는데, 이는 노화가 특정 지각과정에만 영향을 미치기 때문이기보다는 더 많은 자극 처리를 요구하는(따라서 더 많은 뇌 영역이 관여하는) 복잡한 지각처리에 어려움을 초래하기 때문이다(Habak & Faubert, 2000). 한편, 지각 능력과 인지 능력간의 관계에 대해, 감각 능력(예, 시력)의 감퇴가 인지 능력의 감퇴와 관련되지 않음을 보고한 연구가 있다(Hofer, Berg, & Era, 2003).

## 기억

다중기억체계 이론 가운데 기억을 일화기

억, 의미기억, 절차기억, 암묵기억(점화), 작업 기억으로 구분하는 관점이 있는데(Schacter & Tulving, 1994), 노화가 기억에 미치는 영향은 기억체계에 따라 다르게 나타난다.

기억체계 가운데 노화의 영향을 가장 크게 받는 것으로 알려진 것이 **일화기억**인데, 인출 검사에 따라 노화의 영향이 다르게 나타난다. 일반적으로 연령효과는 재인검사보다 회상검사에서 크게 나타나며, 재인의 경우에도 단일 항목에 대한 재인보다 연합적 재인(예, 단어-단어 재인, 원천기억)에서 더 크게 나타난다(Yonelinas, 2002). 즉 노화는, 의식적 노력이 별로 요구되지 않고 친숙성에 근거한 인출을 요구하는 검사(예, 단일 항목 재인)보다는 의식적 노력이 많이 요구되며 자기 생성적인 책략적 인출을 요구하는 검사(예, 회상과 연합적 재인)에 더 큰 영향을 미친다.

의미기억과 절차기억은 일화기억과 달리 노화의 영향을 거의 받지 않는 것으로 간주되었다(Wingfield & Kahana, 2002). 그러나 노화가 의미기억보다 일화기억에 더 큰 영향을 미치는 것은 하지만 의미기억 역시 다소 노화의 영향을 받는다는 것을 보고한 연구도 있다(Nyberg 등, 2003). 한편 의미기억과제 수행에서 젊은 성인에 비해 노인이 더 높은 점화효과(과점화)를 보인다는 것을 보고한 연구들이 있는데(예, Laver, 2000), 이에 대해 노인들의 경우 더 풍부한 경험 때문에 관련 개념들간 연결이 더 많이 형성되었다는 설명(Laver & Burke, 1993), 단순히 반응속도가 느린데 기인하거나 예상과 같은 주의책략에 기인한다는 설명 등이 제안되었다(Giffard, Desgranges, Kerrouche, Piolino, & Eustache, 2003). 한편 **암묵기억**은 노화의 영향을 거의 받지 않는다고 많은 연구들이 보고하였다(그러나 점화과제에서 연령효과를 보고한

연구들도 일부 있음; La Voie & Light, 1994). 예를 들어, 어간완성검사에서 젊은 성인집단과 노인집단은 AD환자에 비해 높은 점화를 보이지만 두 집단간에는 점화량에서 차이가 없으며(McGeorge, Taylor, Sala, & Shanks, 2002), 의도적이고 의식적인 외현적 인출 오염이 최소화 될 때에는 지각적 암묵기억검사뿐만 아니라 개념적 암묵기억검사에서도 연령효과가 관찰되지 않는다(Mitchell & Bruss, 2003).

연령효과는 단순한 **단기기억** 과제(예, 숫자 폭 과제)에서는 비교적 작게 나타나지만, **작업 기억**의 집행기능이 요구되는 과제(예, 작업기억폭 과제; Daneman & Carpenter, 1980)에서는 매우 크게 나타난다. 한편, 목표와 무관한 정보를 작업기억에서 억제하는 통제 기전 역시 노화의 영향을 받는데, 노인의 경우 간접적인 의미적 연상을 더 많이 하거나 망각해야 할 정보를 더 잘 기억하는 경향이 있다(Zacks, Hasher, & Li, 2000).

## 인지적 노화이론

인지기능의 노화효과를 설명하고자 하는 이론적 관점들은 전통적으로 단일한 기전을 통해 모든 인지기능 저하를 설명하고자 시도하였다(예, Salthouse, 1996). 노화 관련 인지기전으로 제안된 대표적 관점들은 처리 속도, 작업기억과 관련된 처리 자원, 억제, 그리고 감각 기능에 각각 초점을 두고 있다.

## 처리 속도론

Salthouse(1991, 1996)에 따르면, 연령 관련 인지기능 감퇴를 설명해주는 기본적 기전은 정

신 조작을 수행하는 속도의 전반적 감퇴이다. 그는 기억에서 추론에 이르기까지 거의 모든 종류의 인지과제에서 관찰되는 대부분의 연령 관련 변산이 지각적 속도 과제의 비교 수행 속도로 설명될 수 있다는 것을 밝혔다(Salthouse, 1996). 지각적 속도 과제는 단순한 지필검사로서 숫자나 글자 또는 유사한 상징 쌍에 대해 지각적인 동일-상이 판단을 빨리 수행하도록 하는 과제이다. 처리 속도의 측정은 일정 기간 내에 이루어지는 정확 비교의 수로 이루어진다.

Salthouse(1996)는 처리 속도와 인지간의 관계를 '제한된 시간 기전'과 '동시성 기전'의 두 기전으로 설명한다. '제한된 시간 기전'에 따르면, 이용 가능한 시간 가운데 초기 조작의 수행에 소요되는 시간의 비율이 클수록 후기 조작의 수행 시간이 제약을 크게 받는다. '동시성 기전'에 따르면, 초기 처리의 산물이 후기 처리가 완료되기 전에 상실될 수 있다. 결국 노화에 따른 인지과제 수행 저하의 원인은, 복잡한 인지과제에서 초기 처리단계의 수행이 더디게 이루어지고 이로 인해 초기 조작의 산물을 후기 처리단계에서 이용할 수 없기 때문이다. 처리 속도론은 특히 노화의 개인차를 설명하는 데 매우 유용한 것으로 드러났다. 노화 정도에 있어 개인간 변산이 상당히 큰데, 처리 속도가 이러한 변산을 잘 설명해주는 것이다.

처리 속도론에 따르면 느린 처리 속도의 효과는 전반적인 것으로서 모든 인지 양상에 영향을 미친다. 인지과제 가운데 작업기억이나 회상, 추론과 같이 속도 성분을 갖고 있지 않는 것처럼 보이는 과제조차도 느린 처리 속도 때문에 노화 효과를 보인다. 인지과제 수행에 필요한 정신 조작이 복잡할수록 느린 처리 때문에 노인의 수행이 젊은이의 수행과는 다를

가능성이 커지며, 따라서 과제가 어려울수록 노화 효과가 커지는 것이다.

### 처리 자원론(작업기억론)

Kahneman(1973)의 주의용량모델에 따르면 인지과정은 주의 자원을 요구하는데, 가용한 주의 자원의 전체 양은 제한되어 있다. Craik와 Byrd (1982)는 노화에 따라 처리 자원의 양이 감소하며 이 때문에 처리 자원을 요구하는 인지과제 수행이 결함을 보인다고 주장하였다. 특히 노인은 '자기-시발적 처리(self-initiated processing)'에 종사하는 능력이 결핍되어 있다. 처리 자원은 작업기억과제를 통해 잘 측정될 수 있는데, 여기서 작업기억이란 정보를 처리하기 위해 특정 순간 이용 가능한 인지 자원의 양이라고 정의할 수 있다. 노인들의 기억 수행이 분할주의조건에서의 젊은이의 수행과 유사한 연구 결과(Anderson, Craik, & Naveh-Benjamin, 1998)가 처리 자원론을 지지해준다. 분할주의조건에서는 과제 수행에 이용할 수 있는 인지 자원의 양이 감소하는데, 노인의 수행이 가용 인지 자원이 감소된 실험조건에서의 수행과 유사하기 때문이다.

처리 자원론으로부터 제안된 흥미있는 가설이 환경 지원 가설인데(Craik 등, 1982), 환경 지원이란 기억과제의 처리 요구를 감소시켜주는 인지과제의 요소이다. 이 가설에 따르면, 노인의 작업기억 용량이 비록 제한되어 있지만 과제 수행에 용량이 덜 요구되는 방식으로 과제가 구성된다면 노화효과가 감소할 것이다. 예를 들어, 다중 선택지 가운데 하나를 선택하도록 요구하는 과제에서 질문이 시각적으로 제시되는 경우에 비해 청각적으로 제시되는 경우에는 젊은이와 달리 노인의 경우 수행이

훨씬 더 저조하였는데(Schwarz & Knauper, 2000), 이는 시각적으로 제시된 경우에는 선택지를 모두 볼 수 있게끔 환경 지원을 받는 반면 청각적으로 제시된 경우에는 환경 지원이 빈약하여 처리 부담이 더 크기 때문이다. 기억과제 가운데 회상과제보다 재인과제에서 연령 관련 결핍이 더 작은 사실도 환경 지원 시설과 일치하는 것이다(Spencer & Raz, 1995).

### 억제론

Hasher와 Zacks(1988)는 연령 관련 인지적 결함이 작업기억 내용에 대한 억제적 통제의 감퇴에 기인한다고 주장하였다. 억제적 통제는 목표와 무관한 정보가 작업기억에 접속하는 것을 막고 과제와 더 이상 관련되지 않은 정보의 활성화를 억압하며 부적절한 반응을 차폐하는 기능을 갖고 있다(Hasher, Zacks, & Macy, 1999). 억제적 통제가 실패하면 목표와 무관한 정보가 작업기억에 접속하여 혼란이 야기되고 이 때문에 작업기억 조작이 장애를 받는다. 그런데 노화에 따라 표적 정보에 초점을 주고 무관한 정보에 대한 주의를 억제하는데에 어려움이 커진다는 것이다. 이 관점에 따르면, 노인들은 일차적 정보에 초점을 유지하는 능력이 감퇴하여 관련 정보와 무관 정보 양자에 주의를 흔히 분산되고 이 때문에 인지 과제 수행이 저하된다. 통상 노화에 따라 작업 기억 용량이 감소하는 것처럼 보이는데, 그 이유는 억제설에 따르면 억제기제가 비효율적이어서 상당량의 무관 정보가 작업기억을 점유하여 표적 정보의 회생을 초래하기 때문이다.

노화효과에 대한 억제설은 특히 답화 처리에 잘 적용된다. 틀린 것으로 판명된 정보에 대한 기억에 있어 노인들은 젊은이에 비해 이

잘못된 정보를 억제하지 못하고 기억에 더 잘 유지함으로써 이러한 무관 정보로부터 추후의 인지 수행에 있어 영향을 받을 가능성이 크다. 특히 언어생성이나 다른 온라인 생성 과제에서 억제가 흔히 작용하는데, 강한 반응을 억제해야 할 때 억제 효과가 두드러지며 이러한 상황에서 노인들은 빈약한 억제 기능을 보일 가능성이 더 크다(Zacks & Hasher, 1997). 억제설을 지지하는 또 다른 증거로서 노인들이 젊은이에 비해 간접적인 의미적 연상을 더 많이 하거나 잘못된 해결책 또는 망각해야 할 정보를 더 잘 기억하는 경향을 들 수 있다(Zacks 등, 2000).

### 감각기능론

인지기능에 미치는 노화 기전에 대해 매우 중요한 시사를 제공한 연구가 Berlin Aging Study이다. Lindenberger와 Baltes(1994)는 Berlin에 거주하는 70세에서 103세에 이르는 노인들로부터 의학적, 감각적, 인지적, 사회적 측정치에 이르기까지 광범위한 자료를 수집하였는데, 그 분석 결과 인지적 능력의 연령 관련 변인이 감각기능에 의해 매개된다는 사실을 밝혔다. 여기서 감각기능은 단순한 시력과 청력 검사로 측정되었다. 이 감각 측정치는 처리속도의 모든 변인을 매개하였지만 그 역은 그렇지 않았는데, 이러한 사실은 감각기능이 인지기능의 근본적 지표임을 시사한다. 즉 감각기능은 신경생물학적 구조의 일반적 지표로서 인지기능의 기반이며 모든 인지 능력의 강력한 매개변인이라 할 수 있다.

또 다른 흥미있는 사실은 전 생애에 걸쳐 모든 인지 기능이 체계적으로 감퇴한다는 점이다. Baltes와 Lindenberger(1997)는 25세에서

103세까지의 참가자들을 조사한 결과, 통상 노화의 영향을 거의 받지 않는 것으로 알려진 세사사 지식과 언어 유창성까지도 노화에 따라 감퇴된다는 사실을 밝혔는데, 이는 초기 치매 노인을 배제한 경우에도 마찬가지였다. 아울러 인지적 감퇴를 감각기능이 매개한다는 사실 역시 확인하였다. 그리고 인지적 감퇴의 기울기는 교육, 직업, 사회계층, 소득과 무관하게 일정하였다. 이러한 결과들은 인지적 감퇴가 사회적 요인보다는 생물학적 요인에 근거함을 시사한다(Baltes & Lindenberger, 1997). 그러나 여기서 주의할 점은 비록 인지적 감퇴가 모든 사회경제적 집단에서 일정하게 이루어지지만, 젊은 시절 인지적 자원이나 경험의 양이 많은 사람은 적은 사람에 비해 노인이 되어도 상대적으로 높은 인지능력을 보유한다는 점이다. 즉 교육을 더 많이 받은 사람일수록 인지적 자원의 수준이 더 높고 이에 따라 노화가 시작될 때 출발 수준이 더 높으므로, 노년기에도 교육을 덜 받은 사람에 비해 상대적으로 더 나은 인지능력을 유지한다(Park, 2000).

## 노화의 인지신경과학

노화의 인지적 측면과 신경적 측면간 관계를 밝히고자 하는 시도가 최근 활발하게 이루어지고 있는데, 이는 노화에 관한 인지심리학적 이론, 뇌 손상 연구, 그리고 기능적 신경영상 연구에서 찾아볼 수 있다.

인지적 노화의 신경학적 기반을 추론할 때, 연령과 관련된 인지적 결함이 처리 자원의 감소에 기인한다면 주의와 관련된 뇌 영역(전전두엽, 전측 대상피질, 시상과 두정 영역; Posner

& Petersen, 1990)을 인지적 노화의 신경학적 기반으로 짐작할 수 있다. 또한, 억제적 통제기전의 결함에 기인한다면 이와 관련된 뇌영역(전전두엽, 전측 대상피질)을 역시 짐작할 수 있다. 비효율적 억제로 인한 추가적 처리를 위해 노인들이 젊은 성인보다 뇌의 다른 영역에서 더 많은 활성화를 보이는 뇌 영역이 있을 것으로 예상하고, 아울러 이 활성화가 수행과 부적으로 상관될 것이라고 예상할 수 있다. 반면, 연령 관련 인지적 결함이 단지 느린 처리 과정에 기인한다면, 인지적 노화의 신경학적 기초가 여러 과제들에서 유사하게 나타나며 백질 변화에 따른 신경전도 속도의 변화가 관련될 것으로 짐작할 수 있을 것이며, 아울러 소뇌와 기저핵과 같이 인지조작과 운동반응의 조정을 담당하는 뇌 영역이 관련될 것으로 짐작할 수 있을 것이다.

뇌 손상 사례의 경우, 손상 때문에 정상 노인과 질적으로 유사한 인지적 결함을 보인다면 연령 관련 인지적 결함의 신경학적 기초를 짐작하는 데 도움이 될 것이다. 거꾸로 특정 뇌 영역의 손상에 기인한 인지적 결함이 정상 노인에서 흔한 것이 아니라면 이 영역은 인지적 노화의 신경적 기초가 아닐 것이라고 짐작할 수 있다. 연령 관련 인지적 결함이 전두엽 기능 장애에 있다는 것을 뚜렷하게 시사하는 증거들이 있다. 예를 들어, 회상, 작업기억, 집행기능에서 건강한 노인이 보이는 많은 인지적 결함이 전두엽 손상 환자에게서는 더 크게 나타난다. 또한 전두엽 손상환자와 건강한 노인은 모두 WCST(Wisconsin Card Sorting Test)와 같은 전두엽 기능 검사에서 결함을 보인다(Moscovitch & Winocur, 1995). 한편, 노인이 보이는 일화기억 장애는 내측두엽 손상에 기인한 기억상실증환자의 장애와 유사한데, 이는

내측두엽 기능장애가 인지적 장애의 한 원인이라는 것을 시사한다.

인지적 노화의 신경적 기초를 밝히는 데 유력한 방법이 신경영상기법이다. 행동적 지표들은 흔히 노인이 젊은 성인에 비해 정보처리 속도가 느리거나 오류가 많은 것으로 기술하는데 비해, 신경영상은 노인의 뇌 기능이 젊은 성인의 뇌 기능과 매우 다양한 측면에서 상이하다는 것을 밝혀줄 수 있다. 즉 신경영상은 과제에 특수한 노화 관련 뇌 영역을 밝혀줌으로써 인지적 감퇴의 신경적 기초에 대한 증거를 제공해준다. 또한 행동 수행상 노인과 젊은 성인 간에 차이가 없는 경우조차 뇌 활성화 패턴에서는 차이가 있음을 보여줌으로써 동일한 과제를 수행하는데 상이한 뇌 영역이 관여한다는 것을 밝힐 수 있다. 이처럼 신경영상기법은 노화의 신경기전을 규명하고 인지심리학적 노화이론을 검증하는 데 매우 유력한 수단이라 할 수 있다.

### 지각과 주의

연령에 따라 형태지각에 관여하는 피질 활

성화는 뚜렷한 차이를 보인다. 형태지각 도중 활성화되는 주요 뇌 부위가 복측 시각경로인데, 복측 시각경로는 후두엽에서 측두엽으로 이어지는 신경망으로서 시각적 세부특징 분석으로부터 대상 식별에 이르는 형태지각을 매개한다(한편, 후두엽에서 두정엽으로 이어지는 배측 시각경로는 대상들간의 공간적 관계 분석을 매개한다)(Haxby 등, 1991). 체제화된 형태요소들을 내포한 결 자극을 시각적으로 처리할 때, 노인은 젊은 성인보다 복측 시각경로에서는 더 작은 활성화를 보이지만(그림 1) 젊은 성인과 달리 복측 시각경로 뿐만 아니라 전두 영역의 활성화를 함께 보인다(Levine 등, 2000). 형태지각뿐만 아니라 공간지각에서도 노인은 젊은 성인에 비해 시각영역에서는 더 작은 활성화를 보이는 반면 그 외의 영역(측두엽, 내두정엽, 전전두엽 등)에서는 더 큰 활성화를 보인다(Grady 등, 1994). 이러한 증거들은 젊은 성인에 비해 노인이 지각과정 초기에 시각영역에서 결핍된 처리를 하며 이러한 결핍을 보상하기 위해 노인은 시각영역 이외의 다른 영역에서 추가적 처리를 한다는 것을 시사하는데, 이를 ‘기능적 보상(functional compensation)’

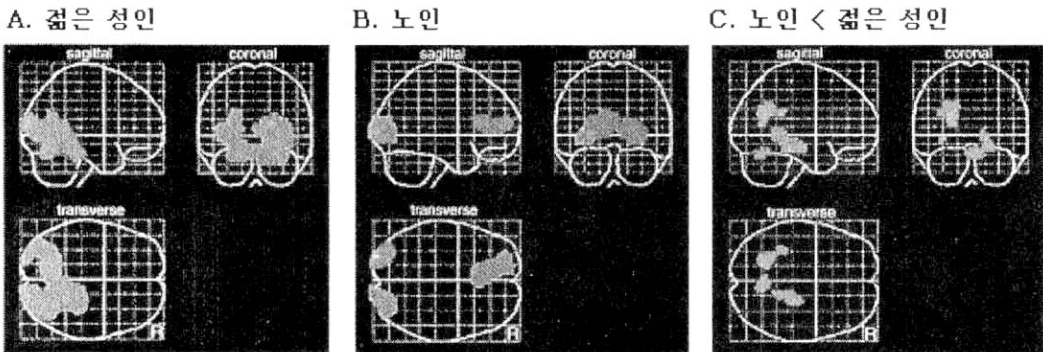


그림 1. 형태지각 도중 활성화되는 뇌 영역 (그림C는 연령효과를 보이는 복측 시각경로를 포함한 뇌 영역을 보여줌). (Levine 등, 2000에서 인용)



이라 한다.

선택적 주의와 공간적 주의에서도 연령에 따른 뇌 영역의 활성화 차이와 보상기전이 보고되었다. 공간상에 상이하게 위치한 글자의 식별을 요구하는 과제에서, 분할 주의 상황에서는 초점 주의 상황과 달리 노인은 젊은 성인보다 더 부정확하고 느린 반응을 보이고, 시각영역에서는 더 작은 활성화를 보이는 반면 전전두엽에서는 더 큰 활성화를 보인다(Madden 등, 1997). 이는 노인이 글자 식별을 복측 시각경로를 통해 잘 수행하지 못하고 전두엽이 매개하는 통제과정에 의존하여 수행한다는 것을 시사하며, 앞서 형태지각 연구들과 마찬가지로 기능적 보상 가설을 지지하는 결과라 할 수 있다.

그러나 시각탐색과제에서 연령 관련 보상 기전이 다른 피질영역(예, 전전두엽)보다 시각처리경로 자체에서 이루어진다는 주장이 최근 제기되었다(Madden 등, 2002). Madden 등(2002)은 단일 세부특징을 탐색하는 조건(세부특징조건)과 두 가지 세부특징의 결합을 탐색하는 조건(결합조건)에서 뇌 혈류를 측정 비교하였는데, 지각적 난이도가 높은 결합조건에서 난이도가 낮은 세부특징조건에 비해 노인과 젊은 성인 모두 복측 및 배측 시각경로 그리고 전전두엽에서 더 높은 활성화를 보였다. 그런데, 단일조건과 결합조건간 활성화 차이에 미치는 연령 효과는 복측 및 배측 시각경로에서는 관찰되었지만(젊은 성인보다 노인에서 활성화 차이가 작았음) 전전두엽을 포함한 다른 영역에서는 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 기능적 보상 가설과 일치하지 않는 것으로서, 이 가설에 따르면 시각영역의 기능 저하를 전전두엽 등 다른 뇌 영역이 보상하므로 두 조건간 활성화 차이가 시각영역 이외의 다른 뇌 영역에

서는 거꾸로(젊은 성인보다 노인에서 활성화 차이가 더 크게) 나타나야 한다. 노인의 경우 지각적 난이도에 따른 활성화 차이가 더 작은 이유는 지각적 효율성의 감퇴를 보상하기 위해 쉬운 과제에서도 높은 수준의 신경 활성화를 유지하기 때문이며, 이러한 보상 기전은 시각처리 영역 이외의 다른 뇌 영역에서는 일어나지 않는다고 Madden 등(2002)은 주장하였다.

기능적 보상 가설을 둘러싼 갈등적 연구결과들의 원인으로서 실험에 사용된 자극 속성의 차이를 먼저 짐작해볼 수 있다. Madden 등(1997)에서 사용된 실험 자극들은 글자로서 언어적 기술이 용이하여 복잡한 수행 전략이 사용되었을 가능성(이로 인해 전전두엽을 포함한 다른 뇌 영역이 활성화되었을 가능성)이 있다. 반면 Madden 등(2002)에서 사용된 자극들은 더 단순하여 언어적 부호화의 필요성이 거의 없기 때문에 시각정보처리와 관련된 영역 이외의 다른 뇌 영역의 활성화가 일어나지 않았을 가능성이 있는 것이다. 또 다른 원인으로서 과제 차이를 짐작해볼 수 있다. Levine 등(2000)과 Madden 등(2002)에서 사용된 과제들은 비록 형태지각 과제라는 공통점을 갖기는 하지만 상이한 인지적 조작들을 요구하고 이 때문에 뇌 활성화 영역이 다르게 나타났을 가능성이 있는 것이다.

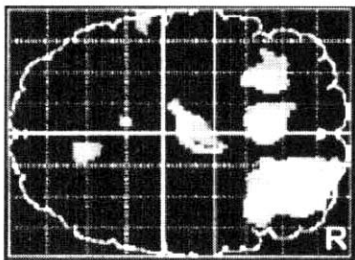
## 기억

일화기억에 미치는 연령 효과는 인출과 부호화, 그리고 인출검사 유형(예, 회상, 재인 등)에 따라 다르게 나타난다. Grady 등(1995)은 친숙하지 않은 얼굴을 기억하도록 한 뒤 강제 선택 재인검사를 수행하도록 하였다. 부호화와 인출 도중 활성화되는 뇌 영역을 조사한 결과,

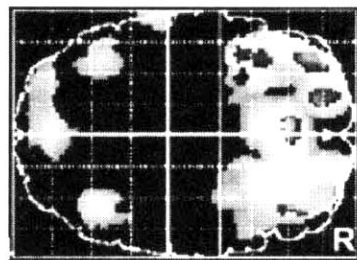
노인이 젊은 성인보다 더 작은 활성화를 보인 뇌 영역은 부호화에서는 좌반구 전전두엽, 측두엽, 전측 대상회 등이었고 인출에서는 우반구 두정엽과 후두엽이었다. 전반적으로 인출보다는 부호화에서 연령효과가 더 크게 나타났는데, 노인들은 젊은 성인보다 부호화를 불충분하게 수행하고 그로 인해 재인 수행이 저조한 것으로 짐작된다. Grady 등(1995)이 생소한 비언어적 정보의 기억 노화를 다룬 것과는 달리 Cabeza 등(1997)은 잘 학습된 언어적 정보의 기억 노화를 다루었다. 그들은 단어쌍을 학습 시키고서 재인검사와 회상검사를 수행하도록 하였다. 그 결과 부호화 도중 노인은 젊은 성인보다 좌반구 전전두엽과 후두-측두영역에서 낮은 활성화를 보였는데, 전반적으로 전전두엽의 활성화를 거의 보이지 않았다. 이러한 결과는 앞서 Grady 등(1995)의 연구와 유사한 것으로서 노인의 빈약한 부호화를 시사한다.

Cabeza 등(1997)의 연구는 부호화뿐만 아니라 인출의 노화효과에 대해서도 흥미로운 결과를 보여준다. 인출 도중 노인은 젊은 성인보다 우반구 전전두엽과 두정엽에서 낮은 활성화를 (재인과 회상 양자에서) 보인 반면 좌반구 전전두엽에서는 (회상에서) 높은 활성화를 보였

다. 전반적으로 젊은 성인은 부호화에서는 좌반구 전전두엽의 활성화를, 인출에서는 우반구 전전두엽의 활성화를 보였는데, 이처럼 전전두엽 활성화 패턴의 반구비대칭성이 부호화와 인출에 따라 상이한 결과는 HERA (hemispheric encoding/retrieval asymmetry) 모형에 잘 부합된다. HERA 모형은 일화기억의 부호화와 인출의 신경기전을 다룬 유력한 모형으로서, 이 모형에 따르면 부호화에는 좌반구 전전두엽이, 인출에는 우반구 전전두엽이 주로 관여한다(Tulving, Kapur, Craik, Moscovitch, & Houle, 1994). 그런데 특히 인출과정에서 노인의 경우 우반구 전전두엽뿐만 아니라 좌반구 전전두엽까지 활성화된다. Madden 등(1999) 역시 유사한 결과를 보고하였는데, 인출(재인검사) 도중 젊은 성인에서는 우반구 전전두엽의 활성화가 일어난 반면, 노인에서는 양 반구 모두에서 전전두엽의 활성화가 일어났다(그림 2). 즉 인출에서 노인의 전전두엽 활성화패턴은 젊은 성인에 비해 매우 감소된 반구 비대칭성을 보인다. 이러한 연령 관련 반구비대칭성의 감소는 기능적 보상 가설과 전두엽 가설로 설명 가능하다. 노화에 따른 전두엽의 전반적인 인지신경학적 결함을 보상하기 위해 우반구뿐



A. 젊은 성인



B. 노인

그림 2. 단어에 대한 재인기억검사 도중 활성화되는 뇌 영역(Madden 등, 1999에서 인용)

만 아니라 좌반구의 전전두엽까지 인출에 관여한다고 볼 수 있다.

일화기억의 부호화와 인출에 관여하는 피질 구조를 영역-특수 체계와 영역-일반 체계의 두 유형으로 구분하고(Fodor, 1983) 노화가 이 두 체계에 상이한 영향을 미친다고 보는 관점이 있다(Schiavetto, Kohler, Grady, Winocur, & Moscovitch, 2002). 영역-특수 체계는 대상, 단어, 얼굴, 또는 위치와 관련된 지각적 정보를 처리하는 체계로서 한 가지 유형의 정보만을 처리하고 표상한다. 영역-일반 체계는 정보의 유형이 아니라 기능(예, 부호화, 인출, 모니터링, 검증 등)에 따라 그 조작을 정의할 수 있는 체계이다. 예를 들어, 앞서 살펴본 복측과 배측 시각경로는 각각 대상의 정체와 위치에 관한 영역-특수 정보를 다루는 영역-특수 구조인데 반해, 전두엽은 정보의 유형에 관계없이 일화기억, 의미기억, 작업기억 과제 수행에 관여하는 영역-일반 구조라 할 수 있다. 그런데 노화는 이 두 체계에 상이한 영향을 미치는데, 영역-일반 체계가 영역-특수 체계보다 노화의 영향을 더 크게 받는다. 노인에서 두드러진 일화기억 감퇴는 전두엽과 같은 영역-일반 구조의 노후화와 관련된 부호화와 인출의 결합에 기인한다. 반면 지각적 부호화는 상대적으로 노화의 영향을 덜 받으며 지각적 암묵기억 수행에서 연령효과가 거의 나타나지 않는데, 이는 뇌의 영역-특수 구조가 노화의 영향을 덜 받기 때문으로 짐작된다. Schiavetto 등(2002)은 대상의 정체와 위치에 대한 일화기억에서 뇌 활성화에 미치는 연령효과를 조사하였다. 그 결과 노인은 젊은 성인에 비해 부호화와 인출 도중 하측 두정피질과 하측 측두피질에서 더 작은 활성화를 보였고, 젊은 성인과 달리 인출보다 부호화 도중에 우반구 전전두엽과 전운

동피질에서 더 큰 활성화를 보였다. 전자의 뇌 영역들은 영역-특수 구조인데 비해 후자의 뇌 영역들은 영역-일반 구조로 간주되는데, 노인은 노화에 따른 영역-특수 피질 기능의 감퇴를 보상하기 위해 영역-일반 피질 기능을 더 많이 활성화시킨다고 볼 수 있다.

암묵기억은 앞서 살펴본 바에 따르면 노화의 영향을 거의 받지 않는다. Backman 등(1997)은 어간완성(암묵적 인출)과 단서회상(의현적 인출) 도중의 뇌 활성화 영역을 조사하였다. 암묵적 인출에서는 연령 관련 활성화 차이가 거의 나타나지 않았는데, 노인과 젊은 성인 모두 우반구 후두영역의 활성화 감소를 보였다. 반면 의현적 인출에서는 Cabeza 등(1997)에서와 마찬가지로 노인은 젊은 성인과 달리 좌반구 전전두엽의 활성화를 보이는 등 연령효과가 관찰되었다. 이처럼 의현기억과 달리 암묵기억에서 연령효과가 관찰되지 않은 것은 암묵기억이 의존하는 지각적 처리나 지각표상체계와 관련된 영역-특수 체계가 노화의 영향을 별로 받지 않기 때문이라고 짐작된다.

절차기억의 경우 신경적 수준에서 노화 효과를 찾아보기 어려운데, 예를 들어 운동기술 학습에 관여하는 뇌 부위와 활성화 수준에서 젊은 성인과 노인간에는 차이가 없다(Daselaar, Rombouts, Veltman, Raaijmakers, & Jonker, 2003). 의미기억에서 노화의 효과를 보고한 뇌영상 연구들이 있다. 단어에 대한 의미/비의미 판단을 할 때 연령에 관계없이 좌반구 하측 전두피질을 포함한 영역들이 활성화된다. 그러나 노인의 경우 젊은 성인에 비해 하측 전두피질이 더 작게 활성화되는데, 이는 노화에 따른 전두엽 기능의 감퇴(전두엽 가설)로 설명 가능하다(Stebbinsa 등, 2002).

작업기억에 대한 신경영상 연구에 따르면 작업기억의 정보 유지에는 복측 전전두엽이 관여하며 정보량이 증가하거나 집행기능이 요구되면 배측 전전두엽이 추가로 활성화된다. Sternberg 작업기억 탐색과제 수행 도중 노인과 젊은 성인은 복측 전전두엽에서는 동등한 활성화를 보이지만, 배측 전전두엽에서는 젊은 성인이 더 큰 활성화를 보인다(Rypma, Prabhakaranb, Desmonda, & Gabrielia, 2001). 작업기억의 집행기능을 요구하는 과제(배측 전전두엽 기능에 의존) 그리고 정서 및 사회적 판단을 요구하는 과제(복측 전전두엽 기능에 의존) 수행에 대한 연령효과를 조사한 결과, 연령효과는 복측 전전두엽 기능 과제와는 달리 배측 전전두엽 기능 과제에서만 관찰되었다(MacPherson, Phillips, & Sala, 2002). 이러한 연구들은 노화가 전두엽 기능을 전반적으로 감퇴시키는 것이 아니라 작업기억의 집행기능과 관련된 배측 전전두엽의 선택적 기능 감퇴를 일으킨다는 것을 시사한다.

## 인지신경과학적 노화이론

### 전두엽가설

노화 기저의 인지신경기전을 설명하는 가장 지배적인 관점으로 전두엽가설(West, 1996)을 들 수 있다. 전두엽가설에 따르면, 노화에 따라 대뇌의 전두엽 특히 전전두엽 영역의 퇴조가 크게 진행되며 이 때문에 이 영역에 의존하는 인지 기능들이 다른 영역에 의존하는 인지 기능들에 비해 연령효과를 크게 보인다. 전두피질에서 연령과 관련된 구조적 변화가 상대적으로 크게 일어난다는 상당한 증거들이

있다(West, 1996; Raz, 2000). 이는 전두엽에서 일어나는 말미집(수초)의 감소, 신경섬유매듭의 발달, 신경전달물질에 대한 반응성의 감소, 신진대사 활동의 감소, 시냅스와 수상돌기 수의 감소(Uylings, West, Coleman, de Brabander, & Flood, 2000) 등에 기인하는 것으로 짐작된다. 기능적 측면에서 전두엽 가설을 지지해주는 증거의 예로서 앞서 살펴본 저전두성(West, 1996)을 들 수 있는데, 뇌 혈류의 상대적 분포가 연령 증가에 따라 뇌의 후측 영역에 비해 전측 영역에서 더 크게 감소한다.

전두피질 영역들 가운데 노화와 관련된 신경 변화가 가장 큰 영역은 배외측 전전두엽(DLPFC: dorsolateral prefrontal cortex)과 안와전두엽(OFC: orbitofrontal cortex)이라고 짐작되는데, 특히 DLPFC의 경우 피질층 V의 피라밋세포에서 수상돌기 변화가 크게 일어난다(Uylings 등, 2000). 하지만 연령 관련 인지적 변화에 대해 DLPFC는 뚜렷하게 관여하지만 OFC는 그렇지 않다는 주장도 있다(Phillips & Della Sala, 1998). 전두엽의 나머지 영역들에서 신경 변화는 상대적으로 덜 일어나는 것으로 간주된다. 그러나 세포 수준의 변화가 인지 수행의 변화와 직접 관련된다 고 보는 것은 성급한 생각이다. 세포나 수상돌기의 상실은 때로는 불필요한 연결을 청소하는 자연과정으로서 설령 문제를 야기한다 하더라도 다른 수상돌기에 의해 보상될 수 있고, 시냅스 밀도의 변화 역시 보상 기전이 작용한다(Band, Ridderinkhof, & Segalowitz, 2002를 참고). 따라서 생물학적 변화만으로 인지적 노화를 설명하기는 곤란한 것이다. 전두엽가설을 지지하는 많은 증거들이 방법론적 결함을 안고 있으며(Rabbitt, Lowe, & Shilling, 2001), 전두엽 기능이라고 제안된 인지 기능 역시 흔히 구성 타당도를 결

여하고 있고, 전두엽검사라고 알려진 검사들 간의 상관 역시 그다지 높지 않다. 소위 전두엽 기능들은 전두엽에만 의존하는 것이 아니라 다른 여러 뇌영역에 함께 의존할 가능성이 높은 것이다.

전전두엽의 가장 중요한 기능으로서 집행적 통제(executive control)의 수행 및 작업기억 내용의 지원을 들 수 있으며, 많은 연구자들은 집행적 통제가 인지적 노화에서 주요한 역할을 수행한다고 믿고 있다. 이러한 점에서 전두엽 가설은 앞서 살펴본 처리 자원론 및 억제론의 신경적 기초를 설명해준다고 생각할 수 있다. 그러나 집행적 통제와 작업기억에 관한 이론은 더 정교하게 발전될 필요가 있다. 집행적 통제는 책략의 선택 및 수행, 조정, 무력화(Logan, 1985), 그리고 수행의 모니터링(Norman & Shallice, 1986) 등 여러 기술의 집합체이다. 그런데 이러한 기능들이 상호 통합적으로 작용한다거나 각 기능들에 대해 동등한 노화효과가 일어난다고 보기 어렵다(Band 등, 2002). 더 구체적인 이론이라 할 수 있는 억제론의 억제적 통제 개념 역시 충분한 구체성이 결여되어 있다는 비판이 제기되었다(McDowd, 1997). 인지적 노화의 주요 원천을 식별해내기 위해서는 집행기능의 더 상세한 구분과 검증이 요구되는 것이다.

인지적 노화가 모든 집행기능들의 문제에서 비롯된다고 볼 수는 없다. 또한 집행기능의 문제만이 인지적 노화의 전적인 원인으로 볼 수도 없다. 집행적 통제과정은 하위 체계들이 제대로 기능할 때만 기능할 수 있으며, 어느 한 하위 처리과정이라도 기능을 잘 수행하지 못하면 전반적인 조화가 어렵게 되어서 집행기능의 부담이 커질 수 밖에 없는 것이다.

## 노화의 두 측면: 상실과 증진

인지 기능의 노화효과에 대해 지금까지 살펴본 것은 과제 수행 속도의 저하나 빈약한 기억 등 통상 부정적인 측면들이었다. 그러나 노화의 긍정적 측면도 있는데, 나이가 들수록 지식과 지혜가 증가한다고 보는 관점을 예로 들 수 있다. 즉 노화가 인지 기능의 '상실'만 초래하는 것이 아니라 거꾸로 '증진'도 초래한다는 것이다. 노화의 부정적 효과가 주로 처리 기전과 용량과 같은 처리 효율성의 감퇴에 초점을 둔 반면, 긍정적 효과는 지식과 경험의 축적과 같은 지식의 성장에 초점을 둔다. 노화의 인지적 '증진'효과와 관련하여 먼저 후형식적 조작에 기초한 사고를 들 수 있다. 후형식적 조작은 뼈아게가 제안한 형식적 조작보다 진전된 형태의 정신 조작으로서, 일반-조작 규칙을 알며 이를 통해 현실을 여과하고 형식적 조작 논리체계를 의식적으로 선택하며 이를 '참'인 것으로 유지시키는 정신 조작이다(Sinnott, 1996). 즉 후형식적 조작은 특정한 분석이나 논리를 언제 어디서 채택할 것인가를 평가하고 모니터링할 수 있는 메타인지적 특성을 포함한다(Dixon, 2000). 그러나 후형식적 조작에 관한 연구 기반은 아직 미흡한 상태로서, 그 정의에 대한 합의가 불충분하며 특히 인지적, 감각적, 그리고 신경학적 상실과 독립적으로 후형식적 조작이 발달할 수 있는지 그리고 어떻게 발달할 수 있는지 하는 문제를 이론적으로 해결해야 할 것이다.

한편 후형식적 조작과는 달리 노화의 인지적 증진효과와 관련하여 상당한 연구가 이루어진 주제로서 지혜의 발달을 들 수 있는데, 이는 노인에 대한 전통적인 동양적 관점과 일치한다. 지혜란 인지의 긍정적 속성으로서 후

형식적 조작과는 달리 그 의미를 많은 사람들이 공유하고 있으며, 이에 대해 상당한 경험적 연구가 이루어져왔는데 대표적 연구로서 Baltes의 연구(예, Baltes & Staudinger, 1993)를 들 수 있다. 지혜란 삶의 기본적인 실용적 측면에 관한 전문 지식체계라고 정의되는데(Baltes & Staudinger, 2000), 지식의 발달 및 전문 기술 획득 과정의 기본 원리와 기전은 다양한 영역에서 이미 잘 밝혀져 왔다. Baltes는 지혜를 획득하고 유지하는 데 관여하는 매개과정의 대표적 사례로서 삶의 계획, 관리, 그리고 개관을 들고서 이 영역들을 다양한 방법으로 연구하였으며, 지혜가 연령 증가에 따라 증진될 수 있다고 주장하였다. 하지만 노년기의 지혜 증진이 일반적 규칙인지 아니면 예외적인 것인지, 그리고 지혜의 발달 과정에서 어떠한 제약이나 조건이 존재하는지에 대해서는 아직 뚜렷한 결론을 내릴 수 없다.

### 맺는 말

지금까지 노화에 관한 신경심리학 및 인지심리학 연구, 그리고 인지신경과학 연구의 주요 성과를 개관하였다. 노화는 뇌 부피의 위축이나 국소 뇌혈류 분포의 변화 등 뇌의 구조적 기능적 변화를 수반한다. 감각과 지각 능력의 연령 관련 감퇴는 인지 능력의 감퇴와 관련된 것으로 짐작되며, 일화기억과 작업기억은 의미기억이나 암묵기억, 그리고 절차기억에 비해 노화의 영향을 크게 받는 것으로 밝혀졌다. 인지기능 노화에 대한 이론적 설명으로서 처리 속도의 저하(처리 속도론), 처리자원의 감소(처리 자원론), 작업기억에서 억제적 통제의 감퇴(억제적 통제론), 감각기능의 감퇴(감각기능

론) 등이 제안되었다. 신경영상 연구들에 따르면, 형태나 공간 지각 도중 노인은 젊은 성인보다 시각처리경로에서는 낮은 활성화를, 전두엽을 포함한 다른 영역에서는 높은 활성화를 보인다(기능적 보상). 또한 일화기억의 부호화와 인출에서 노인의 경우 전전두엽 활성화패턴의 반구비대칭성이 감소하는데, 이는 기능적 보상과 전두엽 퇴조(전두엽가설)에 기인한 것으로 짐작된다. 작업기억의 연령효과는 배측 전전두엽의 선택적 기능 감퇴를 시사한다. 전두엽가설은 인지적 노화를 집행적 통제 기능을 담당하는 전전두엽 영역의 선택적 퇴조로 설명하는데, 이와 관련된 논쟁이 현재 진행 중이다.

인지적 노화효과를 단일한 인지적 기전 또는 신경적 기전으로 설명하고자 하는 대표적인 시도로서 처리 속도론이나 전두엽가설을 들 수 있다. 이 가운데 전두엽가설은 최근 가장 주목받아온 인지신경과학적 이론으로서 집행적 통제를 매개하는 전두엽의 역할에 초점을 둔다. 이 가설은 신경생물학에 기초하며 처리 자원론이나 억제론과 같은 인지심리학 이론의 신경적 기초를 제공해준다. 하지만 앞서 살펴본 바와 같이 전두엽가설은 최근 강력한 비판과 도전에 직면해 있는데, 이는 제한된 소수의 요인이나 기전을 통해 인지 전반에 대한 설명을 시도한 기존의 일반화 모델들이 겪은 시련과 마찬가지로 할 수 있다. 단일 요인이나 기전으로 노화효과를 설명하는 것은 매우 절약적이고도 인상적이지만 과잉 일반화의 위험을 함께 안고 있는 것이다.

노화의 인지신경기전은 이제 활발하게 연구되기 시작한 비교적 젊은 연구 주제이다. 인지적 노화의 신경적 기초를 이해하기 위해서는 인지심리학, 생물심리학, 신경과학 등 관련 학

문분야들의 학제적 협력이 반드시 필요하다. 인간에 대한 이해를 보다 깊게 하고 심리학의 연구 지평을 넓힐 수 있다는 점에서 노화는 매우 전망 있고 흥미 있는 주제라 할 수 있다.

## 참고문헌

- Anderson, N. D., Craik, F. I. M., & Naveh-Benjamin, M. (1998). The attentional demands of encoding and retrieval in younger and older adults: I. Evidence from divided attention costs. *Psychology and Aging, 13*, 405-423.
- Backman, L., Almkvist, O., Andersson, J., Nordberg, A., Winblad, B., Rineck, R., & Lagstrom, B. (1997). Brain activation in young and older adults during implicit and explicit retrieval. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*, 378-391.
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window to the study of cognitive aging? *Psychology and Aging, 12*, 12-21.
- Baltes, P. B., & Staudinger, U. M. (1993). The search for a psychology of wisdom. *Current Directions in Psychological Science, 2*, 75-80.
- Baltes, P. B., & Staudinger, U. M. (2000). Wisdom: A metaheuristic (pragmatic) to orchestrate mind and virtue toward excellence. *American Psychologist, 55*, 122-136.
- Band, G. P. H., Ridderinkhof, K., R., & Segalowitz, S. (2002). Explaining neurocognitive aging: Is one factor enough? *Brain and Cognition, 49*, 259-267.
- Cabeza, C. L., Grady, L., Nyberg, A., R., McIntosh, E., Tulving, S., Kapur, S., Jennings, J. M., Houle, S., & Craik, F. I. M. (1997). Age-related differences in neural activity during memory encoding and retrieval: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience, 17*, 91-400.
- Cabeza, R. (2001). Functional neuroimaging of cognitive aging. In R. Cabeza & A. Kingstone (Eds.), *Handbook of functional neuroimaging of cognition*. Cambridge: MIT Press.
- Craik, F. I. M., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attentional resources. In F. I. M. Craik & S. Trehub, (Eds.), *Aging and cognitive processes* (pp. 191-211). New York: Plenum.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*, 450-466.
- Daselaar, S. M., Rombouts, S. A. R. B., Veltman, D. J., Raaijmakers, J. G. W., & Jonkere, C. (2003). Similar network activated by young and old adults during the acquisition of a motor sequence. *Neurobiology of Aging, 24*, 1013-1019.
- Dixon, R. A. (2000). Concepts and mechanisms of gains in cognitive aging. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging: A primer* (pp. 23-41). Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Esiri, M. (1994). Dementia and normal aging: neuropathology. In F. A. Huppert, C. Brayne, & D. W. O'Connor (Eds.) *Dementia and normal aging*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Fodor, J. (1983). Modularity of the mind. Cambridge: MIT Press.
- Giffard, B., Desgranges, B., Kerrouche, N., Piolino, P., Eustache, F. (2003). The hyperpriming phenomenon in normal aging a consequence of cognitive slowing? *Neuropsychology, 17*, 594-601.
- Grady, C. L., Maisog, J. M., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Salerno, J. A., Pietrini,

- P., Wagner, E., & Haxby, J. V. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neuroscience*, *14*, 1450-1462.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Horwitz, B., Maisog, J. M., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Pietrini, P., Schapiro, M. B., & Haxby, J. V. (1995). Age-related reductions in human recognition memory due to impaired encoding. *Science*, *269*, 218-221.
- Habak, C., & Faubert, J. (2000). Larger effect of aging on the perception of higher-order stimuli. *Vision Research*, *40*, 943-950.
- 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.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & Macy, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVII, Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Haxby, J. V., Grady, C. L., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mishkin, M., & Carson, R. E. (1991). Dissociation of spatial and object visual processing pathways in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, *88*, 1621-1625.
- Hofer, S. M., Berg, S. & Era, P. (2003). Evaluating the interdependence of aging-related changes in visual and auditory acuity, balance, and cognitive functioning. *Psychology and Aging*, *18*, 285-305.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kemper, T. (1994). Neuroanatomical and neuropathological changes during aging and in dementia. In M. L. Albert & E. J. E. Knopfel (Eds.), *Clinical Neurology of Aging* (2nd Ed., pp. 3-67). New York: Oxford University Press.
- La Voie, D., & Light, L. L. (1994). Adult age differences in repetition priming: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *9*, 539-553.
- Laver, G. D. (2000). A speed-accuracy analysis of word recognition in young and older adults. *Psychology and Aging*, *15*, 705-709.
- Laver, G. D., & Burke, D. M. (1993). Why do semantic priming effects increase in old age? A meta-analysis. *Psychology and Aging*, *8*, 34-43.
- Levine, B. K., Beason-Held, L. L., Purpura, K. P., Aronchick, D. M., Optican, L. M., Alexander, G. E., Horwitz, B., Rapoport, S. I. & Schapiro, M. B. (2000). Age-related differences in visual perception: a PET study. *Neurobiology of Aging*, *21*, 577-584.
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: A strong connection. *Psychology and Aging*, *9*, 339-355.
- Logan, G. D. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologica*, *60*, 193-210.
- MacPherson, S. E., Phillips, L. H., & Sala, S. D. (2002). Age, executive function, and social decision making: A dorsolateral prefrontal theory of cognitive aging. *Psychology and Aging*, *17*, 598-609.
- Madden, D. J., & Hoffman, J. M. (1997). Application of positron emission tomography to age-related cognitive changes. In K. R. R. Krishnan & P. M. Doraiswamy (Eds.), *Brain imaging in clinical psychiatry*. New York: M. Dekker.
- Madden, D. J., Turkington, T. G., Provenzale, J. M., Denny, L. L., Hawk, T. C., Gottlob, L. R., & Coleman, R. E. (1999). Adult age differences in functional neuroanatomy of verbal



- recognition memory. *Human Brain Mapping*, 7, 115-135.
- Madden, D. J., Turkington, T. G., Provenzale, J. M., Denny, L. L., Langley, L. K., Hawk, T. C., & Coleman, R. E. (2002). Aging and attentional guidance during visual search: Functional neuroanatomy by Positron Emission Tomography. *Psychology and Aging*, 17, 24-43.
- Madden, D. J., Turkington, T. G., Provenzale, J. M., Hawk, T. C., Hoffman, J. M., Coleman, R. E. (1997). Selective and divided visual attention: Age-related changes in regional cerebral blood flow measured by H215O PET. *Human Brain Mapping*, 5, 389-409.
- McDowd, J. M. (1997). Inhibition in attention and aging. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 52B, 265-273.
- McDowd, J. M., & Shaw, R. J. (2000). Attention and aging: A functional perspective. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition II*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- McGeorge, P., Taylor, L., Sala, S. D., & Shanks, M. F. (2002). Word stem completion in young adults, elderly adults, and patients with Alzheimer's disease: Evidence from cross-modal priming. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 17, 389-398.
- Mitchell, D. B., & Bruss, P. J. (2003). Age differences in implicit memory: Conceptual, perceptual, or methodological? *Psychology and Aging*, 18, 807-822.
- Moscovitch, M., Winocur, G. (1995). Frontal lobes, memory, and aging. *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, 769, 119-150.
- Norman, D., & Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behavior. In Davidson, R. J., Schwartz, G. E., & Shapiro, D. (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation 4*. New York: Plenum Press.
- Nyberg, L., Maitland, S. B., Ronnlund, M., Backman, L., Dixon, R. A., Wahlin, A., & Nilsson, L. (2003). Selective adult age differences in an age-invariant multifactor model of declarative memory. *Psychology and Aging*, 18, 149-160.
- Park, D. C. (2000). The basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive function. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging: A primer* (pp. 3-21). Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Phillips, L. H., & Della Sala, S. (1998). Aging, intelligence, and anatomical segregation in the frontal lobes. *Learning and Individual Differences*, 10, 217-243.
- Posner, M. I., Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review Of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Pruill, M. W., Gabrieli, J. D. E., & Bunge, S. A. (2000). Memory and aging: A cognitive neuroscience perspective. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition II*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Rabbitt, P. M. A., Lowe, C., & Shilling, V. (2001). Frontal tests and models for cognitive aging. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 5-28.
- Raz, N. (1999). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition II*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition II*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Raz, N., Gunning, F. M., Head, D., Dupuis, J. H., McQuain, J., Briggs, S. D., Loken, W. J.,

- Thornton, A. E., Acker, J. D. (1997). Selective aging of the human cerebral cortex observed in vivo: differential vulnerability of the prefrontal gray matter. *Cerebral Cortex*, 7, 268-282.
- Rypma, B. Prabhakaran, V., Desmond, J. E., & Gabrieli, J. D. E. (2001). Age differences in prefrontal cortical activity in working memory. *Psychology and Aging*, 16, 371-384.
- Salthouse, T. A. (1991). *Theoretical perspectives on cognitive aging*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.
- Schacter D. L., & Tulving, E. (1994). What are the memory systems of 1994? In D. L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory Systems 1994*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Schiavetto, A., Kohler, S., Grady, C. L., Winocur, G., Moscovitch, M. (2002). Neural correlates of memory for object identity and object location: Effects of aging, *Neuropsychologia*, 40, 1428-1442.
- Schneider, B. A., & Pichora-Fuller, M. K. (2000). Implications of perceptual deterioration for cognitive aging research. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition II*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schwarz, N., & Knauper, B. (2000). Cognition, aging, and self-reports. In D. C. Park & N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging: A primer* (pp. 233-252). Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Sinnott, J. (1996). The developmental approach: Postformal thought as adaptive intelligence. In F. Blanchard-Fields & T. M. Hess (Eds.), *Perspectives on cognitive change in adulthood and aging* (pp. 358-383). New York: McGraw-Hill.
- Spencer, W. D., & Raz, N. (1995). Differential effects of aging on memory for content and context: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 10, 527-539.
- Stebbins, G. T., Carrillo, M. C., Dorfman, J., Dirksena, C., Desmond, J. E., Turner, D. A., Bennett, D. A., Wilson, R. S., Glover, G., Gabrieli, J. D. E. (2002). Aging effects on memory encoding in the frontal lobes. *Psychology and Aging*, 17, 44-55.
- Strong, R. (1998). Neurochemical changes in the aging human brain: implications for behavioral impairment and neurodegenerative disease, *Geriatrics*, 53, S9-12.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 2016-2020.
- Uylings, H. B. M., West, M. J., Coleman, P. D., de Brabander, J. M., & Flood, D. G. (2000). Neuronal and cellular changes in aging brain. In J. Trojanowski & C. Clark (Eds.) *Neurodegenerative dementias and pathological mechanisms*. New York: McGraw-Hill.
- Weinstock, M. (1995). The pharmacotherapy of Alzheimer's disease based on the cholinergic hypothesis: An update. *Neurodegeneration*, 4, 249-256.
- West, R. L., (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging, *Psychological Bulletin*, 120, 272-292.
- Wingfield, A., & Kahana, M. J. (2002). The dynamics of memory retrieval in older adulthood. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 56, 187-199.
- Yonelinas, A. P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, 46,

- 441-517.
- Zacks, R. T., & Hasher, L. (1997). Cognitive gerontology and attentional inhibition: A reply to Burke and McDowd. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 52, 274-283.
- Zacks, R. T., Hasher, L., & Li, K. Z. H. (2000). Human memory. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *Handbook of Aging and Cognition II*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

1 차원고접수: 2004. 9. 13

최종게재결정: 2004. 9. 24

## Cognitive Neural Mechanisms of Aging

Taejin Park

Department of Psychology, Chonnam National University

As an introduction to the cognitive neurological bases of aging, an overview of cognitive psychological, neurological, and cognitive neuroscientific research on aging is presented. Recent aging studies on perception and attention, declarative and procedural memory, priming, and working memory are reviewed. Theoretical views of processing speed, processing resource, inhibition, and sensory function are discussed along with the constraints of generalized aging models based on single mechanism.

*Keywords: aging, cognitive neuroscience, functional compensation, frontal lobe hypothesis*