

노년기 보상적 두뇌 가소성: 인지 노화의 보상 가설과 재활 방안에 대한 개관 연구

김 은 영[†]

경북대학교

본 연구는 최근 주목을 받고 있는 인지 노화 지연 프로그램의 기본 가정이라 할 수 있는 두뇌 가소성에 대한 최근 신경인지학적 성과를 개관하고, 노년기 두뇌의 잠재력인 보상적 가소성에 초점을 맞추어 인지 재활의 방향을 논의하고자 한다. 두뇌/인지 리저브(brain/cognitive reserve), 전두-후두전치(posterior-anterior shift), 반구 비대칭성 감소(hemispheric asymmetry reduction), 부하-이동(load-shift), 보상 이득-비용(gain-cost) 등의 노년기 두뇌에 관한 보상 가설 모델들과 이를 뒷받침하는 연구 결과들을 살펴보면, 현재 진행되고 있는 인지 노화 지연 프로그램의 역할을 간략히 논의한다. 노인들을 위한 인지 노화 지연 프로그램들은 신경학적 감퇴를 지연하는 데 주력하는 동시에, 노년기 두뇌에 내재하는 보상적 방향성을 지지하면서 보상 자원을 과잉 소비하는 과정에서 발생하는 비용을 고려하는 방향으로 운용되어야 할 것이다.

주요어 : 인지 노화, 두뇌 가소성, 보상적 두뇌 가소성, 인지 리저브

[†] 교신저자: 김은영, 경북대학교 교육학과 상담심리, (702-701) 대구광역시 북구 대학로 80
Tel: 053-950-5809, E-mail: hyunhuk@knu.ac.kr

노화에 따른 기억 및 인지 능력의 저하(age-related cognitive decline), 나아가 치매와 같은 퇴행성 질환은 노년기 삶의 정상적 영위를 위협하고 궁극적으로는 독립적 생활을 불가능하게 하는 결과를 초래한다. 이에 지난 수십년간 치매 예방 및 인지 노화를 지연하고 노년기 삶의 질과 정신 건강을 향상시키기 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되어 왔다. 지역 사회에서 오랫동안 건강 프로그램으로 자리잡아온 에어로빅과 같은 유산소 운동(Colcombe et al., 2004; Liu-Ambrose & Donaldson, 2009)에서부터 사회적 접촉과 그룹 활동(Hastings & West, 2009; Winocur et al., 2007), 퍼스널 컴퓨터나 모바일 도구를 이용한 개인 인지 학습이나 그룹 형태를 띤 인지 자극 및 재활 훈련(고선규, 권정혜, 2007; Fairchild & Scogin, 2010; Lustig & Flegal, 2008; McNab et al., 2009)에 이르기까지 다양한 보호적 요소들(protective factors)이 인지 노화 지연 및 치매 예방의 방안으로 제시되고 있다. 특히 유산소 운동과 같은 신체적 활동의 경우, 치매 예방과 노년기 인지 기능에 미치는 유의미한 영향이 일관되게 보고되면서, 인지 기능 향상의 기제에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(Erickson et al., 2011; Muscari et al., 2010).

그러나 그 밖의 치매 예방 프로그램의 전반적 방안들이 과연 장기적(long-term)이고 실질적인 효과(transfer effects)를 가져올 수 있는가에 대한 의문이 지속적으로 제기되어 왔음을 간과할 수 없을 것이다(Belleville, 2008; Noack, Lovden, Schmiedek, & Lindenberger, 2009; Zehnder, Martin, Altgassen, & Clare, 2009). 또한 이러한 의문의 배후에 치매 예방 프로그램의 기본 가정과 목표에 대한 상이한 관점들이 존

재하고 있음을 인식해야 할 것이다. 가령 풍부하고 다양한 환경 자극(stimulation)을 통해 노년기 두뇌의 무한한 변화 가능성을 강조하는 낙관론(Mahncke et al., 2006; Zelinski et al., 2011)이 존재하는 반면, 노년기 두뇌 가소성(brain plasticity)의 한계와 특성적 발현 형태를 고려한 보다 선별된 방향의 인지 재활이 필요하다는 입장(Noack et al., 2009; Kim & Kim, 2014; Park & Reuter-Lorenz, 2009)이 존재한다. 전자는 경험 의존적 가소성(experience-dependent plasticity)의 기본 원리를 극대화하여 노년기에 감퇴하는 감각 및 인지 기능을 자극함으로써 인지 노화를 지연하는 방안을 강조하는 반면, 후자는 노년기 두뇌 가소성의 특징적 패턴인 보상적 가소성(compensatory plasticity)에 초점을 맞춘다. 오랫동안 노인 인지 훈련의 주요 부분을 담당해 온 기억 훈련이 목표했던 기억 능력의 향상이나 보존의 효과를 반드시 가져 오지는 않았다는 점(Zehnder, Martin, Altgassen, & Clare, 2009)과 노인들의 기억 능력 수준에 따라 훈련의 효과가 또한 다르게 나타날 수 있다는 보고(Unverzagt et al., 2007)는 자극 위주의 인지 훈련에 대해 재검토하고 후자의 입장에 주목할 것을 요구한다. 즉, 노년기 두뇌 가소성의 실제와 한계에 대한 고려 없이 진행되는 인지 재활 프로그램은 장기적이고 실질적인 효과를 기대하기 어려울 수 있다.

현재 한국 사회가 고령화 국면으로 급속히 진입하고 노인의 정신 및 인지 건강에 대한 관심과 수요가 급증하면서, 치매 예방 및 인지 재활 프로그램의 개발과 지역 사회로의 보급과 적용이 시급한 과제로 부상하고 있다. 이와 같은 시점에서 노인을 대상으로 하는 인지 재활의 기본 가정 및 방향성, 그리고 재활

프로그램의 작동 기제와 한계에 대한 성찰적 고려는 고령화 사회를 대비하는 장기적인 관점에서 반드시 선행되어야 할 노력일 것이다. 이와 같은 노력은 치매 예방 및 인지 기능 보존을 위한 프로그램이 국내에 내실 있게 정착되고, 과도한 상업화에 휩쓸리지 않도록 하는 견제와 지원의 역할을 할 수 있을 것이다.

이를 위해 본 논문은 최근 활발하게 제기 되고 노년기 두뇌 보상 가설(compensation hypothesis in aging brain)에 대한 논의를 살펴봄으로써, 노년기 인지 기능과 두뇌 가소성의 특유한 발현 형태에 대한 연구들을 리뷰하고 노년기 두뇌 가소성의 잠재력과 방향성에 상응하는 인지 재활의 방향성을 제시하는데 주목하고자 한다. 본 논문은 먼저 1) 노년기 두뇌 가소성의 잠재력과 방향성에 대한 각기 다른 입장을 살펴봄, 2) 노년기 두뇌 가소성의 특성적 발현을 강조하는 다음의 주요 가설들을 검토한다: 두뇌/인지 리저브(brain/cognitive reserve)(Stern, 2006), 전두-후두전치(posterior-anterior shift in aging: 이하 PASA)(Davis, Dennis, Daselaar, Fleck, & Cabeza, 2008), 반구 비대칭성 감소(hemispheric asymmetry reduction in older adults: 이하 HAROLD)(Buckner, 2004; Cabeza, 2002), 보상 이득-비용(gain-cost)(Baltes, Staudinger, & Lindenberger, 1999; Kim & Kim, 2014). 나아가 본 논문은 개관된 보상 가설과 기제를 바탕으로 현행 인지 노화 지연 프로그램들의 보호 요인으로서의 역할을 논의하고 노년기 인지 재활의 방향성을 제시하고자 한다.

노년기 두뇌 가소성

두뇌 가소성

지난 수 십 년간 신경 과학 연구는 두뇌가 성장기를 마친 후에도 주변 환경 및 경험에 의해 끊임없이 변할 수 있다는 사실에 주목해 왔다(Cramer et al., 2011; Reinoso Suarez, 2000). 이와 같은 변화 가능성은 두뇌 가소성, 대뇌 가소성(cerebral plasticity), 신경 가소성(neural plasticity) 등의 용어를 통해, 신경 시스템이 외부나 내부로부터의 자극에 반응하며 스스로의 구조, 기능, 연결망을 재조직할 수 있는 능력으로 정의되고 있다(Cramer et al., 2011; Kolb, Teskey, & Gibb, 2010). 여기에서 외부로부터의 자극은 일상생활에서 접하게 되는 자극, 학습과 같은 경험을 총괄하며, 내부로부터의 자극은 두뇌 손상과 노화에 따른 신경학적 퇴화까지를 의미한다. 이러한 내/외적 자극에 대한 반응으로서의 두뇌 가소성 개념은 두뇌가 외부 환경에 따른 반응으로 변화할 뿐만 아니라, 내적인 두뇌 손상을 극복하고 일상 기능을 유지하기 위한 자체적인 적응적 변화(endogenous adaptation)를 스스로 유도할 수 있음을 의미한다.

두뇌 가소성은 분석의 단위가 무엇인가에 따라 세포적 수준에서부터 기능적 수준에 이르기까지 다양한 형태로 포착될 수 있으며, 외부 자극에 대한 반응으로서 일어나는 시냅스의 화학적, 형태적 변화로서의 시냅스 가소성(synaptic plasticity), 신경 시스템의 기능적 지도(functional map)의 변화로서의 보상적 가소성(compensatory or functional plasticity), 해마(hippocampus)에서 드물게 발견되는 신경 세포 생성(neruogenesis) 등으로 구분된다(Cramer et al., 2011). 일반적으로 시냅스 가소성은 반복적 자극이나 학습과 같은 경험에 의해 발생

하는 새로운 시냅스 형성(synogenesis & synaptogenesis)에서 오는 형태적(morphological) 변화를 의미한다. 보상적 혹은 기능적 가소성은 두뇌 손상이나 노화에 의한 신경학적 퇴화 등의 내부적 변화로 인해 두뇌 내에서 자발적으로 이루어지는 구조적이며 기능적인 재조직을 말하며(Kolb et al., 2010), 현행 통용되는 두뇌 가소성의 개념은 세포적 수준의 시냅스 가소성과 기능적 수준의 보상적 가소성을 지칭한다(Cramer et al., 2011).

노년기 두뇌 가소성의 잠재력

과연 노년기의 두뇌는 변화 가능하며, 노인들의 인지 능력 저하를 지연하는 것이 가능한 것인가? 청년기를 지나 노년기에 접어들면서 시각, 청각, 운동 기능 등의 감각 및 신체 기능은 점차 감퇴되고, 두뇌 역시 신경 세포의 급격한 감소를 동반하는 신경학적 노화를 겪으면서 인지 기능 또한 점차 저하된다. 즉 노년기의 인지 기능 저하는 두뇌의 신경학적 노화라는 사이클의 불가피한 결과라 할 수 있다. 그렇다면, 노화라는 피할 수 없는 과정에서 노년기 두뇌 가소성이 과연 가능한가라는 질문은 인지 노화 지연 프로그램의 잠재력을 평가하는 데 결정적이라고 할 수 있다. 노년기 두뇌 가소성의 가능성과 잠재력에 대해 현행 신경과학은 두 가지의 상이한 의견을 제시하고 있다. 한 축의 연구에서는 인간의 두뇌 가소성의 자원을 무한한 것으로 상정하고, 노년기 인지 재활에 대해 낙관론을 제시한다. 이러한 낙관론적 전망에 따르면, 치매의 경우 신경 세포의 죽음이 대부분을 이루지만, 정상적인 인지 노화는 시냅스의 손상이 주를 이루며 이와 같은 시냅스의 손상은 재활을 통해

복구될 수 있다(Backman, Nyberg, Lindenberger, Li, & Farde, 2006). 이와 같은 가정 하에 최근 많은 연구들은 노년기에 저하되는 감각 기능을 자극하거나 기억 및 작업 기억 능력을 훈련함으로써 시냅스의 복구와 함께 두뇌가 기능적으로 재조직됨을 보여주고 있다(Mahncke et al., 2006; McNab et al., 2009; Zelinski et al., 2011).

반면, 다른 한편에서는 노년기 두뇌 가소성이 낙관론적 전망이 제시하는 것처럼 단선적 과정이 아니라고 주장한다. 먼저, 노년기 두뇌 가소성이 연령에 따라 다른 형태로 드러난다는 연구 보고(Kolb, Gibb, & Gorny, 2003)는 위의 낙관론적 전망이 보다 복잡하고 다차원적으로 이해될 필요가 있음을 단적으로 보여준다. 어린 쥐, 젊은 쥐, 나이 든 쥐를 자극이 풍부한 환경에 노출시킨 후, 환경적 자극으로 인한 수상돌기가지 밀도(dendritic spine density)를 비교한 결과에 따르면, 신경 가소성은 연령 별 패턴에서 유의미한 차이를 보였다. 풍부한 환경 자극으로 인해 젊은 쥐와 나이 든 쥐의 수상돌기가지 밀도는 현저하게 증가하였지만, 어린 쥐의 경우 밀도가 오히려 감소되는 경향을 보였다(Kolb et al., 2003). 이와 같은 결과는 선택적 안정화 가설(selective stabilization hypothesis)의 맥락에서 이해될 수 있다(Noack et al., 2009). 이 설명에 따르면, 생후 신경발달의 초기 단계는 주요 신경 범주들(main neuronal categories) 간의 무수히 많은 연결(synaptic connections)이 미분화되고 불안정한 상태로 존재하는 반면, 이후 단계는 중복되고 비효율적인 신경시스템이 보다 특화되고 분화되어 정착하는 선택적 안정화 과정으로 특징 지워질 수 있다. 그리고 이 후자의 단계에서 선택된 시냅스 연결들은 최종적 연결망(final

wiring patterns)으로 자리잡고, 중복되고 비효율적인 시냅스 연결들은 도태된다. 이러한 선택적 안정화는 개체에게 주어지는 주변환경 자극이라는 경험과 학습에 의해 전적으로 지배되는데, 가령, 어린 쥐가 먹이를 얻기 위해 반복적으로 레버를 누르는 경험과 학습은 레버를 누르는 동작과 관련된 신경망을 보다 효율적이고 고정적인 패턴으로 안정화하는 동력이 되는 것이다. 반면, 청년기와 노년기의 신경 가소성은 안정화된 신경 시스템 내에서 보다 많은 시냅스 연결을 생성하는 방식으로 진행된다.

그러나 여기에서 주목해야 할 것은 노년기의 시냅스 가소성을 청년기의 잠재력과 동일한 것으로 가정하기 어렵다는 사실이다. 노년기 쥐의 경우 축삭성장(axonal growth)을 저해하는 유전자 발현 프로파일(gene expression profile)이 청년기 쥐와 현저하게 다르다는 연구 보고(Li et al., 2010)는 시냅스 가소성의 잠재력 또한 연령에 따라 변화한다는 사실을 보여줌으로써, 앞서 진술된 낙관론이 단순하게 수용될 수 없음을 보여준다. 이러한 두뇌 가소성 발현과 잠재력의 연령 간 차이는 인지 과제 수행 차이로 드러나기도 한다. Brehmer, Li, Muller, von Oertzen과 Lindenberger(2007)는 일화 기억 과제

에서 연령 별 수행의 차이점을 보여주었는데, 아동, 청년과는 달리 노인은 기억 전략(mnemonics or strategy instruction)을 적용한 반복 수행(practice)으로부터 학습 효과를 얻기 어려우며, 연습보다는 전략 학습에서만 상대적으로 높은 효과를 기대할 수 있었다. 이와 같은 결과는 그림 1에 제시되어 있다.

그러나 노년기 두뇌 가소성의 잠재력이 유년기나 청년기에 비해 감소되어 있고 그 발현 형태 또한 다르다는 사실에도 불구하고, 노년기 두뇌는 예상치 못한 방향에서 놀라운 변화 잠재력을 보여준다. 노년기 두뇌 변화 잠재력의 특정 방향성을 극적으로 보여주는 사례는 Katzman 등(1988)이 발표한 연구에서 찾아볼 수 있다. 이 연구는 이후 노년기 두뇌 가소성과 인지 노화 지연의 방향성에 대한 폭발적인 관심과 후속 연구들을 끌어내는 데 결정적 역할을 하였다. 이 연구에서는 137명 노인들의 사후 부검 결과가 발표되었는데, 생전에 정상에 가까운 인지 기능을 보이던 10명의 노인이 부검 결과 뇌에 심각한 치매 병변을 가지고 있었던 것으로 드러났다. 일반적으로 치매 지표(biological markers)라 할 수 있는 아밀로이드 플라크(amyloid plaques)와 신경섬유 다발(neurofibrillary tangles)이 인지적으로 정상을 유지하였던 노인들의 부검 결과 다량 발견된 것이다. 이와 같은 결과는 먼저 노년기 인지 기능이 신경학적 노화(neurological aging of the brain)의 단순 결과물이 아니라는 사실을 지적한다. 또한 이는 노년기 두뇌 가소성이 앞선 논의에서 제기된 바처럼 유년기 혹은 청년기 신경 가소성에서 보이는 것과 같은 무한한 자원으로서의 가소성이라기 보다는, 신경학적 노화의 도정에서 출현하는 독자적인 제 3의 변수에 의해 영향 받고 있음을 의미한다. 즉,

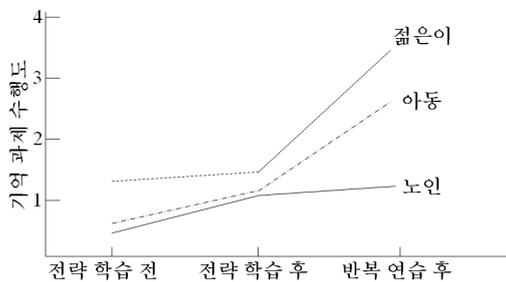


그림 1. 기억 과제 수행의 연령 별 차이: Brehmer 등(2007)의 연구 결과를 일부 수정한 내용임.

인지 노화를 효과적으로 지연하기 위한 대처 방안은 이러한 독자적인 제 3의 변수에 대한 이해를 필수적으로 요구하게 된다.

노년기 보상 가설: 보상적 두뇌 가소성의 모델

두뇌 및 인지 리저브 모델

치매 병변의 존재에도 불구하고 정상적 인지 기능을 유지할 수 있었던 노인들의 사례를 보고하였던 부검연구(Katzman et al., 1988)는 그와 같은 노인들의 두뇌의 크기가 크거나 세포 수 혹은 시냅스의 수가 일반적으로 더 많다는 사실을 보고하였다. 나아가 Stern(2006)을 비롯한 후속 연구는 이러한 노년기 두뇌 가소성에 의한 인지 능력의 차이를 두뇌 리저브의 존재 근거로 설명하며, 두뇌 크기, 세포 수, 시냅스의 수와 같은 변수가 두뇌 가소성의 소극적(passive) 자원으로 작용한다고 설명한다. 반면 교육, 직장 경험, 다양한 자극과 여가 활동 등의 후천적 경험은 두뇌 내에 이미 존재하는 보상적 신경망을 적극적으로 활용함으로써 두뇌 손상이나 신경학적 감퇴에 또한 효과

적으로 대처할 수 있으며, 이러한 보상적 인지 신경망의 활용과 효과성은 인지 리저브란 개념으로 정의되고 있다(Stern, 2006, 2012). Stern의 두뇌 및 인지 리저브는 노년기 인지 가소성의 특성과 방향을 보여주는 지배적인 모델의 하나로 자리잡고 있으며, 리저브 모델을 적용한 노년기 인지 기능 저하의 차별적 패턴은 시냅스 연결의 형태론적 차이(Vance, Keltner, McGuinness, Umlauf, & Yuan, 2010)와 연관지어 살펴볼 수 있다.

그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 두뇌 및 인지 리저브의 용량이 큰 노인은 시냅스 연결이 보다 촘촘하게 구성되어 있으며, 동일한 신경학적 손상이나 감퇴에 불구하고 보다 높은 인지 기능을 보여줄 수 있다. 반면, 두뇌 리저브가 낮거나 인지적 보상망의 발달이 미비한 노인은 시냅스 연결이 보다 성글게 구성되어 있으며, 신경학적 손상에 따른 인지 기능의 저하를 보다 이른 시기에 경험하고, 치매와 같은 인지 기능 감퇴에 빠르게 도달하게 된다. 즉, 보상적 역할을 담당하는 두뇌/인지 리저브의 존재가 노년기 인지 기능 유지에 결정적 요소로 작용하고 있는 것이다.

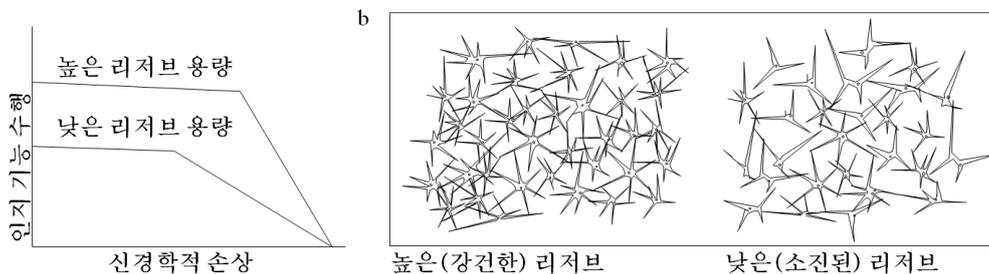


그림 2. 두뇌/인지 리저브: a는 Stern(2012)의 연구를, b는 Vance 등(2010)의 연구 내용을 일부 수정한 내용임

보상적 과잉 활성화 모델: PASA & HAROLD

노년기 두뇌 가소성을 특징지을 수 있는 보상적 신경망의 존재와 작동 방식은 최근의 활발한 신경 이미지(neuroimaging) 연구에 의해 점차 그 윤곽을 드러내고 있다. 이에 따르면, 인지 과제 수행 시, 노년기 두뇌는 청년기 두뇌가 동일 과제를 수행할 때 활성화하는 두뇌 영역 이외의 다른 부수적 영역들을 활성화하거나 특정 영역을 과잉 활성화하는 양상을 보인다(Grady, McIntosh, & Craik, 2005; Mailliet & Rajah, 2013; Spreng, Wojtowicz, & Grady, 2010). 이와 같은 연구 보고에 따라 노년기 신경 시스템이 신경학적 노화에 대응하여 일종의 보상적 신경망을 작동시키고 있다는 가설이 강력하게 제기되고 있다 특히 노인의 경우 후두엽 활동이 감소되고 전두엽이 과잉 활성화되는 경향이 보고되고 있고, 이와 같은 경향성은 전두-후두전치(PASA)(Davis et al., 2008) 모델로 정식화되어 제시되고 있다. PASA 모델은 노년기 감각 기능의 전반적 감퇴에 대응하기 위한 전두엽 영역의 보상적 과잉 활성화를 제기하고 있으며, 시각 지각(Grady, 2000), 일화 기억(Gutchess et al., 2005), 주의력 과제(Cabeza

et al., 2004) 등의 인지 과제 수행에서 일관된 패턴으로 보고되고 있다. Davis 등(2008)은 수행 결과에 영향을 줄 수 있는 난이도와 수행 자신감을 통제한 후 젊은이와 노인들의 일화 기억 및 시각 인지 과제 수행을 비교하였는데, 노인의 후두엽 활동 감소와 전두엽 과잉 활성화 경향이 또한 보고되었다. 그림 3은 이와 같은 결과를 요약하여 제시하고 있다.

또 다른 축의 연구는 인지 과제 수행 시 노년기 두뇌가 다른 부수적 영역을 활성화하는 경향에 주목하고 있다. 이 연구들에 따르면, 젊은이들이 인지 과제 수행 시 한 쪽 반구에 치우친 활동성을 보이는 반면, 노인은 반대편 상응하는 반구의 증가된 활동성을 보인다. 가령, 청년기 두뇌는 인지 과제 수행에서 좌반구 혹은 우반구의 한쪽 반구가 상대편 반구에 비해 보다 활발하게 활성화되는 반구 비대칭성을 보이는 반면, 노년기에는 이와 같은 비대칭성이 감소하는 경향이 보인다는 것이다. 이와 같은 노년기 두뇌 양반구 활동성의 증가는 반구 비대칭성 감소(HAROLD)(Buckner, 2004; Cabeza, 2002) 모델로 정식화되어 설명되고 있다. 청년기 좌반구 중심 활성화와 노년기 우반구 상응 영역의 부수적 활성화 패턴은 언어 작업 기억(Reuter-Lorenz et al., 2000), 단어

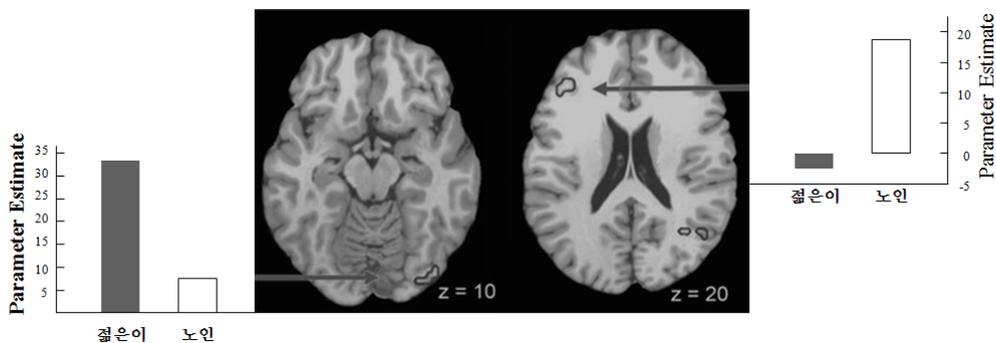


그림 3. PASA 패턴: Davis 등(2008)의 결과를 일부 수정한 내용임 (수평단면, 왼쪽: 좌반구).

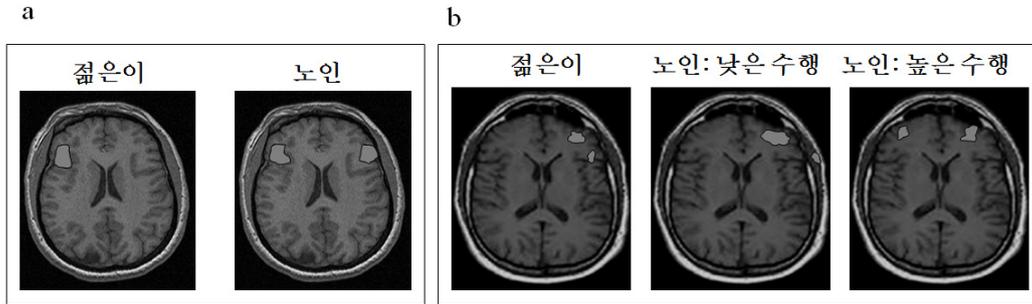


그림 4. HAROLD 패턴과 보상적 수행의 증명: a는 Reuter-Lorenz와 Lustig(2005), Reuter-Lorenz와 Cappell의 연구 내용을, b는 Cabeza 등(2002)의 연구 내용을 일부 수정한 내용임 (수평 단면, 왼쪽: 좌반구).

기억(Logan, Sanders, Snyder, Morris, & Buckner, 2002; Reuter-Lorenz & Lustig, 2005) 등의 과제 수행 시 관찰되는 반면, 젊은이의 우반구 중심 활성화와 노인들의 좌반구 상응 영역의 부가적 활성화는 일화 기억 인출(Cabeza et al., 1997), 얼굴 매칭(Grady, McIntosh, Horwitz, & Rapoport, 2000) 등의 과제 수행 시에 관찰된다. Cabeza, Anderson, Locantore와 McIntosh(2002)는 노년기 양반구 비대칭성 감소 경향을 신경학적 노화에 대처하기 위한 보상적 두뇌 가소성의 발현으로 설명하며, 출처 기억(source memory) 과제 수행에서 젊은이들과 낮은 인지 기능 수행을 보이는 노인들이 좌반구 중심의 활동성을 보이는 반면, 높은 인지 기능의 노인들은 양반구 대칭적 활동성을 보인다는 연구 결과를 제시하였다. 그림 4의 a는 단어 기억 등의 과제 수행 시 관찰되는 청년기 좌반구 중심 활성화와 노년기 양반구 활성화 경향을 요약 제시한 연구들(Reuter-Lorenz & Lustig, 2005; Reuter-Lorenz & Cappell, 2008)을 보여 주고 있으며, b는 출처 기억 인출에서의 청년기 우반구 중심 활성화를 보여주고 낮은 과제 수행도와 높은 과제 수행도의 노인들이 보이는 두뇌 활동성을 비교함으로써 HAROLD

패턴의 보상적 기능을 추측(Cabeza et al., 2002) 하게끔 한다.

두뇌 및 인지 리저브 모델이 노인의 보상적 인지 능력과 잠재적 두뇌 가소성을 양화하여 용량(capacity) 개념으로 정식화하고 있다면, PASA와 HAROLD 모델은 노년기 인지 기능 수행에서 드러나는 과잉 활성화 혹은 부수적 영역의 활성화를 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging: 이하 fMRI) 등을 통해 가시적으로 보여줌으로써 노년기 인지 기능 수행에 작동하고 있는 광범위한 대안적 2차적 신경망들의 발현 형태를 추측할 수 있게 해준다.

보상 이득-비용 모델

최근 사건 관련 기능적 자기공명영상(rapid event-related fMRI) 연구는 노년기에 작동되는 2차적 신경망의 순차적 작동을 밝혀 줌으로써 보상적 활동이 일어나는 과정을 보다 구체적으로 보여주고 있다(Velanova, Lustig, Jacoby, & Buckner, 2007). Velanova 등(2007)에 따르면, 노년기 두뇌의 보상적 활동은 자극이나 단서들을 목적에 맞게 효과적으로 처리하는 동시에

자원의 이동 (Extended Resources)

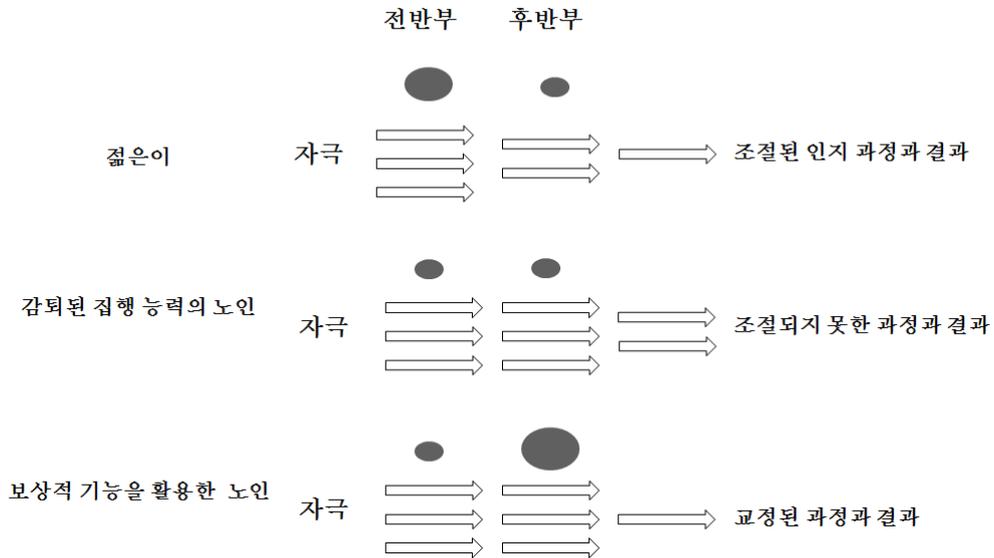


그림 5. 부하-이동 모델: Velanova 등(2007)의 연구 내용을 일부 수정한 내용임.

불필요한 자극이나 정보(irrelevant stimuli or information)를 제어하는 전두엽을 매개로 한 조절된 인지 처리 과정(frontally mediated controlled processing)에서 두드러지게 진행되며, 노년기의 조절된 인지 처리 과정은 젊은이와 확연히 다른 양상을 보여준다. 젊은이의 경우 조절된 인지 기능 수행은 일반적으로 초기에 보다 많은 자원(resources)을 활용하여 효과적인 인지 전략을 선택하고 수행을 지속하는 패턴을 보이는 반면, 노인의 경우 초기에 이와 같은 효과적 전략 수립이 이루어지지 못하고 보다 많은 자원들이 후반부로 이전되는 경향을 보인다. 이러한 노년기 인지 처리 과정에서 관찰되는 자원의 후반부 이동은 노년기 부하-이동 모델(load-shift model)(Velanova et al., 2007)로 설명되며, 그림 5는 전두엽을 매개로 하는 소위 집행 기능(executive functions)이 노년기에 어떠한 방식으로 변화되어 작동하는지를 보여

줌으로써, 보상적 인지 신경망 작동의 순차도를 제공하고 있다.

앞서 설명된 PASA 및 HAROLD 패턴의 전두엽 과잉 활성화는 자원(resources or attentional resources)의 활용이라는 부하-이동 모델과 함께 이해될 때 노년기 보상적 두뇌 가소성의 작동 과정에 대해 보다 정확한 정보를 제공할 수 있다. 인지 과제의 난이도나 수행 숙련도에 따라 조절된 인지 처리 과정이 요구되는 정도는 각기 다를 수 있지만, 일상적인 인지 기능의 수행은 많은 경우 집중과 전략 선택이라는 전두엽을 매개로 한 조절된 인지 처리를 초기에 필요로 한다. 그러나 노인들은 불필요한 자극을 제어하고 주의를 집중하는 초기 과정에서 효과적이며 선별적인 전략을 선택하는데 실패하고, 이러한 결함을 메꾸기 위해 이후 과정에서 보다 많은 자원을 필요로 하게 된다. 이러한 노년기 특유의 인지 처리 과정

에 대한 자원론적 해석은 그 동안 지속적으로 보고되어 온 노년기 인지 능력의 차별적 감퇴 패턴을 이해하는데 결정적인 열쇠를 제공한다.

일반적으로 주의력, 일화 기억, 추론, 작업 기억과 같은 의식적이며 조절과 제어를 요구하는 인지 기능은 노년기에 현격하게 감퇴하는 반면, 암묵 기억이나 결정화된 지식(crystalized knowledge)과 같은 자동화된 기억은 상대적으로 보존된다. 기존의 연구는 노인들의 의식적인 조절 및 제어와 관련된 인지 기능의 감퇴를 전두엽 오작동(frontal dysfunctions) 혹은 전두엽 노화(frontal aging)의 관점으로 설명해 왔다(West, 1996). 이는 노인들의 기억 인지 능력의 감퇴를 전두엽의 신경학적 감퇴에 따른 1차적이고 직접적인 결과로 유추하는 것이다. 그러나 의식적이고 조절된 인지 기능의 저하를 전두엽의 신경학적 손상과 노화에 따른 오작동으로만 이해한다면, Velanova 등(2007)의 연구에서 보고되는 후반부로의 자원 이동과 증가된 활동성을 통한 노년기 인지 기능 유지는 설명할 자리를 잃게 된다. 즉, 후반부로 확장된 활동은 전두엽의 오작동에서 비효율적 작동으로 재해석될 것(Morcom et al., 2007; Zahra et al., 2007)이며, 노년기 인지 기능의 보존과 유지라는 보상적 역할을 간과하는 결과를 가져올 것이다. 그러나 실제로 후반부로 확장된 전두엽의 과잉 활성화는 노년기의 필수적인 기억 인지 기능을 보존하기 위해 두뇌가 신경학적 감퇴에 맞서 보상적 인지망을 확대 가동하고 이에 따라 보다 많은 자원을 소비한다는 것을 의미할 수 있다.

반면, 이러한 보상적 신경망이 펼치는 전략들은 인지 기능의 유지라는 “장점을 갖지만, 또한 비용(cost)을 수반한다. 이는 노인들이 별로 힘을 들이지 않아도 되는 과제(low levels of

task demand)에서 젊은이들보다 많은 신경 자원을 사용하기 때문에 보다 어려운 과제 수행을 위해 필요한 자원의 부족에 직면”(Cappell, Gmeindl, & Reuter-Lorenz, 2010, 463)하는 비용을 동반하기 때문이다. 이와 같은 해석은 신경망의 보상적 사용에 관한 가설(compensation-related utilization of neural circuits hypothesis: 이하 CRUNCH)로 정식화되기도 한다(2010). 가령, 젊은이들에게 일반적으로 네 개 정도의 단어나 숫자를 외우는 것은 작업 기억 용량에 크게 부담을 주지 않는 단순한 과제라 할 수 있다. 반면, 동일한 과제를 노인들이 수행할 때는 상황이 전혀 달라진다. 노인들은 부가적인 신경망의 가동이라는 보상 자원의 활용을 통해서만 청년들과 유사한 수준의 과제 수행을 보일 수 있는 것이다. 나아가 일곱 개의 단어 혹은 숫자를 암기하는 등의 작업 기억 용량에 부담을 주는 과제를 수행할 경우, 노년기 두뇌는 과제 수행에 필요한 자원의 고갈에 더 빠르게 다다른 비용을 치르게 되고, 수행 능력의 급격한 저하를 맞게 된다. 이와 같은 상황은 장시간을 요구하는 과제 수행에도 동일하게 드러난다. 보상적 신경망의 작동은 자원의 조기 고갈을 동반하고, 난이도가 낮은 과제일지라도 장시간의 집중을 요구하는 과제 수행에서 노인들의 급격한 수행 능력 저하라는 결과를 가져온다.

자동차에 비유하자면 이러하다. 노년기 두뇌는 초반의 평탄한 도로 주행과 같은 상황에서 청년기 두뇌와 동일 속도로 달리기 위해 대부분의 연료를 미리 소모해버리고, 이로 인해 오르막길이나 장시간 주행과 같은 상황이 닥쳤을 때 연료 고갈에 따른 주행 속도의 급감 혹은 정차를 경험할 수 있다. 즉, 보상적 성격의 부가적 신경망의 작동은 전두엽 관련

인지 처리의 강도를 높이는 변수인 고난이도와 장시간이라는 조건에서 수행 능력이 급속히 저하하는 결과를 동반한다는 것이다. 이는 또한 뇌 손상 환자가 재활 과정에서 치르는 비용과 비교될 수 있는데, 회복기의 환자들은 두뇌 손상을 메꾸기 위한 보상적 재조직화 활동으로 인해 쉽게 지치고 피로감을 느끼거나 수면 시간 증가라는 부작용 혹은 비용을 불가피하게 경험할 수 있다.

자원의 과잉 동원을 통해 얻어지는 보상적 이득은 비용이라는 손실을 동반한다는 주장은 발달론적(lifespan) 신경심리학자들에 의해 오랫동안 지적되어 왔다. Balts, Staudinger와 Lindenberger(1999)는 보상적 활동이 발달의 전반적 과정에서 일어난다는 사실을 지적하고, 발달과 함께 진행되는 신경 보상적 활동은 이득과 손실(gains and losses)이라는 양면적 관계를 수반할 수 밖에 없다고 강조한다. 두뇌는 끊임없이 신경학적 손상과 감퇴에 맞서 보상적 재조직이라는 가소성을 발휘하며, 이러한 보상적 활동은 기능의 보존과 유지라는 이득을 획득하는 반면, 자원의 과다 사용에 따른 손실을 수반할 수 밖에 없는 것이다. 이와 같은 두뇌의 보상적 가소성의 이해가 전제되지 않는다면, 노년기 인지 기능은 고정적인 것으로 취급되거나 신경학적 감퇴에 따른 단선적 결과로만 해석될 것이다.

실상 노화에 따른 신경학적 감퇴는 두뇌 전반에 걸쳐 일어나며, 전두엽 역시 예외는 아니다. 그러나 노년기 인지 기능 저하가 신경학적 감퇴의 1차적 혹은 직접적 결과물이 아닐 수 있다는 사실은 두뇌 가소성의 원리에서 입증되고 있다. 외관으로 볼 때, 노년기 인지 기능은 결정성 지능이 아닌 유동성 지능과 같은 전두엽을 매개로 한 영역에서 더 두드러지

게 저하하고, 이와 같은 차별적 패턴은 전두엽의 신경학적 감퇴에 따른 오작동이라는 가설을 유추하게 한다. 그러나 우리는 동시에 노년기 두뇌가 스스로의 인지 기능을 유지하기 위한 보상적 전략의 일환으로 전두엽을 매개로 한 직관적이며 전략적 지식(heuristic and strategic knowledge)에 의존한다(Brehmer et al., 2007)라는 역설적 사실을 확인하게 된다. 다시 말해, 저하하는 것으로 보이는 전두엽을 매개로 한 인지 기능이 사실상 노년기 두뇌 가소성에 의해 보상을 실현하는 곳이며, 노년기의 조절된 인지 기능의 저하는 사실상 신경학적 감퇴의 2차적 결과, 즉 두뇌 가소성이라는 보상적 과잉 활동에 따른 비용의 측면 그리고 보상 기능의 감퇴라는 관점으로 해석될 수 있다. 이와 같은 맥락에서, 필자는 노년기의 잠재적 인지 기능에 대한 적절한 이해를 위해, 노화에 따른 신경학적 감퇴의 요소 이외에도 노년기 두뇌 가소성의 내재적인 방향성과 비용에 대한 고려가 전제되어야 함을 제기한 바 있다(Kim & Kim, 2014).

$$F = C/A \cdot c$$

F: 노년기 전반적 인지 기능; A: 신경학적 노화(손상); C: 보상적 적응도; c: 보상 비용

이와 같은 도식은 인지 노화 지연 방안이 신경학적 감퇴에 대응하는 한편, 보상적 인지 활동을 지원하면서 보상적 활동에 수반하는 비용이라는 측면을 동시에 고려해야 한다는 사실을 지적하고 있다. 이와 같은 관점에 근거하여, 다음 섹션은 현행 인지 재활의 보호 요소로 지적되고 있는 방안들을 살펴보고 방안들의 역할에 대해 간략히 논의하고 있다.

인지 노화 지연 방안

그 동안 인지 노화에 대항하는 보호 요인에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 감각 및 운동 경험, 과제 수행, 호르몬(gonadal hormones), 신경 자극 약물(psychoactive drugs), 신경영양적(neurotrophic) 요인(e.g., NGF, FGF-2), 사회적 상호작용과 같은 자연스러운 보상, 놀이, 노화, 스트레스, 소염제(anti-inflammatories), 식이법, 전기적 자극 등이 두뇌 가소성에 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되고 있다(Kolb et al., 2010). 이와 같은 두뇌 가소성에 영향을 미치는 요인들은 인지 노화를 지연하고 나아가 치매를 예방하는 방안으로 적극 활용되어 노인 인지 재활 프로그램의 주요 내용으로 적용되고 있다.

유산소 운동

노인들이 일상 생활 속에서 쉽게 접근할 수 있는 인지 노화 지연 방안으로 먼저 신체 운동을 들 수 있다. 에어로빅(Colcombe et al., 2004; Liu-Ambrose & Donaldson, 2009)을 비롯한 지구적 운동(Muscari et al., 2010)은 호흡과 심박수를 빠르게 하는 유산소 운동을 일정시간 이상 지속하는 운동으로, 노인들의 인지 능력을 유지하고 나아가 향상하는데 큰 역할을 하는 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 운동은 에어로빅 이외에도 장거리 달리기, 걷기, 뛰기, 수영 등을 포함하며, 광범위하게 신체를 자극하고 두뇌 내의 혈류량을 증가시키는 일차적 작용을 한다. Pereira 등(2007)에 의하면, 신체 운동은 성인기 신경세포 생성을 지원하는 유일한 영역이라 할 수 있는 해마 하위 영역인 치아이랑(dentate gyrus) 대뇌 혈류량에 영향을

미치는 것으로 보고되었다. 운동으로 유도된 치아이랑 부근의 혈류량의 증가는 심폐 기능 및 인지 기능에 영향을 미치며, 신경세포 생성이라는 가소성을 실현할 수 있는 해마의 크기 증가, 회백질과 백질의 증가, 신경 전달 물질의 증가를 유도하는 것으로 보고되고 있다(Erickson et al., 2011; Muscari et al., 2010). 운동은 신경세포 생성이라는 두뇌가소성의 증가된 잠재력을 보유하고 있다는 측면에서 크게 각광받고 있다. 또한 유산소 운동은 광범위한 신체 자극을 통해 혈류량을 증가시키고 대사를 활발하게 유도함으로써 신경학적 감퇴 억제 효과를 가져오는 것으로 평가된다. 동시에 혈류량 및 대사 활동의 원활화는 두뇌 자원의 증가를 수반하면서, 두뇌의 보상적 활동에 따르는 비용 자체를 감소시켜 줄 수 있는 것으로 기대된다.

놀이와 사회적 사회작용

또래의 존재나 놀이, 그리고 동년배와의 상호 작용이 두뇌에 어떠한 영향을 미치는가에 관해 오랜 동안 관심이 지속되어 왔고, 최근 한 연구에 의하면 성장기 쥐가 또래와 함께 성장하는지 그리고 또래들과 같이 놀이를 하는지의 여부에 따라 두뇌발달에 차이가 발생한다는 결과가 보고되었다(Bell, Pellis, & Kolb, 2010). 이 연구에 따르면, 안와 전두 피질(orbitofrontal cortex)의 신경 세포의 발달은 주변에 얼마나 많은 또래가 있는지에 따라 반응한 반면, 내측 전전두 피질(medial prefrontal cortex)의 신경 세포 발달은 놀이의 경험에 따라 변화하였다. 그리고 이와 같은 사회적 상호 작용의 경험이 성장기뿐만이 아닌 노년기의 두뇌에도 효과적인 자극으로 작용할 수 있다는

사실이 보고되면서 타자와의 접촉과 상호 작용의 요소가 노년기 인지 노화 지연 프로그램에 적극적으로 도입되고 있다(Hastings & West, 2009; Winocur, Palmer et al., 2007).

개인 학습과 그룹 인지 학습 효과를 비교한 연구(Hastings & West, 2009)에 따르면, 개인 학습과 그룹 학습에 참여한 노인들 모두 기억 기능의 향상을 보여주었다. 그러나 그룹 참여자의 기억에 관한 자아 효능감은 향상된 것으로 보고된 반면, 단독으로 훈련을 받은 학습자의 경우에는 기억 자아 효능감이 훈련 전과 동일한 것으로 보고되었다. 사회적 놀이와 양방향적 언어 자극 등의 인지 재활 방안은 풍부한 사회적, 언어적 자극을 통해 신경학적 감퇴에 저항하는 것으로 평가될 수 있다. 나아가, 또래 압력 및 상호 작용 등의 사회적 놀이는 노인들의 인지 재활 활동 참가의 동기를 강화시키고, 긍정적 정서경험의 기회를 준다는 측면에서 신경 보호적인 역할을 할 수 있으며, 그 자체로 인지적 자극이 되어 보상 기전을 작동시키는 역할을 할 수 있을 것이다.

부작용을 최소화하는 약물 접근을 통한 인지 노화 지연 방안

호르몬 치료나 소염제(anti-inflammatory drugs)를 통한 인지 노화 억제에 대한 관심과 연구는 오랫동안 지속되어 왔다(Landfield, Baskin, & Pitler, 1981; Persad et al., 2009). 그러나 이와 같은 약물적 접근은 치료에 따른 부작용에 대한 우려로 인해 인지 노화 예방책으로 적절히 자리잡을 수 없었던 반면(Ancelin, Christen, & Ritchie, 2007), 상대적으로 부작용이 적은 대안으로서 일상적인 식이 습관에 쉽게 적용될 수 있는 항산화 요법에 대한 관심이 증가하고 있

다(Grodstein, Chen, & Willett, 2003; Masaki et al., 2000). 노화가 진행됨에 따라 산소 라디칼(free radicals)을 제거하는 능력이 저하되면서 신체가 손상을 받게 되는 산화 스트레스(oxidative stress)와 신경 퇴화(neurodegeneration)와의 연관성은 꾸준히 제기되어 왔고, 특히 치매의 주요 지표라고 할 수 있는 베타 아밀로이드 축적물과 산화 스트레스의 연관성에 대한 연구가 증가하는 상황이다(Finkel & Holbrook, 2000; Murakami, Shimizu, & Irie, 2011). 이러한 접근은 신경학적 감퇴 및 손상을 지연시키는 방안으로 기대할 수 있다.

인지 자극 및 훈련

최근 몇 십 년간 인지 자극 및 훈련이 새로운 인지 노화의 지연과 치매 예방책으로 부각되면서, 다채롭고 풍부한 환경적 자극 활동을 목표로 하는 감각 자극(sensory stimulation) 훈련(Berry et al., 2010; Mahncke et al., 2006; Optale et al., 2010), 연상법, 조직법 등의 메타 전략 학습을 활용한 기억 훈련(Fairchild & Scogin, 2010; Lustig & Flegal, 2008), 작업 기억 훈련(McNab et al., 2009), 목표지향적(goal-oriented) 인지 훈련(Londos et al., 2008; Stuss et al., 2007; Winocur, Craik et al., 2007)등의 다양한 프로그램 등이 도입되고 있다. 그러나 노인 대상의 인지 재활 훈련의 장기적 효과를 확보하기 어려우며, 실생활로의 전이 효과(transfer effects)를 기대하기 어렵다는 의견이 꾸준히 제기되어 왔고(Belleville, 2008; H. Li et al., 2011; Noack et al., 2009; Zehnder et al., 2009), 나아가 가령 기억 과제와 같은 특정 인지 자극이 다른 불특정(non-specific) 자극에 비해 목표한 인지 능력의 향상을 가져올 수 있는지에 대한 의문이

또한 제기되었다(Zehnder et al., 2009). 이와 같은 인지 훈련의 실효성(effectiveness) 및 특수성(specificity)과 관련하여 Kim과 Kim(2014)은 노인 인지 재활 프로그램에서 발견되는 두 가지의 방향성을 요약 제시하는데, 외부로부터의 자극이라는 관점을 강조하는 감각 자극 훈련(Berry et al., 2010; Mahncke et al., 2006; Optale et al., 2010), 단순 자극 훈련(Matsuda et al., 2010) 등이 한 축을 이루며, 노년기의 신경학적 노화라는 전반적 감퇴를 보상하기 위한 내재적 두뇌 가소성의 방향을 지원하는 인지 프로그램으로서 인지 전략 학습(Fairchild & Scogin, 2010; Lustig & Flegal, 2008), 목표 지향적 프로그램(Londos et al., 2008; Stuss et al., 2007; Winocur, Craik et al., 2007) 등이 다른 한 축을 구성한다. 전자가 외부적 환경에 대한 반응으로서의 시냅스 가소성의 원리를 활용하는데 중점을 두고 있다면, 후자는 두뇌 병변 및 퇴화 등의 내적 변화에 따른 내부적 재조직이라는 기능적 가소성의 원리를 활용하는데 중점을 두고 있다. 풍부한 감각 자극과 인지 자극(challenge)이 장기간에 걸쳐 충분히 제공되고 또한 여가 활동으로 접목되어 진행될 때 인지 자극 훈련은 장기적 실효성을 현실화할 수 있을 것이며, 이와 같은 자극 훈련이 자원의 과다 소비라는 비용의 측면을 고려하는 동시에 전두엽을 매개로 한 보상적 기능을 지원하는 방향으로 진행될 때 인지 훈련 효과의 특수성 또한 기대할 수 있을 것이다.

논 의

두뇌를 무한한 자원으로 가정하는 낙관적 전망의 이면에는 노년기 두뇌 가소성이 청년

기에 비해 감소된 변화 잠재력을 가지며 가소성 발현 형태 또한 변화한다는 현실이 놓여있다. 즉 노년기 두뇌 가소성 자체는 신경학적 노화와 이에 맞서 인지 기능을 보존하고 유지하고자 하는 끊임없는 분투로 이해할 수 있다. 신경학적 노화라는 불가피한 도정에서 노년기의 두뇌 가소성은 신경학적 감퇴와 손상에 대처하여 신경 시스템을 기능적으로 재조직하고 인지 능력을 유지하고자 하는 보상적 방향으로 진행된다. 이와 같은 보상적 방향으로 작동하는 가소성의 잠재력은 두뇌 및 인지 리저브 용량이라는 양화된 개념을 통해 이해할 수 있었고, 또한 PASA, HAROLD 등 노년기의 특징적인 두뇌 활동 패턴의 뇌영상 결과를 통해 보상적 인지망의 작동을 가시적으로 확인할 수 있었다. 또한 젊음이와는 달리 노인은 인지 기능을 수행하는 데 있어 초기 과정에서 효과적인 전략 수립 및 불필요한 정보 제어에서 결함을 보이면서, 후기에 보다 많은 자원을 사용하는 인지 부하-전이 패턴을 보이는 것으로 보고되었다. 즉 신경학적 노화에서 오는 인지 기능의 감퇴를 보상하려는 두뇌 활동의 내재적 노력은 인지 기능의 보존과 유지라는 이득을 얻게 되지만, 동시에 두뇌 활동의 자원을 과다하게 소비하게 되는 비용을 지출함으로써 노인들은 장시간 집중을 요구하거나 난이도가 높은 인지 기능을 수행하는 데 보다 큰 어려움을 경험할 수 있다. 이러한 사실을 고려할 때, 노년기의 차별적 인지 기능 저하는 전두엽 기능의 오작동이라기 보다는 전두엽을 매개로 한 보상 기능의 점진적 약화로 설명될 수 있을 것이다.

이와 같은 보상적 두뇌 가소성에 대한 이해는 인지 노화 지연 프로그램을 개발하고 운용하는데 중요한 열쇠들을 제공할 수 있다. 먼

저, 노년기 인지 기능을 보존하기 위한 방안으로서 운동과 사회적 상호 작용은 광범위하고 풍부한 환경 자극의 역할을 통해 신경학적 노화를 지연하는 방향으로 작용할 수 있을 것이며, 특히 해마 영역에서의 신경 세포 생성의 잠재력을 가진 신체 운동은 두뇌 활동의 자원을 늘려줌으로써 보상적 과잉 활동의 비용을 감소시키는 기능을 할 수 있을 것이다. 실제로, 다양하고 풍부한 환경적 자극은 그 자체로 노년기 신경학적 감퇴를 맞서는 효과적인 방안이 될 수 있다. 그러나 그러한 자극 환경들은 노년기 두뇌 가소성의 방향과 일치되었을 때 보다 효과적으로 운용될 수 있을 것이다. 가령 일본에서 개발되어 국내 도입이 예상되는 노인 인지 자극 프로그램은 ‘두뇌는 쓸수록 나아진다’라는 가정 하에 단순 연산이나 암기를 반복하도록 구성되어 있다. 그러나 우리는 두뇌 가소성 연구의 개관을 통해 노년기 두뇌 가소성은 풍부하고 다양한 환경 자극이라는 조건 하에서 극대화되며, 단순 반복이나 암기 연습과 같은 훈련은 노인들의 인지 기능 향상에 큰 영향을 미치지 않는다(Brehmer et al., 2007)는 사실을 확인하였다. 즉 노년기 인지 기능 보존을 위한 프로그램들은 보다 다채로운 시각, 청각, 촉각 등의 감각적인 환경 자극을 제공할 수 있어야 하며, 이러한 자극은 두뇌 가소성의 방향을 고려하는 형태로 제공되어야 한다.

필자(Kim & Kim, 2014)는 이와 같은 관점에서 현행 노인 인지 재활 프로그램을 자극 중심과 보상 중심의 프로그램을 구분하고, 두 방향의 조화를 강조한 바 있다. 먼저, 다양하고 풍부한 감각 및 인지 자극을 제공하는 프로그램들은 노인들의 보상적 인지 활동을 지원하는 방향으로 구성될 필요가 있다. 대체로

운 자극을 제공하되, 자극을 이용한 과제는 단순하고 반복적인 실행 혹은 연습이 아닌 전략 학습을 유도하는 것이 필요하며, 또한 목표 지향적 활동을 스스로 조직화하는 인지 과제를 선택할 때 인지 재활 훈련의 실효성이 확보될 수 있을 것이다. 더불어 수행 과정에서 문제 해결을 위한 전략적 단서의 제공과 지원은 노인들의 전두엽을 매개로 한 활동을 지원하고 강화하면서 성취감을 얻을 수 있도록 유도할 수 있다.

그러나 여기에서 유의할 점은 난이도 높은 인지적 도전이 반복적으로 장시간에 걸쳐 제시되는 훈련 프로그램은 보상적 자원의 과다 사용을 유도하며 노인들의 급속한 피로감과 집중력 감퇴, 나아가 수행력 저하를 불러올 수 있다는 사실이다. 이러한 프로그램 구성은 노인들의 인지 자아 효능감 형성에 오히려 걸림돌로 작용할 수 있으며, 일상에서 경험하는 기억 및 인지 기능 상실에 따른 우울 감정을 심화시킬 수도 있다. 따라서, 노인들의 인지 기능을 보존하고 치매를 예방하는 훈련의 구성은 1) 단순 자극이나 반복 학습을 벗어나 2) 난이도와 수행 시간의 교차적 고려, 3) 휴식 배분, 4) 전략적 단서 지원, 5) 목표 지향적 활동 유도 등의 요소들을 충분히 고려하여 운용될 때, 노인들의 정서 및 인지 건강을 도모할 수 있다.

노년기는 분명 신경학적 손상과 노화라는 불가피한 과정에 놓여 있다. 그러나 더욱 중요한 것은 노년기 두뇌가 자체 내의 손상과 결함을 극복하기 위해 신경 시스템의 기능적 재조직을 끊임없이 시도한다는 사실이다. 그리고 이와 같은 보상적 활동의 메커니즘을 효과적으로 활용하는 훈련 프로그램의 개발과 운영은 노년기 삶의 질을 향상시키고 독립적

삶을 연장하고자 하는 실질적 노력의 일환으로 자리매김될 수 있을 것이다.

참고문헌

- 고선규, 권정혜 (2007). 지역 사회 노인을 위한 다요인 인지 능력 향상 프로그램의 효과. *한국심리학회지: 임상*, 26(3), 545-572.
- Ancelin, M. L., Christen, Y., & Ritchie, K. (2007). Is antioxidant therapy a viable alternative for mild cognitive impairment? Examination of the evidence. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 24(1), 1-19.
- Backman, L., Nyberg, L., Lindenberger, U., Li, S. C., & Farde, L. (2006). The correlative triad among aging, dopamine, and cognition: current status and future prospects. *Neuroscience and Biobehavioral Review*, 30(6), 791-807.
- Baltes, P. B., Staudinger, U. M., & Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology: theory and application to intellectual functioning. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.
- Bell, H. C., Pellis, S. M., & Kolb, B. (2010). Juvenile peer play experience and the development of the orbitofrontal and medial prefrontal cortices. *Behavioural Brain Research*, 207(1), 7-13.
- Belleville, S. (2008). Cognitive training for persons with mild cognitive impairment. *International Psychogeriatrics*, 20(1), 57-66.
- Berry, A. S., Zanto, T. P., Clapp, W. C., Hardy, J. L., Delahunt, P. B., Mahncke, H. W., et al. (2010). The influence of perceptual training on working memory in older adults. *PLoS One*, 5(7), e11537.
- Brehmer, Y., Li, S. C., Muller, V., von Oertzen, T., & Lindenberger, U. (2007). Memory plasticity across the life span: uncovering children's latent potential. *Developmental Psychology*, 43(2), 465-478.
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44(1), 195-208.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17(1), 85-100.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*, 17(3), 1394-1402.
- Cabeza, R., Daselaar, S. M., Dolcos, F., Prince, S. E., Budde, M., & Nyberg, L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cerebral Cortex*, 14(4), 364-375.
- Cabeza, R., Grady, C. L., Nyberg, L., McIntosh, A. R., Tulving, E., Kapur, S., et al. (1997). Age-related differences in neural activity during memory encoding and retrieval: a positron emission tomography study. *The Journal of Neuroscience*, 17(1), 391-400.
- Cappell, K., Gmeindl, L., & Reuter-Lorenz, P. (2010). Age differences in prefrontal recruitment during verbal working memory maintenance depend on memory load. *Cortex*, 46, 462-473.
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I.,

- Scaif, P., McAuley, E., Cohen, N. J., et al. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3316-3321.
- Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., et al. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain*, 134(Pt6), 1591-1609.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1201-1209.
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., et al. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 3017-3022.
- Fairchild, J. K., & Scogin, F. R. (2010). Training to Enhance Adult Memory (TEAM): an investigation of the effectiveness of a memory training program with older adults. *Aging and Mental Health*, 14(3), 364-373.
- Finkel, T., & Holbrook, N. J. (2000). Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature*, 408(6809), 239-247.
- Grady, C. L. (2000). Functional brain imaging and age-related changes in cognition. *Biological Psychology*, 54(1-3), 259-281.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., & Craik, F. I. (2005). Task-related activity in prefrontal cortex and its relation to recognition memory performance in young and old adults. *Neuropsychologia*, 43(10), 1466-1481.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Horwitz, B., & Rapoport, S. I. (2000). Age-related changes in the neural correlates of degraded and nondegraded face processing. *Cognitive Neuropsychology*, 17(1), 165-186.
- Grodstein, F., Chen, J., & Willett, W. C. (2003). High-dose antioxidant supplements and cognitive function in community-dwelling elderly women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77(4), 975-984.
- Gutchess, A. H., Welsh, R. C., Hedden, T., Bangert, A., Minear, M., Liu, L. L., et al. (2005). Aging and the neural correlates of successful picture encoding: frontal activations compensate for decreased medial-temporal activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(1), 84-96.
- Hastings, E. C., & West, R. L. (2009). The relative success of a self-help and a group-based memory training program for older adults. *Psychology and Aging*, 24(3), 586-594.
- Katzman, R., Terry, R., DeTeresa, R., Brown, T., Davies, P., Fuld, P., et al. (1988). Clinical, pathological, and neurochemical changes in dementia: a subgroup with preserved mental status and numerous neocortical plaques. *Annals of Neurology*, 23(2), 138-144.
- Kim, E. Y., & Kim, K. W. (2014). A theoretical framework for cognitive and non-cognitive interventions for older adults: stimulation versus compensation. *Aging and Mental Health*, 18(3), 304-315.
- Kolb, B., Gibb, R., & Gorny, G. (2003). Experience-dependent changes in dendritic

- arbor and spine density in neocortex vary qualitatively with age and sex. *Neurobiology of Learning and Memory*, 79(1), 1-10.
- Kolb, B., Teskey, G. C., & Gibb, R. (2010). Factors influencing cerebral plasticity in the normal and injured brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 204.
- Landfield, P. W., Baskin, R. K., & Pitler, T. A. (1981). Brain aging correlates: retardation by hormonal-pharmacological treatments. *Science*, 214(4520), 581-584.
- Li, S., Overman, J. J., Katsman, D., Kozlov, S. V., Donnelly, C. J., Twiss, J. L., et al. (2010). An age-related sprouting transcriptome provides molecular control of axonal sprouting after stroke. *Nature Neuroscience*, 13(12), 1496-1504.
- Liu-Ambrose, T., & Donaldson, M. G. (2009). Exercise and cognition in older adults: is there a role for resistance training programmes? *British Journal of Sports Medicine*, 43(1), 25-27.
- Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33(5), 827-840.
- Londos, E., Boschian, K., Linden, A., Persson, C., Minthon, L., & Lexell, J. (2008). Effects of a goal-oriented rehabilitation program in mild cognitive impairment: a pilot study. *American Journal of Alzheimer's Disorder and Other Dementias*, 23(2), 177-183.
- Lustig, C., & Flegal, K. E. (2008). Targeting latent function: encouraging effective encoding for successful memory training and transfer. *Psychology and Aging*, 23(4), 754-764.
- Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., et al. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized, controlled study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(33), 12523-12528.
- Maillet, D., & Rajah, M. N. (2013). Association between prefrontal activity and volume change in prefrontal and medial temporal lobes in aging and dementia: a review. *Ageing Research Reviews*, 12(2), 479-489.
- Masaki, K. H., Losonczy, K. G., Izmirlian, G., Foley, D. J., Ross, G. W., Petrovitch, H., et al. (2000). Association of vitamin E and C supplement use with cognitive function and dementia in elderly men. *Neurology*, 54(6), 1265-1272.
- Matsuda, O., Shido, E., Hashikai, A., Shibuya, H., Kouno, M., Hara, C., et al. (2010). Short-term effect of combined drug therapy and cognitive stimulation therapy on the cognitive function of Alzheimer's disease. *Psychogeriatrics*, 10(4), 167-172.
- McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forssberg, H., et al. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science*, 323(5915), 800-802.
- Morcom, A. M., Li, J., & Rugg, M. D. (2007). Age effects of the neural correlates of episodic retrieval: Increased cortical recruitment with matched performance. *Cerebral Cortex*, 17,

- 2491-2506.
- Murakami, K., Shimizu, T., & Irie, K. (2011). Formation of the 42-mer Amyloid beta Radical and the Therapeutic Role of Superoxide Dismutase in Alzheimer's Disease. *Journal of Amino Acids*, 2011, 654207.
- Muscari, A., Giannoni, C., Pierpaoli, L., Berzigotti, A., Maietta, P., Foschi, E., et al. (2010). Chronic endurance exercise training prevents aging-related cognitive decline in healthy older adults: a randomized controlled trial. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 25(10), 1055-1064.
- Noack, H., Lovden, M., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2009). Cognitive plasticity in adulthood and old age: gauging the generality of cognitive intervention effects. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(5), 435-453.
- Optale, G., Urgesi, C., Busato, V., Marin, S., Piron, L., Priftis, K., et al. (2010). Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabilitation Neural Repair*, 24(4), 348-357.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., et al. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(13), 5638-5643.
- Persad, C. C., Zubieta, J. K., Love, T., Wang, H., Tkaczyk, A., & Smith, Y. R. (2009). Enhanced neuroactivation during verbal memory processing in postmenopausal women receiving short-term hormone therapy. *Fertility and Sterility*, 92(1), 197-204.
- Reinoso Suarez, F. (2000). [Cajal and neuroscience in the eve of the third millenium]. *AnR AcadNacMed(Madr)*, 117(3), 451-463; discussion 464-457.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., et al. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(1), 174-187.
- Reuter-Lorenz, P. A., & Lustig, C. (2005). Brain aging: reorganizing discoveries about the aging mind. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 245-251.
- Spreng, R. N., Wojtowicz, M., & Grady, C. L. (2010). Reliable differences in brain activity between young and old adults: a quantitative meta-analysis across multiple cognitive domains. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(8), 1178-1194.
- Stern, Y. (2006). Cognitive reserve and Alzheimer disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 20(3Suppl2), S69-74.
- Stern, Y. (2012). Cognitive reserve in ageing and Alzheimer's disease. *Lancet Neurology*, 11(11), 1006-1012.
- Stuss, D. T., Robertson, I. H., Craik, F. I., Levine,

- B., Alexander, M. P., Black, S., et al. (2007). Cognitive rehabilitation in the elderly: a randomized trial to evaluate a new protocol. *Journal of International Neuropsychological Society*, 13(1), 120-131.
- Unverzagt, F. W., Kasten, L., Johnson, K. E., Rebok, G. W., Marsiske, M., Koepke, K. M., et al. (2007). Effect of memory impairment on training outcomes in ACTIVE. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13(6), 953-960.
- Vance, D. E., Keltner, N. L., McGuinness, T., Umlauf, M. G., & Yuan, Y. Y. (2010). The future of cognitive remediation training in older adults. *Journal of Neuroscience Nursing*, 42(5), 255-264.
- Velanova, K., Lustig, C., Jacoby, L. L., & Buckner, R. L. (2007). Evidence for frontally mediated controlled processing differences in older adults. *Cerebral Cortex*, 17(5), 1033-1046.
- West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120(2), 272-292.
- Winocur, G., Craik, F. I., Levine, B., Robertson, I. H., Binns, M. A., Alexander, M., et al. (2007). Cognitive rehabilitation in the elderly: overview and future directions. *Journal of International Neuropsychological Society*, 13(1), 166-171.
- Winocur, G., Palmer, H., Dawson, D., Binns, M. A., Bridges, K., & Stuss, D. T. (2007). Cognitive rehabilitation in the elderly: an evaluation of psychosocial factors. *Journal of International Neuropsychological Society*, 13(1), 153-165.
- Zarahn, E., Rakitin, B., Abela, D., Flynn, J., & Stern, Y. (2007). Age-related changes in brain activation during a delayed item recognition task. *Neurobiology of Aging*, 28, 784-798.
- Zehnder, F., Martin, M., Altgassen, M., & Clare, L. (2009). Memory training effects in old age as markers of plasticity: a meta-analysis. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(5), 507-520.
- Zelinski, E. M., Spina, L. M., Yaffe, K., Ruff, R., Kennison, R. F., Mahncke, H. W., et al. (2011). Improvement in memory with plasticity-based adaptive cognitive training: results of the 3-month follow-up. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(2), 258-265.

1차원고접수 : 2014. 05. 27.

수정원고접수 : 2014. 11. 05.

최종게재결정 : 2014. 12. 03.

Compensatory Brain Plasticity in Late Adulthood: A Review of Compensation Hypotheses and Interventions for Cognitive Aging

Eun Young Kim

Kyungpook National University

This study reviews recent findings of brain plasticity in late adulthood, focusing on compensation hypotheses of cognitive aging. By clarifying the extent and characteristics of brain plasticity in the aging brain, this study re-evaluates current interventions for age-related cognitive decline. The models of compensatory plasticity in the aging brain, such as brain/cognitive reserve, posterior-anterior shift in aging (PASA), hemispheric asymmetry reduction in older adults (HAROLD), and load-shift theory, are discussed. Based on these accounts, current interventions for cognitive aging are re-assessed for their roles in preserving cognitive functions in late adulthood. Rehabilitations that are intended to offset adverse effects of neurological aging should be conducted in accordance with the direction of compensatory adjustments in the aging brain, reducing the cost derived from the overconsumption of compensatory resources.

Key words : Age-related Cognitive Decline, Brain Plasticity, Compensatory Brain Plasticity, Cognitive Reserve