한국심리학회지 : 실험
The Korean Journal of Experimental Psychology
2005, Vol. 17, No. 1, 35 - 49

사건-의존 미래기억이 동시진행 과제 수행에 미치는 영향: fMRI 연구

유 관 호　　서 창 원　　김 초 복

충남대학교 심리학과

사건-의존 미래기억(prospective memory, PM)이 인지적 처리 자원을 요구하는 과정인지 여부를 살펴보고 이에 관여하는 뇌영역을 확인하기 위해 세 편의 실험을 수행하였다. 실험 1에서는 PM 과제가 부가될 경우 동시진행 과제인 음운 작업기억 수행이 낮아지는 결과를 얻었다. 이는 PM 수행이 인지적 처리자원을 요구하는 과정임을 말해준다. 실험 2에서는 PM의 집행 조건과 음운 작업기억만 수행하는 통제 조건을 비교하고, 실제 수행은 하지 않고 PM의 의도를 유지만 하는 조건을 통제 조건과 비교한 결과 PM 의도 집행 조건과 의도 유지 조건 양자에서 통제 조건에 비해 음운 작업기억 수행 수준이 낮았다. 이는 실험 1의 결과가 단순한 반응추가로 인한 것이 아니며, PM 의도 집행과 유지 과정 모두 인지적 처리 자원을 요구하는 것으로 볼 수 있다. fMRI를 이용하여 PM 의도의 유지와 집행에 관여하는 뇌영역을 확인하고자 한 실험 3에서는 PM 수행시 전전두엽과 대상회의 활성화를, 의도의 집행에는 기저핵의 활성화를, 그리고 의도의 유지에는 전전두엽과 두정엽의 활성화를 관찰하였다. 이상의 실험 결과는 사건-의존 PM 의도의 유지와 집행은 자동적인 처리가 아닌 의식적인 처리자원을 요구하는 과정이라는 Smith(2003)의 주장과 일치한다.

주제어: 사건-의존 미래기억, 미래기억, 지연된 의도, fMRI, 전전두엽

실험을 도와준 대학원생 전하정, 정종욱, 정진옥과 세심한 지적과 조언을 해주신 세 분의 심사위원들께 감사드린다.

교신저자: 서창원, (305-764) 대전광역시 유성구 궁동 220, 충남대학교 심리학과
E-mail: cwseo@cnu.ac.kr

미래기억(prospective memory, PM)이란 의도한 행위를 미래의 어떤 시점에 수행해야 한다는 것을 기억하는 것으로 기억해야 한다는 것을 기억하는 것을 말한다(Harris, 1984). 오후 2시에 회의 참석하기, 30분 후에 오븐에서 음식을 꺼내기, 자리를 비웠던 동료가 돌아오면 전화메시지를 전달해주기 등이 PM 과제의 예이다. PM 과제는 모두 지연된 의도를 수행할 것을 요구한다. PM 과제는 의도가 형성되는 시간과 그 행위가 수행되는 시간 사이에 다른 활동들이 포함되어 있으며, 지연된 의도를 수행하기 위해 현재 진행 중인 과제를 중단해야 하는 경우가 대부분이다(Smith, 2003).

PM 과제는 흔히 사건-의존(event-based) PM과 시간-의존(time-based) PM 과제로 분류된다. 사건-의존 PM은 특정한 사건이 발생할 때 어떤 행위를 수행해야한다는 것을 기억하는 것(예를 들면, 자리를 비웠던 동료가 돌아오면 전화메시지를 전달해주기)으로 기억을 촉진하는 외적 단서가 존재한다(이종형과 진영선, 2001). 반면 시간-의존 PM은 일정 시간이 경과한 후에 행위를 수행해야 한다는 것을 기억해야 하는 것(이종형과 진영선, 2001)으로 오후 2시에 회의 참석하기와 같은 예가 이에 해당된다.

PM은 PM요소(prospective component)와 과거기억요소(retrospective component)로 구성되어 있다(Einstein & McDaniel, 1990). PM요소는 적절한 시간에 특정한 행위를 개시하는 것을 기억함을 의미하는 반면 과거기억요소는 수행해야 하는 행위를 정확하게 기억하는 것을 말한다(Otani, Landau, Libkuman, St.Louis, Kazen & Throne, 1997). Okuda와 동료들(1998)은 PM을 좀 더 세분하여 미래계획의 수립과 약호화, 일정시간 동안 그 계획을 유지 혹은 보존하기, 약호화 맥락과 연합되는 계획의 인출과 집행, 그리고 집행한 행위의 결과를 평가하는 과정으로 이야기 했다.

전통적으로 회상기억이나 재인기억으로 측정되는 과거기억(retrospective memory) 연구는 실험실 통제가 용이하다. 이에 비해 초창기 PM 연구에서 많이 이용된 연구방법은 지정된 날짜에 엽서를 보내거나(Meacham & Leiman, 1982) 특정한 시간에 전화를 걸도록 하는(West, 1988) 방식으로 자연 상황에서 진행된 경우가 많았다. 이런 유형의 PM 연구에서는 통제 불가능한 다양한 요인이 PM 과제의 성공적인 수행에 영향을 준다(Otani, Landau, Libkuman, Louis, Kazen, & Throne, 1997). 그 후 실험실에서 통제하기 쉽게 구조화한 PM 연구 패러다임들이 개발되었는데 대개의 경우 이중과제를 사용하고 있다. 예를 들면, 일정한 과제를 수행하고 있는 중에 특정 단서 사건이 발생하면 지정된 반응키를 누르는 것을 기억하도록 요구하는 것이다(Smith, 2003). 흔히, Einstein과 McDaniel 패러다임이라고 불리는 이러한 패러다임은 사람들이 일상생활 속에서 PM 과제를 수행하는 상황과도 매우 유사하다. 동료직원이 돌아오면 전화메시지를 전달해야 한다는 의도를 형성한 사람은 동료가 돌아올 때까지 아무 일도 하고 있지 않기보다는 다른 업무처리를 계속하는 중에 상대방이 돌아오면 의도를 기억하여 메시지 전달이라는 행동 수행 혹은 반응을 해야 한다. 현재 진행하고 있는 일을 효율적으로 중단하지 않는다면 성공적인 PM 수행도 보장할 수 없는 것이다. 메시지를 전달하는 일 이외의 다른 일을 하느라 메시지를 전달해야 한다는 의도를 미처 생각해내지 못하는 상황은 일상생활 속에서 빈번하게 일어나는 일 중 하나이다.

실험실에서 진행되는 많은 PM 연구들이 이

중과제 패러다임을 이용하고 있지만 PM과 진행 중인 과제 사이의 관계를 규명하는데 초점을 맞춘 연구는 그다지 많지 않으며 특히, PM이 진행 중인 다른 활동에 어떤 영향을 미치는 지를 살펴본 연구는 소수에 불과하다(Smith, 2003).

Otani와 동료들(Otani, Landau, Libkuman, St. Louis, Kazen, & Throne, 1997)은 작업기억 수행 중에 특정 단어가 나오면 반응키를 누르는 PM 과제와 조음억제를 함께 요구하는 분할된 주의 조건을 포함하였는데 분할된 주의 과제 추가가 PM 수행을 감소시키지 않는 결과를 얻었다. 반면, Burgess와 동료들(Burgess, Quayle & Frith, 2001)은 반응시간을 종속 측정치로 사용한 사건-의존 PM 연구에서 PM 과제가 부가되는 경우 진행 중인 과제에서의 반응시간이 유의미하게 길어지는 결과를 제시함으로써 사건-의존 PM 과제가 인지자원을 필요로 함을 암시했다. Marsh와 Hicks(1998)는 모니터링이나 계획 세우기와 같은 작업기억의 중앙집행부 처리를 요구하는 동시진행 과제는 PM 과제 수행을 감소시킬 수 있음을 보여줌으로써 PM 수행이 작업기억의 집행 통제 기능에 의존한다고 주장했다. Smith(2003)는 사전준비 주의 및 기억처리(preparatory attentional and memory process, 이하 PAM)이론에서 성공적인 사건-의존 PM 수행에 인지처리 용량이 소모되는 준비과정이 요구된다고 제안했다. 즉, PAM이론에서는 지연된 의도의 인출은 자동적이지 않다고 본다. 왜냐하면 표적 사건이 발생하기 이전 시간 동안에도 비자동적인 준비 과정이 개입되기 때문이다. 따라서 진행 중인 과제에 PM 과제를 삽입하는 것은 표적사건이 제시되지 않았을 때조차 진행과제에 가용한 처리자원을 감소시킬 가능성이 있다. PAM이론에서는 성공적인 PM 수행에는 과거기억 과정 역시 요구된다고 본다. McDaniel과 Einstein(2000)은 이러한 서로 다른 주장에 대한 절충적인 입장을 제시했다. 그들은 지연된 의도의 인출은 때로는 자동적으로 일어나며 때로는 의식적인 처리용량을 요구한다고 주장했다. 특히, 표적이 쉽게 눈에 띄는 특출한 것이거나, PM이 단순한 행위를 요구하는 경우에 지연된 의도의 인출이 자동적으로 처리될 가능성이 높다고 제안했다.

한편, Burgess와 동료들(Burgess, Veitch, De Lacy Costello, & Shallice, 2000)은 의도를 형성하거나 수행 실패로 인한 일상생활 영역의 손상을 보여주는 환자들의 신경학적 손상 연구 사례를 보고했다. PM과 관련되는 뇌구조와 그 구조의 역할에 관해 알려진 사항이 매우 제한적이기는 하지만(Burgess, Quayle, & Firth, 2001), PET scan을 이용한 연구에서 Okuda 등(1998)은 PM 과제에서 부가적인 처리부하를 반영하는 영역으로 우측 중전두회(Brodmann Area 8, BA 8)를 제안했다. 또한 좌측 BA 10 영역과 BA 47 영역은 미래 행동의 의도를 유지하는 과정에 관여하는 것으로 제안했다. Burgess 등(2000)은 우측 전두엽이 의도형성에 관여하고 좌측 BA 8과 BA 10 영역은 지연된 의도의 유지나 촉발과 같은 미래요소에 관여하는 것으로 제안했다. 몇몇 연구들에서 나타난 PM에 관여하는 뇌 영역의 불일치 사항은 연구에 사용된 실험 과제들이 서로 다른데서 비롯된 것일 수도 있다.

본 연구에서는 사건-의존 PM 과제 수행과 진행 중인 과제 수행 사이의 관계에 관한 논쟁의 핵심적인 한 부분이라 할 수 있는 PM 의도의 인출을 둘러싼 자동적 처리 여부와 관련하여 PM 의도의 유지와 집행에 부가적인 처리자원이 요구되는가를 살펴보고, 사건-의존 PM

의 의도 유지와 집행에 관여하는 뇌영역을 탐색하고자 하였다. 이를 위해 사건-의존 PM 과제와 동시진행 과제로 음운 작업기억 과제를 수행하는 상황에서 PM 과제의 속성을 변화시키는 절차를 사용하여 수행을 비교하였다.

실험 1에서는 PM 과제를 범주 과제와 단어 과제로 구별하여 PM 과제가 부가되지 않은 통제집단의 수행과 비교함으로써 PM 과제 속성이 음운 작업기억 수행정확도에 미치는 영향을 살펴보았고, 두 가지 PM 과제 유형에 따른 PM 수행정확도를 비교하여 보았다. 실험 2에서는 PM이 부가되는 경우 발생한 음운 작업기억 수행 저하가 PM의 의도를 인출하는 과정에서 비롯된 것인지 PM 반응이 추가되는데서 비롯되는 것인지를 구분하기 위하여 PM 과제를 인출하여 집행해야 하는 조건과 의도를 유지만 하고 있어야 하는 조건에서의 음운 작업기억 수행을 통제집단과 비교하였다. 실험 3에서는 사건-의존 PM 의도유지와 집행 시에 활성화되는 뇌영역을 확인하기 위해 fMRI 실험을 실시하였다.

실 험 1

실험 1에서는 PM 의도의 인출이 자동적인 처리과정인지 여부를 확인하기 위하여 PM 과제와 동시진행 과제로 음운 작업기억 과제를 수행해야 하는 두 가지 실험 조건과 음운 작업기억 과제만 수행하는 통제 조건의 음운 작업기억 과제 수행 정확도를 비교하여 보았다. 또한 두 가지 유형의 PM 과제에 따라 PM 수행 정확도에 차이가 있는지 여부를 살펴보았다. 이를 위해 컴퓨터 모니터에 단어를 제시하고 참여자가 그 단어를 한번씩 소리내어 읽는 시행을 몇 차례 반복 한 후 나왔던 단어를 회상하는 기본적인 음운 작업기억 과제를 바탕으로 범주 PM 실험 집단에는 음운 작업기억 과제 수행과 동시에 "교통수단" 범주에 해당하는 단어가 제시되면 컴퓨터 자판의 스페이스바를 눌러 반응해야 하는 과제를 한 가지 더 부가했다. 단어 PM 실험 집단에는 6개의 표적 단어를 미리 제시하여 기억하게 한 후 음운 작업기억 과제 수행 중에 표적 단어가 제시되면 스페이스 바를 눌러 반응하는 과제를 부가했다.

방 법

참여자 C대학교에서 교양과목으로 심리학개론을 이수하는 대학생 42명(남성 17명, 여성 25명, 연령 평균 20.3세)이 학점 이수 요건으로 실험에 참여하였다.

절차와 재료 PM 과제 특성(통제 조건, 범주 조건, 단어 조건)을 독립변인으로 하는 피험자간 설계로 각 실험 조건별 참여자는 14명씩 할당했다.

통제 조건의 참여자들은 컴퓨터 모니터에 제시되는 단어를 한 번 씩 소리내어 읽는 반응을 반복하다가 단어를 회상하는 음운 작업기억 과제만 수행했다. 통제 조건의 참여자들이 제시받은 자극은 다른 두 집단의 참여자들과 동일한 자극이었다. 범주 조건의 참여자들은 통제 조건의 참여자들과 동일한 수행을 하면서 제시되는 단어가 "교통수단" 범주에 해당하는 것이면 자판의 스페이스바를 눌러 반응하는 과제를 함께 했다. 단어 조건의 참여자들에게는 통제 조건의 참여자들과 동일한 수행을 하면서 "기차, 버스, 보트, 선박, 열차, 트럭"이라는 표적어가 제시되면 자판의 스페이스

바를 눌러 반응하는 과제를 부가했다.

참여자가 실험실에 도착하면 연구 목적을 간단히 설명해 주고 실험 지시문을 읽게 했다. 참여자가 지시문을 완전하게 이해했는지 여부와 범주 조건과 통제 조건의 참여자들은 표적 범주나 표적 단어를 기억하고 있는지 확인한 후 개인정보를 기록하고 연습시행을 실시했다. 연습시행은 28개 단어로 구성되었고 회상반응은 4회를 포함했다. 참여자가 연습시행을 통해 실험절차를 완전히 숙지했음을 표시하면 본 실험을 진행했다.

세 집단 모두 음운 작업기억 과제에서 컴퓨터 모니터에 각 단어를 500msec 동안 제시하고 단어와 단어 사이에는 응시점을 알려주는 #####표시를 1,500msec 동안 제시했다. 참가자는 제시되는 단어를 큰 소리로 한 번 읽었다. 7개의 단어를 제시한 후 "회상하시오"라는 명령어를 화면에 제시했다(단, 전체 자극어가 176개이므로, 마지막 회상반응인 25 회째 회상반응을 위한 자극 수는 8개였다). 참여자들은 15초의 회상반응 시간 이내에 앞에서 본 단어들을 제시 순서와는 상관없이 최대한 많이 기억하여 말했다. 실험자는 참여자의 언어반응을 반응기록 용지에 기록하였다. 회상반응 시행은 모두 25회였다. 자극어는 모두 176개였고, 이중 6개는 범주 조건과 단어 조건의 표적어였다. 물론 통제 조건의 경우에도 이 단어들은 동일하게 제시되었다. 이 과제수행에 소요되는 시간은 12분 7초였다.

본 실험의 자극으로 사용된 단어재료는 이관용(1991)의 우리말 범주규준에서 17개 범주를 선정하여 각 범주에서 2음절어로 빈도수가 높고, 선정된 범주간에 중복되지 않는 단어들을 10개씩 선택했고, 표적어는 역시 같은 규준에서 교통수단 범주에 해당하는 2음절 단어 6개를 선정하였다. 본 실험에는 총 176개의 단어를 사용하였고, 연습용으로 사용한 단어 역시 같은 규준에서 선정하였다.

실험에 포함된 자극어의 제시와 반응 자료 수집은 SuperLab을 이용하여 프로그래밍했다. 단, 음운 작업기억을 측정하는 회상검사의 반응은 언어보고이므로 실험자가 반응용지에 기록하여 정확반응을 계수하였다.

음운 작업기억 검사에서 자극어의 제시 순서는 무선화했다. 단, 동일한 범주의 자극어가 연속해서 나오지는 않게 조정했고, 표적어가 각 회상 시행을 위한 자극세트의 첫 번째 단어나 마지막 단어로 제시되지 않도록 조정했다. 범주 조건과 단어 조건에서 표적어는 4, 8, 12, 15, 19, 24 번째 회상 시행을 위한 자극으로 제시했다.

결과 및 논의

세 가지 실험 조건의 음운 작업기억과 PM 정확반응율 평균과 표준편차는 표 1에 제시되어 있다. 이 자료에 대해 PM 과제 유형을 독립변인으로 변량분석을 실시했다.

표 1. 실험조건별 종속측정치의 평균과 표준편차

	통제 조건	범주 PM 조건	단어 PM 조건
음운 작업기억 정확률	.635(.060)	.577(.090)	.550(.067)
PM 정확반응률	-	.321(.231)	.595(.312)

작업기억 자료 음운 작업기억에서의 정확반응율은 통제 조건, 범주 PM 조건 그리고 단어 PM 조건 모두 총 25회의 회상 시행에서 정확하게 회상한 단어수로 계산하였다. 이 계산에서 표적어로 사용된 단어 6개를 제외한 170개 단어만 분석에 포함하였다. 이 측정치를 PM 과제 유형을 독립변인으로 하여 일원변량 분석한 결과, PM 과제 유형의 주효과가 유의미했다, $F(2, 39) = 4.783$, $MSE = .026$, $p < .05$. 즉, 음운 작업기억 과제만 수행한 통제 조건 참여자들(0.635)이 범주 PM 조건 참여자들(0.577)이나 단어 PM 조건 참여자들(0.550)보다 우수한 수행을 보여주었다. 이러한 결과는 표적어가 제시되면 표적어에 대해 반응해야 한다는 의도를 인출하여 반응하는 절차가 포함된 PM의 경우 동시진행 과제의 수행을 방해함을 보여주는 것이다. 결국, PM 과제에서 표적어라는 단서를 보고 의도를 인출하는 과정이 인지적인 처리자원을 거의 필요로 하지 않는 자동적인 과정이라기보다는 처리자원을 필요로 하는 과정임을 말해주는 것이다.

PM 자료 PM 과제에서의 정확 반응율은 음운 작업기억 과제를 하면서 표적어가 제시되는 시행 혹은 표적어 제시 직후의 응시점 제시 시행에서 반응키를 눌러 반응한 것을 정반응으로 산정하여 구했다. 이 자료는 PM 과제 부가 조건에서만 측정 가능하므로 범주 조건과 단어 조건만을 비교 분석한 결과 단어 조건 참여자들의 수행(0.595)이 범주 조건의 참여자들의 수행(0.321) 보다 유의미하게 높았다, $F(1,26) = 6.982$, $MSE = .525$, $p < .05$. 이미 실험 시작 전에 정확한 표적 단어를 기억하도록 했던 단어 조건의 참여자들에 비해 범주명만 기억했던 범주 조건의 참여자들에게 표적 단어는 강력한 인출 단서 역할을 하지 못했을 수도 있고, 단어를 보고 교통수단에 해당하는지 여부를 결정해야 하는 처리 단계가 추가됨으로써 정확도가 낮아졌을 수도 있다.

이러한 결과는 사건-관련 PM 과제를 성공적으로 수행하기 위해서는 인지적인 처리용량을 소모하는 과정이 필요함을 주장한 Smith(2003)의 주장과 일치하는 것이다. 또한 PM 과제 수행 결과는 표적 사건에 대한 지시의 상세성을 구체적인 단어와 범주로 변화시킨 Einstein과 동료들(Einstein, McDaniel, Richardson, Guynn, & Cunfer, 1995)의 연구 결과와 일치했다.

실 험 2

실험 1에서는 PM 과제가 부가되는 조건이 음운 작업기억 과제만 수행해야 하는 조건에 비해 음운 작업기억 수행 정확도가 낮아지는 결과를 얻었다. 그러나 이러한 이유가 PM 의도를 유지하거나 인출하는 과정과 관련될 수도 있지만 표적어를 보고 반응키를 눌러야 하는 PM 반응 집행을 했기 때문일 수도 있다. 실험 2에서는 PM 의도를 유지만 하는 조건과 PM 과제 집행을 해야 하는 조건의 수행을 음운 작업기억 과제만 요구하는 조건의 수행과 비교해 봄으로써 사건-관련 PM의 의도유지 및 인출이 처리 용량을 필요로 하는 과정임을 확인해 보고자 했다. 이를 위해 연구 참여자 집단을 통제 집단, PM 의도집행 집단, 그리고 PM 의도유지 집단으로 구분하고 실험 1에서 사용된 절차와 유사한 절차를 적용하였다.

방 법

참여자 C대학교에서 교양과목으로 심리학개론을 이수하는 대학생 51명(남성 24명, 여성 27명, 연령 평균 20.2세)이 학점 이수 요건으로 실험에 참여하였다.

절차와 재료 PM 과제 의도집행 여부(통제 조건, 의도집행 조건, 의도유지 조건)를 독립변인으로 하는 피험자간 설계로 각 실험 조건별 참여자는 17명씩 할당했다.

통제 조건의 참여자들은 컴퓨터 모니터에 제시되는 단어를 한 번씩 소리내어 읽는 반응을 반복하다가 단어를 회상하는 음운 작업기억 과제만 수행했다. 통제 조건의 참여자들이 제시받은 자극은 다른 두 집단의 참여자들과 동일한 자극이었다. PM 의도집행 조건의 참여자들에게는 통제 조건의 참여자들과 동일한 수행을 하면서 "기차, 버스, 보트, 선박, 열차, 트럭" 이라는 표적어가 제시되면 자판의 스페이스바를 눌러 반응하는 과제를 부가했다. PM 의도유지 조건의 참여자들에게는 통제 조건의 참여자들과 동일한 과제를 수행하면서 "건조, 바람, 안개, 열대, 우박, 장마"라는 단어가 제시되면 자판의 스페이스바를 눌러 반응하는 과제를 부가했다. 그러나 의도유지 집단에게 제시했던 표적어는 실제 실험에서 자극으로 제시되지 않았다. 이외의 실험 절차와 재료는 실험 1과 동일하였다.

결과 및 논의

세 가지 실험 조건의 음운 작업기억 정확반응율에 대한 결과를 그림 1에 제시하였다. 이 자료에 대해 PM 의도집행 여부를 독립변인으로 변량분석을 실시했다.

작업기억 자료 음운 작업기억에서의 정확반응율은 통제 조건, PM 의도집행 조건 그리고 PM 의도유지 조건 모두 총 25회의 회상 시행에서 정확하게 회상한 단어수로 계산하였다. 이 계산에서 표적어로 사용된 단어 6개와 첫 번째 시행에 포함된 단어 7개, 그리고 마지막 시행에 포함된 단어 8개는 분석에서 제외하였다. 이 측정치를 PM 의도집행 여부를 독립변인으로 하여 일원변량 분석한 결과, PM 의도집행 여부의 주효과가 유의미했다, $F(2, 48) = 4.043$, $MSE = .004$, $p < .05$. 즉, 음운 작업기억 과제만 수행한 통제 조건 참여자들(0.641)에 비해 PM 의도집행 조건 참여자들(0.591)이나 PM 의도유지 조건 참여자들의 수행(0.592)이 낮았다. 표적어가 제시되면 표적어에 대해 반응해야 한다는 의도를 인출하여 반응해야 하는 PM 의도집행 조건뿐 아니라 PM 의도를 실행하지 않고 유지만 하고 있으면 되는 의도유지 조건에서도 동시진행 과제의 수행이 낮아지는 이러한 결과는 실험 1에서 나온 PM 부가집단의 음운 작업기억 수행이 통제 집단에 비해 낮아진 이유가 단순히 반응키를 누르는 추가 반응으로 인한 것이 아님을 말해주는 것이다. 즉, PM 수행은 PM 의도의 집행 뿐 아니라 의도의 인출과 유지 전 과정이 처리용량을 요구함을 알 수 있다.

사후질문 자료 실험 종료 후에 PM 의도집행 조건과 의도유지 조건의 각 참여자에게 실시한 질문지는 지시문에 제시된 표적어를 기억하여 적도록 한 문항과 실험의 각 국면(지시문을 읽는 동안, 개인정보를 기록하는 동안, 실험 중에 표적어 이외의 단어가 제시되는 동안, 표적어가 제시되는 동안, 회상반응을 하는 동안)에서 표적어를 보면 반응해야 한다는 생각

표 2. 실험조건별 작업기억 정확률

조건	통제 조건	PM 조건	
		의도집행	의도유지
정확률	.641(.053)	.591(.049)	.592(.073)

을 얼마나 많이 했는가를 4점 척도("1"= 전혀 생각하지 않았다, "4" = 매우 많이 생각하였다)에 표시하도록 했다. 평정치의 평균과 표준편차는 표 2에 제시되어 있다. 사후 질문 6가지 중 유일하게 PM 의도집행 조건과 의도유지 조건에서 통계적으로 유의미한 차이가 난 국면은 표적어가 제시되는 동안이었는데, $F(1,32) = 18.062$, $MSE = .471$, $p < .001$, 이러한 결과는 의도유지 조건에 표적어가 실제로 제시되지 않았기 때문에 나온 결과였다. 또한, 의도유지 조건의 참여자에게 학습했던 표적어가 실험 중에 나왔는가를 추가 질문한 결과, 대부분의 참여자가 표적어가 제시되지 않았다고 응답했다. 따라서 두 조건의 참여자 모두 실험 국면 동안 거의 비슷한 정도로 PM 과제에 대해 생각하고 있었음을 알 수 있다.

PM 자료 실험 2에서 PM 수행 결과는 PM 의도집행 조건에서만 구할 수 있었다. 표적어가 제시된 시행에서 반응키를 누른 것을 정반응으로 보았다. PM 의도집행 조건의 PM 수행 정확률 평균은 0.686(*SD* 0.242)이었다.

실 험 3

실험 3에서는 사건-의존 PM을 집행하는 경우와 PM 의도를 유지하는 경우에 관여하는 뇌 영역을 확인하고자 하였다. 이를 위해 실험 2에서 사용된 재료를 기초로 fMRI 연구를 실시하였다.

방 법

참여자 KAIST에 재학 중인 14명의 오른손잡이 대학생(남성 9명, 여성 3명, 평균 23.2세)이 보수를 받고 실험에 참여하였다. 모든 참여자는 신경학적, 정신과적 병력이 없었으며, fMRI 실험에 대한 안내를 받은 후 실험에 참여하였다. 이 참여자들 중 PM 과제를 수행하지 못한 2명은 분석에서 제외하였다.

자극 및 장치 실험에 사용된 자극은 실험 1과 2에서 사용한 단어들로 구성되었고, 표적어는 역시 같은 규준에서 교통수단 범주에 해당하는 2음절 단어 4개를 선정하였다. fMRI 실

표 3. 두 PM 조건의 사후 질문지 결과

	의도집행 조건	의도유지 조건
1. 사후 회상 표적어 수	4.647(1.935)	3.471(1.841)
2. 지시문을 읽는 동안	2.706(.849)	2.941(.659)
3. 개인정보를 쓰는 동안	2.235(.831)	2.824(1.015)
4. 표적어 이외의 단어가 제시되는 동안	1.941(.748)	2.000(.791)
5. 표적어가 제시되는 동안	2.294(.849)	1.294(.470)
6. 회상반응을 하는 동안	1.941(.827)	1.706(.686)

그림 1. fMRI 실험 절차. PM 과제는 의도유지 조건과 의도집행 조건으로 구성되었고(위), 통제 조건에서는 작업기억 과제만 사용하였다 (아래).

험을 위한 장치는 KAIST fMRI 센터에 설치되어 있는 3.0T fMRI 기기를 사용하였다(Oxford magnet, Varian console built up by ISOL). 피험자들은 MRI 기기에 누워 영사기로 제시되는 자극을 거울을 통해 보면서 마우스를 이용하여 반응하였다.

fMRI 실험 절차 실험은 PM 과제와 통제 조건인 작업기억 과제의 2회기로 구성되었다. 두 과제의 기본적인 절차는 n-back 절차를 이용하였다. n-back 과제는 500msec 동안 단어가 제시되고 2,500msec 의 고정점이 제시되는 것을 한 시행으로 했고, 한 블록에서 20회 반복되었다. 참여자들은 제시되는 단어가 이전에 본 단어인지 아닌지를 판단하여 이전에 보았던 단어이면 마우스 왼쪽 버튼을, 그렇지 않으면 오른쪽 버튼을 이용하여 반응하였다. PM 과제에서는 교통수단 범주의 네 단어가 본 실험 이전에 먼저 제시되었고, 참여자들에게 그 단어들을 기억한 다음 n-back 과제를 수행하다가 표적자극이 제시되었을 때 반응을 하지 않도록 지시하였다. 작업기억 과제는 PM 과제와 동일하지만, 본 실험 이전에 제시되는 자극을 무시하도록 하였다. 각 실험은 60초의 블록으로 4회 반복되었고, 각 블록 사이에 30초간의 기저선이 제시되었다. PM 과제는 의도유지 블록과 의도집행 블록으로 구성되었다.

fMRI 영상 획득 및 분석 기능적 영상(EPI, echo-planer image)은 30장의 절편(slices)을 획득하였다(4mm, no gap). EPI 획득에 사용된 파라미터들은 TR=3,000msec, TE=35msec, Flip angle=85°, Matrix size=64×64, FOV=220mm×220mm (voxel size = 3.44×3.44 in plane) 였다. 상대적으로 해상도가 낮은 EPI의 해부학적 위치를 확인하기 위해 해부학적 영상인 T1 강조영상을 획득하였다.

획득된 영상자료의 분석을 위해 SPM99 (statistical parametric mapping, 99 version, Wellcome department of Cognitive Neurology, London, UK)를 이용하였다. 통계적 분석을 하기 전에 먼저 각 개인의 영상자료는 머리 움직임 때문에 발생하는 불일치에 대한 움직임 보정(realign)을 한 후, 저해상도인 EPI의 해부학적 위치 확인을 위해 상대적으로 고해상도인 T1 강조영상과 EPI를 일치시켰다(coregister). 각 개인의 영상자료들은 Talairach-Tournoux 좌표체계(Talairach & Tournoux, 1988)에 의한 MNI(Montreal Neurological Institute) 좌표에 표준화하였고, 신호대 잡음비(SNR)를 높이기 위해 편평화

(smoothing)하였다(FWHM=8mm). 활성화된 뇌 영역의 좌표는 mni2tal 알고리즘(M. Brett, Cambridge, Massachusetts)을 적용하여 Talairach-Tournoux 좌표로 변환하였다.

모든 개인의 영상자료는 각 조건(PM 의도유지, PM 의도집행, 통제 조건)을 수행하는 블록이 기저선보다 활성화되는 영역을 정의하기 위해 감산법(subtraction methods)을 이용하였다. 이 때 통계적 유의수준은 $p<.05$(uncorrected)로 하였다. 이렇게 획득된 각 개인의 분석결과를 바탕으로 집단분석을 수행하였으며, PM 조건>통제 조건, 의도 유지 조건>통제 조건, 의도 집행 조건>통제 조건에 대한 뇌활성 영역을 확인하였다. 집단분석에서 최소 활성화 영역(voxel)의 크기는 8mm로 하였고, 통계적 유의수준은 $p<.01$로 하였다.

결과 및 논의

행동 자료 작업기억 과제만을 수행한 조건과 사건-의존 PM 과제를 동시에 수행한 조건의 작업기억 과제 정확률과 반응시간을 분석하였다. 그 결과, 작업기억 과제 조건과 PM 과제 조건에 따른 정확률은 차이가 없는 것으로 나타났다. 실험 1과 2에서와 달리 조건에 따른 정확률 차이가 없는 이유는 n-back 과제 난이도가 낮기 때문인 것으로 보인다. 그러나, 반응시간의 경우에는 PM 과제 조건(905.8 ms)이 작업기억 과제 조건(848.3 ms)보다 증가한 것으로 나타났다, $F(1,11) = 12.532$, $MSE = .002$, $p < .01$. 이는 사건-의존 PM 과제 수행에 부가적인 처리시간이 요구됨을 말해주는 것으로 실험 1 및 2와 일치하는 결과이다.

fMRI 자료 PM과 관련한 뇌활성화 특성을 살펴보기 위해 통제과제인 작업기억 조건보다 PM 조건에서 더 많은 활성화를 나타내는 뇌영

표 4. PM 과제에 대한 뇌활성화. PM조건>통제 조건(위), 의도집행 조건>통제 조건(가운데), 의도유지 조건>통제 조건(아래).

	side	x	y	z	Talairach coordinates	BA	Z
PM조건>통제 조건	R	24	37	39	Middle Frontal Gyrus	8	2.94
	R	8	-61	33	Precuneus	7	2.70
	R	4	-10	26	Cingulate Gyrus	23	2.61
	L	-6	-34	50	Paracentral Louble	5	2.53
	L	-12	-62	38	Precuneus	7	2.49
	L	-10	-78	-13	Cerebellum(Declive)		2.43
의도집행 조건 >통제 조건	L	-11	-64	35	Precuneus	7	3.17
	R	28	12	2	Basal Ganglia(putamen)		2.81
의도유지 조건 >통제 조건	R	24	37	38	Middle Frontal Gyrus	8	2.93
	R	34	16	-28	Superior Temporal Gyrus	38	2.82
	L	-24	-45	-16	Cerebellum(Culmen)		2.67

역을 관찰하였다(표 4). 그 결과, PM 조건이 통제 조건보다 활성화된 영역은 우측 중전두회(middle frontal gyrus, BA 8), 우측 대상회(cingulate gyrus, BA 23), 좌측 중심옆소엽(paracentral lobule, BA 5), 양측 설전부(precuneus, BA 7), 좌측 소뇌로 나타났다 이를 의도집행 조건과 의도유지 조건으로 구분하여 통제 조건에 비해 강한 활성화를 나타내는 영역을 분석한 결과, 의도집행 조건에서는 좌측 설전부(BA 7), 우측 기저핵의 피각(putamen)의 활성화를 관찰하였고, 의도유지 조건에서는 우측 중전두회(BA 8), 우측 상측두회(superior temporal gyrus, BA 38), 좌측 소뇌가 활성화되었다 그림 3에는 의도집행 조건과 의도유지 조건에서 활성화를 관찰한 뇌영역을 제시하였다.

의도 집행과 의도 유지가 모두 포함된 PM 과제에서 활성화된 영역들을 살펴보면, 전형적으로 작업기억 부하와 관련된 전두엽의 중전두회, 두정엽의 설전부가 활성화되었고(Braver, Cohen, Nystrom, Jonides, Smith, & Noll, 1997; Jonides, Schumacher, & Smith, 1997; Rypma, Prabhakaran, Desmond, Glover, & Gabrieli, 1999), 주의의 이동이나 과제수행에 대한 점검의 기능을 하는 대상회의 활성화가 관찰되었다(Carter, Braver, Barch, Botvinick, Noll, & Cohen, 1998; Cohen, Botvinick, & Carter, 2000). 이는 Burgess 등(2001)의 연구에서 밝혀진 바와 같이 사건-의존 PM 과제가 통제적 처리를 수반하는

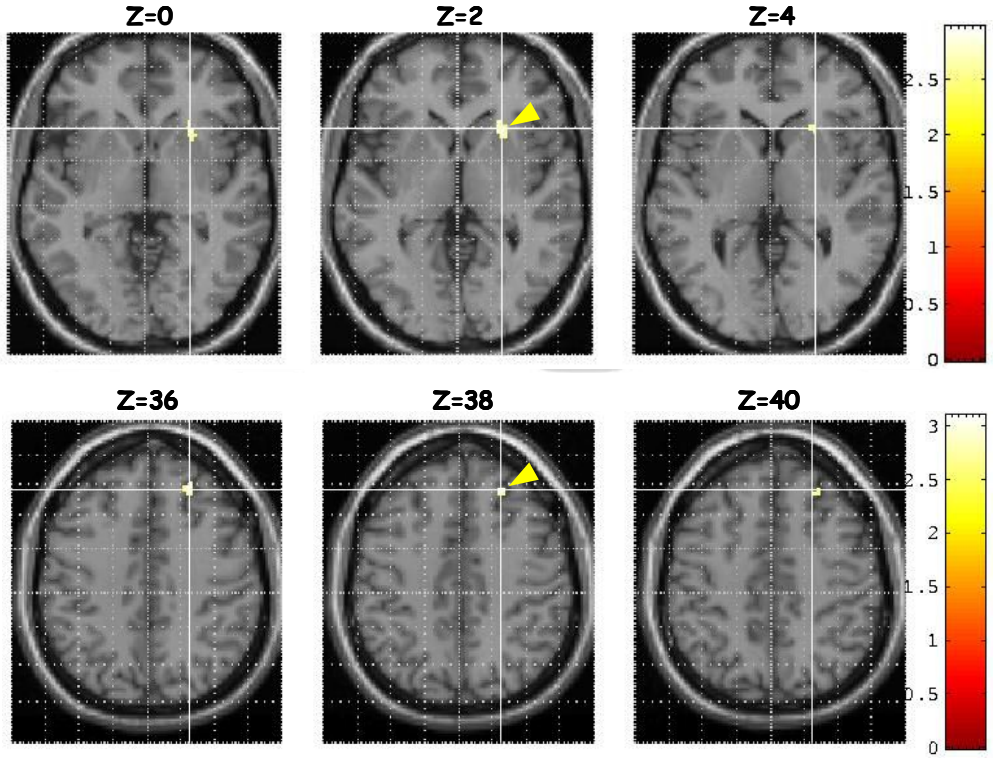

그림 2. PM 과제 수행시 뇌활성화. 의도집행 조건의 경우 기저핵의 활성화를 관찰하였고(위), 의도유지 조건에서는 전두엽의 활성화를 관찰하였다 (아래).

것으로 해석할 수 있다. 또한 설전부는 일화기억의 인출과 관련된 영역이라는 주장이 있다(Krause, Schmidt, Mottaghy, Taylor, Halsband, Herzog, Tellmann, & Muller-Gartner 1999).

의도집행 조건에서 특징적인 활성화 영역은 기저핵으로 나타났다. 기저핵은 운동계획과 통제(Flaherty & Graybiel, 1994; Graybiel, 1995; Graybiel, Aosaki, Flaherty, & Kimura, 1994)에 관여할 뿐만 아니라, 고차인지과정에 중요한 역할을 한다는 연구들이 보고되었다(Middleton, & Strick, 1994; Joel, & Weiner, 1994). 의도유지 조건에서는 작업기억 부하와 관련된 전두엽과 두정엽에서 활성화가 관찰되었다(Braver, Cohen, Nystrom, Jonides, Smith, & Noll, 1997; Jonides, Schumacher, & Smith, 1997; Rypma, Prabhakaran, Desmond, Glover, & Gabrieli, 1999).

fMRI 실험 결과를 종합하면, PM의 의도를 집행하는 과정뿐만 아니라, 유지하는 과정도 자동적인 과정이 아니라, Smith(2003)가 주장한 바와 같이 인지적 처리 자원을 요구하는 과정으로 볼 수 있다.

종합논의

본 연구의 목적은 사건-의존 PM이 인지적 처리 자원을 요구하는 과정인지를 확인하고 PM에 관여하는 뇌영역을 확인하는 것이었다. 실험 1의 결과, 범주 혹은 단어 표적에 대한 사건-의존 PM 수행을 해야 하는 조건에서는 이중 과제로 동시에 진행된 음운 작업기억의 수행이 낮아지는 것으로 나타났다. 사건-의존 PM 수행이 외적 단서에 의해 비교적 자동적으로 처리되는 것이라면 PM 과제가 부가되는 것으로 인한 동시진행 과제의 수행 손상이 나타나지 않아야 한다. 그러나 실험 1의 결과는 외적 단서로 사전에 지정된 표적어가 출현하면 반응을 해야 하는 사건-의존 PM 조건에서 동시진행 과제의 수행 수준이 낮아짐으로써 지연된 의도의 수행 즉, PM 수행이 인지적 처리 자원을 요구하는 과정임을 말해준다.

실험 2의 결과는 PM 의도를 인출하여 수행해야 하는 사건-의존 PM 집행 조건 뿐 아니라 PM 의도를 유지만 하고 있는 조건에서도 동시진행 과제의 수행 수준이 저하되는 것으로 나타났다. 실험 1과 2의 결과는 PM 표적 사건이 발생하기 이전에도 비자동적인 준비과정이 개입된다는 Smith(2003)의 PAM이론을 지지하는 것으로 해석할 수 있다.

사건-의존 PM에 관여하는 뇌영역을 확인하고자 실시한 실험 3에서는 작업기억 과제만 수행하는 통제 조건에 비해 사건-의존 PM 과제를 수행하는 조건에서 더 많이 활성화되는 영역으로 우측 중전두회(BA8), 우측 대상회(BA23), 양측 설전부(BA7), 좌측 중심옆소엽(BA5)의 활성화를 확인하였다. 이 영역들은 작업기억의 부하나, 주의의 이동과 관련되는 곳으로, 사건-의존 PM의 수행이 의식적 인지자원을 필요로 한다는 PAM이론을 설명할 수 있는 신경생리학적 증거로 볼 수 있다. 또한, PM의 의도를 유지하고 있을 때에는 우측 중전두회(BA8)와 상측두회(BA38)가 활성화되었고, 의도의 집행에는 좌측 설전부(BA7)와 우측 기저핵 피각의 활성화가 나타났다. 이는 사건-의존 PM이 전두엽과 두정엽의 정보 유지 기능과, 특정 표적이 단서로 제공될 때 의도를 실행하는 기저핵의 기능으로 구분될 수 있음을 확인할 수 있는 결과이다.

본 연구는 일상생활에서 흔히 경험하는 인지과정임에도 불구하고 지금까지 국내에서 소수의 연구에 한정되었던 사건-의존 PM의 처리

기제를 집행과 유지로 구분하여 살펴보고 그 과정에 관여하는 뇌기능 영상을 확인했다는 의의가 있다. 그러나, 본 연구에서 이용한 실험실 상황은 PM을 접하는 일상생활과는 의도의 지연시간이나, 의도의 개인적 중요성 및 동기 수준 등에서 차이가 있다. 또한 뇌기능 영상자료를 획득하기 위해 사용한 fMRI 기법이 지니는 기술적 특성상 비교적 짧은 시간에 단순한 반응방식을 이용할 수밖에 없음도 본 연구결과의 적용을 제한하는 요인이 된다. 향후 본 연구에 포함되지 않은 다양한 변인들을 포함한 지속적인 PM 연구가 진행된다면 PM에 관한 보다 분명한 인지 처리기제와 뇌기능 영상을 확인할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

이관용 (1991). 우리말 범주규준 조사-본보기산출빈도, 전형성, 그리고 세부특징조사. 한국심리학회지 : 실험 및 인지, 3, 131-160.

이종형과 진영선 (2001). 미래기억의 연령차: 기억보조도구와 단서독특성의 효과. 한국심리학회지: 발달, 14(3), 107-132.

Braver, T. S., Cohen J.D., Nystrom, L. E., Jonides, J., Smith, E. E., & Noll, D. C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Neuroimage, 5,* 49-62.

Burgess, P. W., Quayle, A., & Firth, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia , 39,* 545-555.

Burgess, P. W., Veitch, E., De Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking, *Neuropsychologia , 38,* 848-868.

Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science, 280*, 747-749.

Cohen, J. D., Botvinick, M., & Carter, C. S. (2000). Anterior cingulate and prefrontal cortex: who's in control. *Nature Neuroscience. 3,* 421-423.

Einstein, G. O. McDaniel, M. A., Richardson, S. L., Guynn, M.J., & Cunfer, A. R. (1995). Aging and prospective memory: Examining the influences of self-initiated retrieval process. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 21*, 996-1007.

Flaherly, A. W. & Graybiel, A. M. (1994) Input-Output Organization of the Sensorimotor Striatum in the Squirrel Monkey. *Journal of Neuroscience , 14(2)*: 599-610.

Graybiel, A. M. (1995) Building action repertoires: Memory and learning functions of the basal ganglia. *Current Opinion in Neurobiology*, 5, 733-741.

Graybiel, A. M., Aosaki, T., Flaherty, A. W., & Kimura, M. (1994) The Basal ganglia and adaptive motor control. *Science, 265*, 1826-1830.

Harris, J. E. (1984). Remembering to do things: A forgotten topic. In J. E. Harris & P. E. Morris(Eds.), *Everyday memory, actions, and absent-mindedness* (pp. 71-92). London; Academic Press.

Joel, D. & Weiner, I. (1994) The organization of the basal ganglia-thalamocortical circuits:

open interconnected rather than closed segregated. *Neuroscience*, *63*, 363-379.

Jonides, J., Schumacher, E. H., & Smith, E. E. (1997). Verbal working memory load affects regional brain activation as measured by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience 9(4)*, 462-475.

Krause B. J. Schmidt D, Mottaghy FM, Taylor J, Halsband U, Herzog H, Tellmann L, Muller-Gartner HW. (1999). Episodic retrieval activates the precuneus irrespective of the imagery content of word pair associates. A PET study. *Brain, 122,* 255-263.

Marsh, R. L., & Hicks, J. L. (1998). The activation of completed, uncompleted, and partially completed intentions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 24*, 350-361.

McDaniel, M. & Einstein, G. (2000). Strategic and automatic processes in prospective memory retrieval: A multi process framework. *Applied Cognitive Psychology*, *14(7)*, S127-S144.

Meacham, J. A, & Leiman, B. (1982). Remembering to perform future actions In U. Neisser(Ed.), *Memory observed: Remembering in natural contexts*(pp. 327-336). San Francisco: Freeman.

Middleton, F. A. & Strick, P. L. (1994). Anatomical evidence for cerebellar and basal ganglia involvement in higher cognitive functions. *Science*, *266*, 458-461.

Okuda, J., Fujii, T., Yamadori, A., Kawashima, R., Tsukiura, T., Fukatsu, R., Suzuki, K., Ito, M. & Fukuda, H. (1998). Participation of prefrontal cortices in prospective memory: Evidence from a PET study in humans. *Neroscience Letters*, *253*, 127-130.

Otani, H., Landau, J. D., Libkuman, T. M., St. Louis, J. P., Kazen, J. K., & Throne, G.W. (1997). Prospective memory and divided attention. *Memory*, *5*, 343-360.

Rypma, B., Prabhakaran, V., Desmond, J. E., Glover, G. H., and Gabrieli J. D. E. (1999). Load-dependant roles of frontal brain regions in maintenance of working memory. *Neuroimage 9,* 216-226.

Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: Investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 29,* 347-361.

Talairach, J. & Tournoux, P. (1988). *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain: 3-Dimensional Proportional System: An Approach to Cerebral Imaging*. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag.

1 차원고접수: 2005. 1. 29
2 차원고접수: 2005. 3. 7
최종게재결정: 2005. 3. 23

한국심리학회지 : 실험
The Korean Journal of Experimental Psychology
2005, Vol. 17, No. 1, 35 - 49

The Effect of Event-Based Prospective Memory on the Performance of Ongoing Tasks: An fMRI Study

Gwanho Yoo Chnag-Won Seo Chobok Kim

Department of Psychology, Chungnam National University

We conducted three experiments investigating whether event-based prospective memory(PM) demanded cognitive processing resources and confirming the brain regions involved in this process. In Experiment 1, we found that, in PM task adding, the performance of ongoing verbal working memory task was decreased. It showed that PM demanded cognitive processing resources. In experiment 2, we compared the intentional executive PM condition with the control condition demanding only the verbal working memory task; we also compared the intentional maintaining PM condition without real execution with the same control condition. In both intentional executive and maintaining PM conditions, the performances of verbal working memory were lower than the control condition. This showed that results of experiment 1 were not simply from additional responses and both intentional execution and maintenance of PM demanded cognitive processing resources. Experiment 3 investigated the brain regions involved in intentional maintenance and execution of PM using the functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). We observed that the prefrontal and cingulate cortices were activated by PM performance, the basal ganglia were activated by intentional executive PM, and the prefrontal and parietal cortices were activated by intentional maintaining PM. These results agree with the insistence of Smith(2003) that both intentional maintenance and execution of PM are not automatic but demand conscious processing resources.

Keywords: event-based prospective memory, prospective memory, delayed intention, fMRI, prefrontal lobe