

학습 스트레스의 수준 및 제공되는 보상 조건의 차이가 단기 및 장기 기억의 수행에 미치는 영향 *

The effect of learning stress and reward style on short- and long-term memory performance

정주연 · 한상훈†

Juyoun Jung · Sanghoon Han†

연세대학교 심리학과

*Department of Psychology, Yonsei University

연구 세부분야: 감성심리

Abstract

We examined the effect of delayed and immediate rewards on short- and long-term memory performance depending on the level of stress. It has been demonstrated that delaying feedback during memory tasks could lead to better retention than presenting it immediately (a.k.a., feedback delay benefit or *delay-retention effect*). In this study, we manipulated stress level (high-stress or low-stress), reward-timing (delayed or immediate reward), reward-existence (500 or 0 won) and retrieval-timing (delayed or immediate memory test). On the high-stress learning condition, one week later, the number of correct answers with delayed-rewards were significantly more than that of delayed-no-rewards but there was not any difference between immediate-rewards and immediate-no-rewards. On the other hand, in the high-stressful immediate memory test, immediate-rewards only had a positive effect on memory performance. The results indicated that delayed rewards improved long-term memory performance by promoting memory consolidation and the sensitivity to rewards was higher under the high-stress condition.

Key words : delayed reward, immediate reward, stress, memory consolidation, delay-retention effect

요약

학습자의 학습 스트레스 수준(stress level)과 금전적 보상(monetary rewards)의 제시 시점 차이가 장, 단기 기억 수행에 미치는 영향을 알아보았다. 지연-과지 효과(delay-retention effect)에서는 지연 보상 (delayed reward)이 기억의 공고화(consolidation) 과정을 촉진시켜 결과적으로 장기 기억 수행을 향상시키게 된다고 주장한다. 본 연구에서는 지연 보상과 즉시 보상(immediate reward)이 학습 스트레스가 높고, 낮은 맥락의 차이에 따라 기억 수행에 미치는 영향력이 다를 것이라 예상하였다. 따라서 학습 맥락을 학습 스트레스가 높고, 낮은 두 조건으로 나누고, 보상 조건과 기억의 인출 시점을 구분하여 실험하였다. 보상 조건은 보상 제시 시점(5초 후 제시, 바로 제시)과 보상의 유무(500원, 0원)를 구분하였고, 기억 검사는 바로 인출하는 경우와 기억 공고화 과정을 거치고 일주일 후 인출하는 경우로 나누었다. 실험 결과 지연 보상은 장기 기억에 이점 효과가 있었고, 즉시 보상은 단기 기억에만

* 본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (한국연구재단-2012-0003882 / NRF-2012S1A5A8024689).

† 교신저자 : 한상훈(연세대학교 심리학과)

E-mail : sanghoon.han@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-5436

이점 효과가 나타났다. 이러한 보상의 기억 이점 효과는 스트레스가 높은 학습 맥락에서만 관찰되었다. 본 결과는 학습자가 지각하는 학습 스트레스 수준이 높을수록 보상에 대한 민감도가 높으며, 학습 후 즉시 보상 보다 지연 보상이 기억 공고화 과정에서 기억을 촉진시키는 역할을 수행하여 결과적으로 장기 기억력을 향상시킴을 시사한다.

주제어: 지연 보상 , 즉시 보상 , 스트레스, 기억 공고화, 지연-파지 효과

1. 서론

학습자의 학습 수준 및 집중력이 비슷하다고 가정하고, 동일한 시간을 학습했을 때 학습자 간 기억 수행에 차이가 나타난다면 이는 학습 맥락에 차이가 있었기 때문으로 해석할 수 있다. 아래와 같은 두 가지 다른 학습 맥락이 있다면 어떤 경우 학습한 내용을 더 잘, 그리고 더 오래 기억할 수 있을까?

맥락1: 문제를 틀릴 때마다 용돈이 일정 금액 차감된다. 문제를 맞춘 경우에는 용돈을 일정 금액 추가로 지급 받는다.

맥락2: 문제를 틀릴 경우에는 용돈이 차감되지 않는다. 문제를 맞출 때에만 용돈이 일정 금액 추가된다.

학습 환경의 차이, 특히 얼마나 긴장감이 유발되는 환경에서 학습하였는지의 여부는 학습 성과(기억 향상 및 기억 유지)에 큰 영향을 미칠 수 있다. 또한 학습 시 주어지는 보상도 기억 수행에 영향을 미치는 주요 변수로 작용한다. 특히 금전적 보상과 학습 수행과의 관계에 대한 교육 장면에서의 지대한 관심은 교육 심리학 및 실험 심리 영역에서 보상이 학습에 미치는 영향의 긍정적, 부정적 효과를 밝히려는 다양한 연구들을 진행시켜왔다(Adcock et al., 2006; Kulhavy & Anderson, 1972; Murayama & Kuhbandner, 2011; Smith, 2007).

금전적 보상의 효과에 대한 그동안의 연구들은 대부분 보상이 기억 수행 수준을 향상시킨다고 보고하였다(Adcock, Thangavel, Whitfield Gabrieli, Knutson, & Gabrieli., 2006; Thornton, Boudreau, Griffiths, Woodward, Fawkes-Kirby, & Honer, 2007; Knutson & Adcock, 2005). 최근에는 이러한 행동적 결과의 신경학적 원리를 밝히려는 연구들이 진행되면서 보상이 기억 증진에 미치는 이유를 규명하고자 하는 시도들도 늘어나고 있다. 신경학적으로 우리 뇌에서 학습 및 기억을 담당하고 있는 중추는 해마(hippocampus)인데, 이 영역은 다른 여러 뇌 영역과 긴밀하게 연결되어

기능한다. 특히 보상과 관련해서는 음식을 먹거나, 돈을 받을 때와 같이 인간의 일차, 이차적 욕구가 충족되었을 때 목표 지향적인 행동을 위해 동기가 부여되었을 때 활성화 되는 중뇌변연계(mesolimbic system) 영역과 기능적으로 연결되어 있다(Rossato, Becilaqua, Izquierdo, Medina, & Cammarota, 2009). 금전적 보상이 주어지게 되면 중뇌변연계 영역에서 도파민의 방출량이 늘어나게 되는데, 이 신경전달물질에 의해 조절되는 신경활성화 수준이 기능적으로 연결되어 있는 해마에도 영향을 미쳐 기억 공고화 과정을 촉진시키게 되고 결과적으로 기억 수행이 향상될 수 있다(Duzel, Bunzeck, Guitart-Masip, & Duzel, 2010).

그러나 보상이 모든 경우 기억 증진에 도움이 되는 것은 아니다. 특히, 보상이 어떤 학습물에 주어졌는지, 보상이 주어진 후 학습 내용에 대한 기억 검사가 바로 진행 되었는지, 기억 공고화가 진행되고 며칠 후에 기억 검사가 진행 되었는지 등에 따라서 보상이 기억에 미치는 효과에는 차이가 발생한다(Murayama & Kuhbandner, 2011). 한 예로, Murayama와 Kuhbandner(2011)의 연구에서는 문제를 맞출 때 마다 보상(0.25유로)을 얻을 수 있는 그룹과 보상이 없는 그룹으로 참가자를 나누고, 그들에게 일반 상식 문제를 제시한 후에 그 내용에 대한 기억 검사를 실시하였다.

참가자들은 10초간 상식 퀴즈 문제에 대한 답을 적고, 4초 간 정답을 보는 과정을 반복하며 모든 퀴즈를 다 풀 후에, 바로 우연 학습한 내용에 대한 깜짝 기억 검사(surprise memory test)에 참여하거나, 일주일 후에 깜짝 기억 검사에 참여하였다. 실험 결과, 보상이 주어졌어도 우연 학습 후에 바로 기억 검사를 실시했을 경우에는 보상이 있는 집단과 없는 집단 간 학습 수행에 차이가 나타나지 않았다. 그러나 일주일 후 기억 검사를 한 경우에는 보상에 따른 기억 수행에 차이가 나타났다. 일주일이란 기억 공고화의 시간이 주어진 후 기억 인출을 했을 경우에는 보상이 있었던 그룹이 없었던 그룹보다 기억 수행이 우수하였다. 사후 분석 결과 일주일 후 기억 검사를 실시했을 때, 특히 흥미

도가 낮은 질문에 대한 보상의 기억 증진 효과가 선택적으로 컸던 것으로 밝혀졌다. 즉, 학습 후 기억을 인출하는 시점과 학습물의 질적인 차이에 따라 보상이 기억 수행에 미치는 영향력이 다르게 나타났다.

학습 수행에 보상이 미치는 영향력의 차이는 보상의 제시 시점의 차이에 따라서도 다르게 나타난다 (Smith & Kimball, 2010). 일반적으로 학습 후 즉시 보상(immediate reward)이 주어졌을 때보다 지연 보상(delayed reward)이 주어졌을 때 수행된 기억 검사, 특히 지연 검사(delayed memory test)에서의 기억 수행이 우수한다(Brackbill, Isaacs, & Smelkinson, 1962; Brackbill & Kappy, 1962), 이를 ‘지연-과지 효과(delay-retention effect)’라고 한다(Kulhavy & Anderson, 1972). 대학생, 중등학생을 대상으로 양자택일식 문제를 출제했을 때 지연이 없었던 경우보다 몇 초간 지연 후에 보상이 주어졌을 때 학생들이 학습한 내용을 더 잘 기억하였다(Brackbill, Isaacs, & Smelkinson, 1962; Brackbill & Kappy, 1962). 보상이 지연되어 제시되는 경우에는 그 여분의 시간 동안 학습 내용을 재학습하고 공고화할 수 있는 활성화 기회가 주어진다. 그러나 즉시 보상이 주어지는 경우에는 보상 정보의 처리가 오히려 학습한 내용의 인지적 처리를 방해할 수 있다(예, Butler, Karpicke, & Roediger, 2007; Smith, 2007). 그러나 보상이나 피드백 제시 시점에 대한 효과(feedback timing effect)를 개관한 연구들에서는 위 연구 결과와 반대로 즉시 보상이 지연 보상보다 기억 수행을 높인다는 연구들도 있고, 지연 보상과 즉시 보상 간 차이가 없음을 발견한 연구들도 일부 보고되었다(Smith, 2007). 그러나 이러한 선행 연구들에서 사용한 보상 및 피드백 제시 시점, 학습 내용 및 학습자의 수준은 다양성을 보였다. 보상 및 피드백 제시 시점은 4-8초, 3-6초, 5-10초, 8초 혹은 하루 후에 제시하는 등의 다양한 시간 분포대를 보였고, 제시 방법에서도 각 문항마다 제시하거나 학습 종료 후 전체적인 피드백을 제시하는 등의 실험 방법상의 차이가 존재했다. 학습 내용 및 학습 대상자의 수준도 유치원생에서부터 대학생에 이르기까지 다양했다(Baile, 1970; Kulhavy & Anderson, 1972; Smith & Kimball, 2010; Van Dyke & Newton, 1972). 따라서 선행 연구 결과들만으로는 학습 시, 즉시 보상과 지연 보상이 기억 수행에 차이를 낳는 요인이 무엇이며, 어떤 보상 조건이 학습 수행을 높이는지를 직접 비교하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 학습 내용과 학습자의 수준을 통제된 학습

상황에서 보상 제시 시점에 따른 기억 수행의 차이와 이에 영향을 미치는 학습 맥락 요소를 알아보고자 실험을 계획하였다.

기억 수행에 차이를 유발하는 잠재적 원인에 대해 고려할 수 있는 한 가지 요인은 보상의 양이나 학습 내용의 수준 차이가 아닌 학습 맥락의 차이이다. 특히 학습 시 유발된 학습자의 스트레스에 따라 기억 수행이 달라질 수 있다. 학습 수준과 스트레스 간 상관관계에 대해 살펴본 연구들에서는 흔히 ‘거꾸로 된 U 모델(inverted U model)’로 둘 간의 관계를 설명하는데, 긴장 수준이 아주 낮거나, 높을 때에는 오히려 학습 수행도가 떨어지고, 적당한 긴장 수준을 유지할 때 학습자의 학습 수행도가 가장 우수한 양상을 보인다(Mendl, 1999; Williams, Schott, Guderian, Frey, Heinze, & Duzel, 1993). 스트레스는 보상 민감도에도 직접적인 영향을 미친다. 스트레스가 높은 상황에서 보상이 주어졌을 때 도파민의 양이 크게 늘어나는 것이 관찰되었다(Tidey and Miczek, 1996). 최근에는 복측피개영역(ventral tegmental area, VTA)의 도파민 뉴런이 보상에 관여하는 뉴런과, 스트레스에 관여하는 뉴런으로 구분되어 존재할 것이라는 가능성도 제기되어 이를 확인하기 위한 신경영상 연구를 비롯해, 스트레스와 보상 간 상호작용을 밝히려는 연구들도 다수 진행되고 있다(예, Trainor, 2011).

하지만 그 중요성에도 불구하고 스트레스에 따라 보상이 인간의 행동 특히, 학습 상황에서 인간의 기억 수행 향상에 미치는 영향력을 살펴본 연구 결과는 많지 않다. 특히, 스트레스 상황과 보상 제시 시점을 나누어 스트레스와 보상이 인간의 학습 수행에 미치는 영향력의 차이를 규명한 연구는 진행된 바가 없다. 본 연구에서는 이를 알아보고자 스트레스가 유발되는 상황과 상대적으로 스트레스 및 긴장이 덜 유발되는 상황에서 각각 보상 제시 시점(바로 제시, 지연 후 제시)과 학습 후 기억 인출 시점(바로 인출, 일주일 후 인출)에 차이를 두어 기억 수행 수준을 측정하였다.

본 실험에서는 학습자의 수행에 따라 주어질 수 있는 보상 수준을 조작함으로써 학습 시 유발될 수 있는 스트레스 수준을 조절하였다. 학습 스트레스가 높은 경우에는 문제를 맞출 경우 500원의 보상을 추가로 더 얻어갈 수 있지만, 문제를 틀릴 경우에는 500원이 차감된다고 지시하여 학습 시 긴장감을 높였다. 이와 대조적으로, 학습 스트레스가 낮은 조건에 참여한 그룹은 문제를 틀렸을 때에는 차감되는 보상이 없었

고, 문제를 맞출 때에는 500원의 보상을 추가로 얻어 갈 수 있도록 하였다. 보상의 차감 또는 손실(reward loss)이 발생할 때 사람들은 물리적 고통, 심리적 고통을 느끼는 것처럼 반응한다(Abler, Henrik, & Erk, 2005). 일상생활의 스트레스는 개인적 손실(personal stress)과 밀접히 연관(Papini, Wood, Daniel, & Norris, 2006)되므로 본 실험에서는 보상의 손실 상황이 발생하는 학습 맥락에서 참가자들의 스트레스 수준이 높을 것임을 예상하였다. 보상은 문제에 대한 정답을 확인한 후에 바로 제시(immediate reward)하거나, 5초 후에 제시(delayed reward)하는 경우로 나누었고, 기억 검사 시기는 학습 후 바로 인출(immediate retrieval)하거나 일주일 후에 인출(delayed retrieval)하는 경우로 나누어 실험을 진행하였다.

스트레스 수준이 높은 상황에서 보상 민감도가 증가한다면 전반적으로 보상의 기억 증진 효과는 학습 스트레스가 높은 맥락에서만 관찰될 것이다. 보상 제시 시점과 기억 인출 시점에 따른 기억 수행의 차이는 지연-과지 효과(delayed-retention effect)에 따라 지연 보상은 장기 기억 검사(일주일 후 인출)에서만 기억 이점 효과를 보이고, 이 효과는 바로 기억 검사를 실시했을 경우에는 나타나지 않을 것이라 예상하였다.

2. 실험 방법 및 결과

2.1 사전 설문

본 실험에 앞서 기억 자극으로 사용될 퀴즈 질문의 흥미도에 따른 차후 기억 이점 효과를 통제하고, 실험에 사용할 퀴즈 문항의 정답률 기저선을 알아보고자 선택한 56문항의 퀴즈 질문에 대한 흥미도와 정확률 기저선 측정을 위한 사전설문을 독립적으로 진행하였다.

2.1.1 설문 참가자

연세대학교 학부생 20명이 설문에 참가하였다. 모든 참가자는 한국어를 모국어로 사용하였으며, 설문 참여 후 참여의 대가로 소정의 상품을 지급받았다. 참가자 모집 및 모든 실험 절차는 연세대학교 연구심의 위원회(Departmental Review Committee, DRC)의 승인을 거쳐 진행되었다.

2.1.2 설문 방법

Kang 등(2009)과 온라인 사이트에서 한국 상황에 맞는 일반 상식 문제 총 56문항을 선정하였다. 참가자는 종이에 적힌 질문을 읽고 답을 적은 후에 해당 질문이 얼마나 흥미로운지 1(전혀 흥미롭지 않다) - 7(매우 흥미롭다)점 척도로 응답하였다(별도 첨부 참고).

2.1.3 실험 질문 구성

사전 조사한 퀴즈 질문의 흥미도 설문 결과를 바탕으로 정답률이 높은 순서대로 8문항의 무효 시행(filler trials) 문항을 선정하였다. 본 실험에 사용될 문항들은 정답을 알기 어려운 문항들과 쉬운 무효 시행을 함께 퀴즈의 질문으로 구성함으로써 대학생들의 실험 참여 의욕을 고취시키고자 하였다. 무효 시행을 제외하고 48문항은 평균 흥미도 수준에 따라 고, 중, 저 세 수준으로 16문항씩 나누었고, 각 수준 안에서 실험에 사용할 보상 수준(500원, 0원)과 제시 시점(5초 후, 0초 후 바로)에 따라 네 조건('5초 후 500원 제시(delayed reward)', '5초 후 0원 제시(delayed no reward)', '바로 500원 제시(immediate reward)', '바로 0원 제시(immediate no reward)')에 각각 네 문항씩 무선적으로 할당하여 질문의 흥미도 수준을 통제하였다(Figure 1 참고).

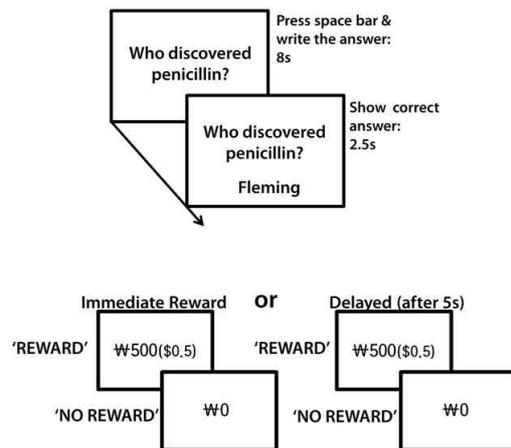


Figure 1

2.2 실험 1A- 높은 학습 스트레스, 지연 기억 검사 실험

실험 1A는 성공적인 학습에 대한 스트레스가 높은 맥락에서 주어지는 보상이 장기 기억 수행에 미치는 영향을 알아보았다. 또한 학습 후 주어지는 보상의 제

시 시점과 보상 유무를 조작하여 학습한 내용을 장기적(일주일)으로 기억하는데 미치는 보상 효과의 시간적 변화를 탐색하였다.

2.2.1 실험 참가자

연세대학교 대학생 및 대학원생 26명이 실험에 참가하였다. 모든 참가자는 한국어를 모국어로 사용하였으며, 실험 참여의 대가로 크레딧 또는 실험 참가비로 도서상품권 1만원권을 지급받았다. 또한 실험 후에 맞춘 퀴즈 개수와 보상 금액을 계산하여 금액에 맞는 상품을 지급하였다. 참가자들은 최대 1만 4천원을 추가로 받을 수 있었고, 받을 수 있는 보상 금액이 없는 참가자들에게도 실험 후 소정의 상품이 지급되었다. 참가자 모집 및 모든 실험 절차는 연세대학교 연구심의위원회의 승인을 거쳐 진행되었다.

2.2.2 실험 자극 및 도구

실험 자극은 Cogent 2000과 Matlab 7.4를 사용하여 컴퓨터 화면에 제시되었다. 화면의 바탕색은 흰 색으로 고정하였고, 퀴즈 문항과 보상 액수는 검정색이었으며 그 외의 안내 문구들은 회색으로 제시되었다. 본 연구의 모든 실험(1A, 1B, 2A, 2B)에서 사용한 실험 자극 및 도구는 동일하였다.

2.2.3 실험 방법

참가자들은 대학생의 일반 상식 수준을 측정하는 실험으로 알고 본 실험에 참가하였으며 기억 검사에 대해서는 사전에 알려주지 않았다. 참가자들은 서로 다른 문항으로 구성된, 시간차를 두고 두 번(당일, 일주일 후)에 걸쳐 진행되는 두 가지 다른 일반 상식 퀴즈 실험에 참여한다고 알고 있었으나 실제 첫 번째 실험에서 참가자들은 퀴즈의 정답을 우연 학습하도록 노출되었고, 일주일 뒤에는 학습한 퀴즈 정답에 대한 기억 검사에 참여하였다.

학습 단계에서 참가자는 화면에 제시된 퀴즈 문항을 읽고, 다 읽은 후에 스페이스 바(space bar)키를 누르면 8초간 정답을 적을 시간이 주어졌다. 주어진 종이에 답을 적은 후 ‘딩동’하는 소리가 들리면 참가자는 다시 화면을 보도록 지시 받았고, 화면에는 2.5초간 정답이 제시되었다. 실험 설명 시, 참가자에게 정답이 제시된다는 것을 미리 알려주어 참가자가 자신이 썼던 답의 내용과 정답을 비교할 수 있도록 하였다. 정답이 제시된 후에는 네 가지 보상 조건 중 한

가지 보상 조건이 화면에 제시되어 정답을 맞춘 경우 얼마를 받을 수 있는지 알려주었다. 참가자는 먼저 화면상으로 제시된 보상을 확인하였고, 모든 실험이 종료된 후에 합산된 보상액을 지급받았다. 보상은 바로 제시되거나 5초 후에 제시되었고, 보상이 있는 조건(500원)과 없는 조건(0원)으로 나뉘었다(Figure 1).

더불어 추가설명을 통해, 각 문항에 할당된 보상액과 독립적으로, 퀴즈의 정답을 맞출 경우에는 문항 당 500원을 추가로 더 지급받고, 틀릴 경우에는 문항 당 500원이 차감된다는 지시를 주었다. 보상을 추가로 받거나 차감될 수 있음을 알려줌으로써 참가자들이 각 문항을 풀 때마다 수행에 대해 더 많은 스트레스를 느끼도록 하였다. 본 연구진이 진행한 보상정보와 처벌정보간 민감도 차이에 대한 별개의 독립적 연구(Shin, Shin, & Han, unpublished data)에서는, 보상과 처벌액수가 동일한 조건에서 처벌에 대한 상대적 부담의 증가로 인하여 오히려 보수적인 반응성향(신호탐지이론 결정준거 지표 c)을 보이는 반응성향이 보고되었다. 실제 기존의 많은 행동경제연구들에서는 보상이 존재함에도 처벌조건에 대해 혐오와 반감, 민감도가 높다는 연구를 보고하였다(예, Tversky & Kahneman, 1981). 이를 토대로 부담조건을 구성하기 위한 보상과 처벌의 액수를 결정하였다. 참가자들은 무효 시행까지 포함하여 총 56문항의 질문을 읽고, 답을 생각해서 적은 후 첫 번째 실험 참여를 마쳤다.

일주일 후 참가자들은 다시 실험에 참여하였고, 깜짝 기억검사를 수행하였다. 앞서 첫째 날에 보았던 56개의 퀴즈문항이 질문만 제시되었고, 참가자는 10초 동안 앞선 퀴즈풀기와 동일한 방법으로 주어진 종이에 정답을 떠올려 적도록 지시를 받았다. 참가자들은 첫째 날 이미 정답을 보았기 때문에, 정답에 대한 기억을 떠올려 답을 작성할 수 있음을 설명하였다. 실험 후 참가자들은 실험에 대한 사후 설문지를 작성하였고, 실험자로부터 실험 목적과 가설에 대한 자세한 설명을 들었다.

2.2.4 실험 결과 및 논의

스트레스가 높은 학습 맥락에서 보상 조건의 차이가 기억 수행에 미치는 영향을 확인하고자 실험 결과 분석 시 참가자가 정답을 미리 알고 학습 단계에서 맞추었던 문항은 제외하고, 새롭게 학습하여 맞춘 문항 수만을 대상으로 결과 분석을 실시하였다. 학습 단계에서 참가자들은 평균 약 8.9개의 정답을 알고 있었

다. Figure 2A는 스트레스의 수준이 높은 맥락에서 학습이 이루어진 뒤, 일주일 후 인출 시 초기 학습 때의 보상 조건(보상 제시 시점과 보상 유무)에 따라 성공적으로 인출된 평균적인 퀴즈 정답의 개수 차이를 보여준다. 학습 후 주어지는 보상 조건의 차이가 장기 기억에 미치는 영향을 알아보기 위해 보상 제시 시점과 보상 유무를 요인으로 하는 2x2 반복 측정 변량 분석(ANOVA)을 실시하였다. 보상 제시 시점($F(1, 25) = 0.012, p = .915, MSe = 3.318$)과 보상 유무($F(1, 25) = 0.49, p = .490, MSe = 2.825$)에 따른 주 효과는 없었고, 보상 제시 시점과 보상 유무 조건들 간 상호작용 효과가 관찰되었다($F(1, 25) = 14.540, p < .005, MSe = 2.074$). 조건 간 차이를 자세히 확인하기 위해 사후 검증을 수행한 결과, 지연 없이 바로 제시된 보상 조건에서는 보상 유무에 따른 기억 수행의 차이가 통계적으로 유의미하지 않았으나($t(25) = -1.75, p = .09$), 5초 후 제시된 지연 보상 조건에서는 보상 유무에 따른 차이가 발견되었다($t(25) = 2.70, p < .005$). 즉, 5초 후 보상이 제시되었을 경우에는 보상이 있었던(500원) 문항에 대한 정답을 보상이 없었던(0원) 문항에 대한 정답보다 더 많이 기억하였다. 학습 스트레스가 높은 상황에서 학습한 내용을 재학습(re-study)시킬 여유 없이 즉시 보상이 주어졌을 경우에는 학습 후 지연 보상이 주어졌을 때와는 다르게 기억 이점 효과가 사라졌다.

본 실험에서 지연 보상이 기억 이점 효과를 보인 것은 보상에 대한 기대감이 도파민 반응을 활성화시켜 기억 수행을 증진시킨다는 선행 연구의 결과와 부합한다. 그러나 즉각 보상은 기억 수행에 도움이 되지 않았는데, 이는 즉각 보상을 본 후 학습자가 보상을 얻지 못했다는 보상의 손실 경험으로 설명될 수 있다. 보상 손실을 경험할 경우 보상에 대한 기대 상황과는 다르게 도파민 뉴런은 활성화 반응이 줄어든다(Delgado et al., 2000; O'Doherty et al., 2001). 물론 지연 보상을 확인한 후 보상 손실을 경험했을 경우에도 위와 같은 손실 경험을 하게 되지만 지연된 시간 동안 미래에 나올 보상에 대해 갖게 되는 기대감이 미리 학습한 내용에 대한 기억 공고화 과정을 촉진시켜 장기 기억 수행에 이점 효과를 나타냈을 수 있다. 그러나 즉시 보상의 경우에는 기억 공고화 시간이 결여되어 있어 보상의 기억 이점 효과가 나타나지 않았을 것이다.

학습자 및 학습 내용을 동일하게 유지했을 때 학습

스트레스 수준에 따라 보상 제시 시점이 기억 수행에 미치는 영향이 다르게 나타나는지 살펴보고자 실험 1B를 진행하였다.

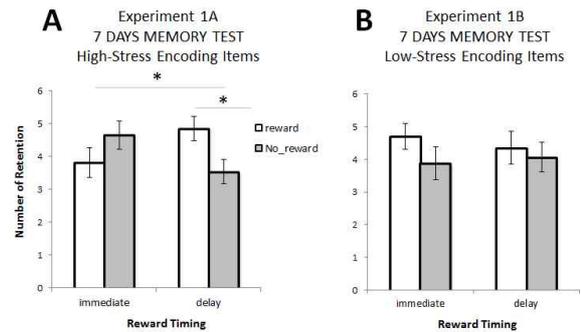


Figure 2

2.3 실험1B - 낮은 학습 스트레스, 지연 기억 검사 실험

실험 1B에서는 스트레스 수준이 낮은 맥락에서 학습 후 주어지는 보상이 제시 시점 및 유무에 따라 장기 기억 수행에 미치는 영향력의 차이를 알아보았다. 만약 다른 조건은 동일하게 유지했을 때 학습 스트레스가 높은 맥락과 낮은 맥락에서 보상에 따른 기억 수행 정도가 다르게 나타난다면 학습 스트레스로 인한 스트레스가 보상이 기억 공고화 과정에 미치는 영향력을 조절하는 변수로 작용한다는 가설을 지지할 수 있을 것으로 보였다.

2.3.1 실험 참가자

연세대학교 대학생 및 대학원생 17명이 실험에 참가하였다. 실험 참가자 모집 기준은 실험 1A와 동일하였다.

2.2.2 실험 방법

실험 1A와 달리 실험 1B에 참여한 참가자들은 문항을 맞출 경우에는 항상 500원을 추가로 받지만, 틀리더라도 차감되는 금액은 없음을 사전에 지시받았다. 이런 조작을 통해 각 퀴즈 문항을 풀 때 참가자가 스트레스를 느끼지 않도록 통제하고자 하였다. 다른 모든 실험 과정은 실험 1A와 동일하였다.

2.2.3 실험 결과 및 논의

학습 단계에서 참가자들은 평균 약 9.4개의 정답을 알고 있었고, 결과 분석 시 각 참가자들이 학습 단계에서 맞추었던 문항 수는 제외하였다. Figure 2B는 스

트레스 수준이 낮은 조건에서 학습이 이루어진 뒤, 일주일 후에 인출 시 문항에 할당된 보상 조건(보상 제시 시점과 보상 유무)에 따라 성공적으로 인출된 정답의 개수를 보여준다. 보상 제시 시점과 보상 유무를 요인으로 하는 2x2 반복 측정 변량 분석을 실시한 결과, 보상 제시 시점($F(1, 16) = 0.029, p = .867, MSe = 4.57$)과 보상 유무($F(1, 16) = 1.492, p = .240, MSe = 3.559$)에 따른 주 효과 및 조건 간 상호작용($F(1, 16) = 0.731, p = .405, MSe = 1.629$)에서 통계적으로 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 바로 제시된 보상 조건과 5초 후 제시된 보상 조건에서 모두 보상 유무에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다($p > .05$). 실험 1A의 결과와 다르게 참가자들은 보상이 부여된 문항의 정답을 더 잘 맞추지 못하였다. 학습 스트레스가 낮은 상황에서는 보상 유무 및 보상 제시 시점에 따른 기억 수행의 차이가 발견되지 않았다. 이는 스트레스가 높은 상황에서 사람들이 보상에 민감하게 반응한다는 선행연구 결과에 부합한다(Tidey and Miczek, 1996). 학습에 대한 긴장감이 없는 상황에서 주어지는 보상은 학습자의 기억 수행 증진에 도움이 되지 않았다. 즉, 학습자의 내적 상태 및 학습 맥락을 고려하여 외부 자극(보상)을 사용해야 학습 효과를 증진시킬 수 있음을 시사한다.

종합하면, 실험 1A와 1B는 학습 스트레스가 높고, 낮은 학습 맥락만 제외하고 모든 조건이 동일하였는데, 실험 결과 두 그룹 모두 학습 후 즉시 보상은 장기적으로는 기억 수행에 도움이 되지 않았다. 그러나 지연 보상은 선택적으로 장기 기억 수행을 향상시키는 결과를 보였는데, 특히 학습 스트레스가 높은 맥락에서 접한 기억 대상에 대해서 수행이 향상되었다. 즉, 지연-과지 효과가 높은 스트레스 학습 맥락에서 나타났다.

이러한 지연-과지 효과는 학습 후 기억 검사를 수행하기까지 지연된 시간 동안 공고화 과정이 활성화되었기 때문으로 해석할 수 있는데(Kulhavy & Anderson, 1972; Schmidt & Zelinsky, 2011), 이를 확인하기 위해, 기억의 공고화 과정 없이 학습 후 바로 기억 인출을 시도할 때의 기억 수행 수준을 알아보고자 아래 실험 2A, 2B를 계획하였다. 지연 보상이 장기 기억의 공고화 과정을 도와 기억 수행을 높이는 작용을 한다면 장기적 공고화 과정 없이 바로 기억 검사를 실시할 경우에는 지연-과지 효과가 나타나지 않을 것이다.

2.4 실험 2A - 높은 학습 스트레스, 지연 없는 기억검사

실험 2A는 학습 스트레스가 높은 맥락에서 학습 후 기억 공고화 과정이 생략되었을 때에도 지연 보상이 기억 향상에 도움을 주는지 알아보기 위해 수행되었다.

2.4.1 실험 참가자

연세대학교 대학생 및 대학원생 16명이 실험에 참가하였다. 실험 참가자 모집 기준은 실험 1A와 동일하였다.

2.4.2 실험 방법

참가자들이 학습 후에 중간 지연, 휴식 없이 바로 기억 검사에 참여한 것 외에 모든 실험 과정은 실험 1A와 동일하였다.

2.4.3 실험 결과 및 논의

학습 단계에서 참가자들은 평균 약 8.2개의 정답을 알고 있었고, 결과 분석 시 각 참가자들이 학습 단계에서 맞추었던 문항 수는 제외하였다. Figure 3A는 스트레스 수준이 높은 조건에서 학습이 이루어진 뒤, 바로 기억 인출 검사를 수행할 때, 보상 조건(보상 제시 시점과 보상 유무)에 따라 성공적으로 인출된 정답의 개수를 보여준다. 학습 후 주어지는 보상 조건의 차이가 단기기억에 미치는 영향을 알아보기 위해 보상 제시 시점과 보상 유무를 요인으로 하는 2x2 반복 측정 변량 분석을 실시하였다.

전체적으로 보상 제시 시점에 관계없이 보상이 있는 조건의 문항의 정답을, 보상이 없는 조건의 문항의 정답보다 더 잘 맞추었다($F(1,15) = 13.158, p < .005, MSe = 1.90$). 그러나 보상 제시 시점의 주 효과($F(1, 15) = 2.495, p = .135, MSe = 2.029$) 및 조건 간 상호작용($F(1, 15) = 0.286, p = .601, MSe = 3.50$)은 발견되지 않았다. 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 세부 조건, 즉, 보상 제시 시점을 구분하여 보상 유무에 따른 차이를 비교해 본 결과, 바로 제시된 보상 조건에서는 보상 유무에 따른 차이가 발견되었으나($t(15) = 2.57, p < .05$), 5초 후 제시된 보상 조건에서는 보상 유무에 따른 차이가 발견되지 않았다($p > .05$).

바로 기억 검사를 시행한 실험 2A에서는 앞선 실험 1A의 결과와 반대로 지연 보상에 대한 기억 향상 효과는 발견되지 않았고, 바로 제시된 보상 조건에서는 보상이 있었던 문항에 대한 정답을 보상이 없었던 문

항에 대한 정답보다 더 잘 맞추었다. 지연 보상은 장기 기억에서만 기억의 이점 효과를 보였는데, 이는 지연-파지 효과에서 지연되어 주어지는 보상은 공고화 과정을 거치면서 기억을 촉진시키는 역할을 하여 장기 기억 향상에 도움을 준다는 가설을 뒷받침해주는 결과라고 할 수 있다. 반면, 바로 제시된 보상은 단기적으로는 주의 집중력을 높여 기억력을 향상시키는 결과를 보였으나, 장기 기억에서는 기억의 공고화 과정을 거치는 동안 기억 촉진에 이득이 되지 않았다.

단기 기억에서도 학습자 및 학습 내용을 동일하게 유지했을 때 학습 스트레스 수준에 따라 보상 제시 시점이 기억 수행에 미치는 영향이 다르게 나타나는지 살펴보고자 실험 2B를 진행하였다.

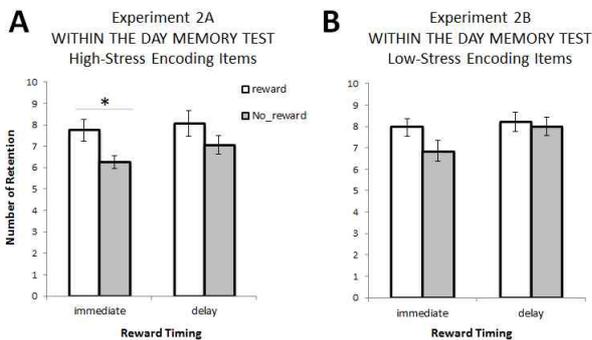


Figure 3

2.5 실험2B - 낮은 학습 스트레스, 지연 없는 기억 검사

앞선 실험 2A와의 비교를 위해, 실험 2B에서는 스트레스 수준이 낮은 학습 맥락에서 학습 후 바로 기억 검사를 수행하였다.

2.5.1 실험 참가자

연세대학교 대학생 및 대학원생 14명이 실험에 참가하였다. 실험 참가자 모집 기준은 실험 1A와 동일하였다.

2.5.2 실험 방법

참가자들이 학습 단계에 참여한 후에 바로 기억 검사에 참여한 것 외에 모든 실험 과정은 실험 1B와 동일하였다.

2.5.3 실험 결과 및 논의

학습 단계에서 참가자들은 평균 약 7.9개의 정답을 알고 있었고, 결과 분석 시 각 참가자들이 학습 단계에서 맞추었던 문항 수는 제외하였다. Figure 3B는 학습 스트레스가 낮은 조건에서 학습이 이루어진 뒤, 바로 인출 시 문항에 할당된 보상 조건(보상 제시 시점과 보상 유무)에 따라 성공적으로 인출된 평균적인 퀴즈 정답의 개수 차이를 보여준다. 통계적 검증을 위해 보상 제시 시점과 보상 유무를 요인으로 하는 2x2 반복 측정 변량 분석을 실시하였다. 학습 스트레스가 동일하게 낮은 실험 1B와 비슷하게 보상 제시 시점 ($F(1, 13) = 2.594, p = .131, MSe = 2.485$)과 보상 유무 ($F(1, 13) = 3.757, p = .075, MSe = 1.716$)에 따른 주 효과 및 조건 간 상호작용 ($F(1, 13) = 1.468, p = .247, MSe = 2.056$)에서 통계적으로 유의미한 차이가 발견되지 않았다. 바로 제시된 보상 조건과 5초 후 제시된 보상 조건에서 모두 보상 유무에 따른 차이가 없었다 ($p > .05$). 바로 제시된 보상 조건에서 보상이 있었던 문항에 대한 기억 이점 효과가 발견되지 않았고, 5초 후 제시된 보상 조건에서도 같은 결과가 관찰되었다. 단기 기억 수행에서도 학습 스트레스가 낮은 상황에서는 보상 유무 및 보상 제시 시점에 따라 기억 수행에서 차이가 발견되지 않았다. 이를 통해 학습자의 긴장감 및 스트레스 수준이 낮을 때에는 외부로부터 자극(본 실험에서는 보상)이 주어졌을 때 그것이 학습 수행 증진에 미치는 영향력이 작을 수 있음을 확인하였다.

스트레스가 높은 학습 조건에서 바로 주어지는 보상의 효과

전반적으로 실험 2의 기억 수행은 실험 1보다 높게 나타났는데, 실험 1은 학습 후 일주일의 시간이 흐른 뒤에 기억 검사를 한 반면, 실험 2는 바로 기억 검사를 수행하여 상대적으로 기억 수준이 높았던 것으로 보인다. 흥미로운 점은, 실험 1과 2 모두 학습 스트레스가 낮은 맥락 (실험 1B, 2B)에서는 보상 조건들 간에 통계적으로 유의미한 차이가 없었던 반면, 학습 스트레스가 높은 맥락이었던 실험 1A와 2A의 보상 조건들은 인출 검사 시기에 따라 기억 수행에 서로 다른 영향을 미치고 있음을 발견하였다. 특히, 바로 주어지는 보상 조건의 경우 검사 시기에 따른 보상 효과가 다르게 나타나는 패턴이 관찰되었고, 이를 통계적으로 확인하기 위해 보상 유무를 독립변인으로 하여 집단(1A, 2A)을 반복 측정하는 변량 분석을 실시하였다.

Figure 4는 일주일 후(실험 1A)와 지연 없는 기억 검사(실험 2A)에서 바로 제시된 보상 조건들 간 평균적으로 맞춘 정답의 개수 차이를 보여준다. 변량분석 시행결과, 조건 간 상호작용 효과가 관찰되었다($F(2, 40) = 9.344, p < .01, MSe = 2.917$). 조건간의 차이를 자세히 확인하기 위해 조건 간 t-test를 수행한 결과, 학습 후 일주일 뒤 기억 검사를 수행했을 경우에는 즉시 보상이 있었던 문항과 없었던 문항 간 맞은 정답의 평균 개수에 차이가 없었지만($t(25) = -1.75, p = .09$), 학습 후 바로 기억 검사를 했을 경우에는 즉시 보상이 주어졌던 문항과 보상이 없었던 문항 간 정답의 개수에서 차이가 발견되었다($t(15) = 2.57, p < .05$). 학습 스트레스가 높은 상황에서 일주일 후에 학습한 내용을 인출했을 경우에는 즉시 보상이 주어졌던 문항의 정답을 더 잘 인출해내지 못한 반면, 바로 인출했을 경우에는 즉시 보상이 주어졌던 문항의 정답을 더 잘 맞추었다. 즉, 학습 스트레스가 높을 때 바로 주어지는 보상은 단기간에는 기억의 이점 효과가 있지만, 장기적으로는 기억에 이득이 되지 않았다. 그러나 지연 보상의 경우에는 오히려 장기 기억에 도움이 되었다.

3. 종합 논의

본 연구는 학습 맥락에서 학습자가 느끼는 학습 스트레스 정도에 따라 보상이 인간의 기억 수행에 미치는 영향력의 차이를 알아보았다. 구체적으로 학습 후 보상을 제시하는 시점(학습 후 바로 제시, 5초 후 제시)과 보상의 유무를 구분하였고, 학습 후 학습한 내용에 대한 기억 인출 시점을 바로 또는 일주일 후로 조정하여 학습 맥락에 따라 보상의 제시 시점 및 보상 유무가 단기, 장기 기억 중 기억에 이점이 되는 경우를 구별하였다.

실험 1A와 2A의 수행 결과를 비교해보면, 스트레스가 높은 맥락에서 학습 후 기억 검사를 일주일 후에 진행했을 경우에만 보상에 따른 지연-과지 효과가 나타났다. 즉, 보상 조건 중에서 지연된 후 보상이 주어졌던 문항에 대한 정답을 즉시 보상이 주어지거나, 보상이 없었던 문항들에 비해 잘 맞추었다. 그러나 학습 후 기억 검사를 바로 진행했을 경우에는 지연 보상에 대한 기억 이점 효과 대신 즉시 보상의 기억 이점 효과가 나타났다. 지연 보상(delayed reward)은 지연된 기억 인출(delayed retrieval) 시에, 바로 주어지는 보상(immediate reward)은 바로 인출(immediate retrieval) 시에 기억 수행에 도움이 되었다. 그러나 이러한 모든 보상의 기억 이점 효과는 학습 스트레스가 높은 맥락(실험 1A, 2A)에서만 관찰되었다.

학습 스트레스가 높은 맥락에서 학습자의 기억 수행은 보상 조건에 따라 민감하게 달라지는 것으로 나타났다. 이는 스트레스가 강하게 유발되는 상황에서 도파민이 강하게 반응한다는 연구 결과(Tidey and Miczek, 1996)와 상응한다. 스트레스가 강하게 유발된 맥락에서 학습을 하게 될 경우 보상이 주어지게 되면 중뇌변연계에서 도파민이 강하게 반응하여 방출량이 늘어나고, 이것이 기능적으로 연결된 기억의 중추인 해마영역에 영향을 미쳐 보상이 주어진 문항에 대한 기억 수행을 높이는 결과를 가져올 수 있다(Adcock, Thangavel, Whitfield Gabrieli, Knutson, & Gabrieli., 2006; Shigemune et al., 2010; Knutson & Adcock, 2005). 그러나 일주일 후 기억 검사를 실시한 경우 즉시 보상은 오히려 기억을 방해한 것처럼 보였다.

이는 두 가지로 설명 가능하다. 첫째, 학습 후 바로 제시된 보상이 기억의 재학습(re-study)을 막았고, 일차적 공고화가 진행되지 않은 학습 내용은 이차적 공고화 과정에서 보상에 대한 기억 이점 효과를 얻기

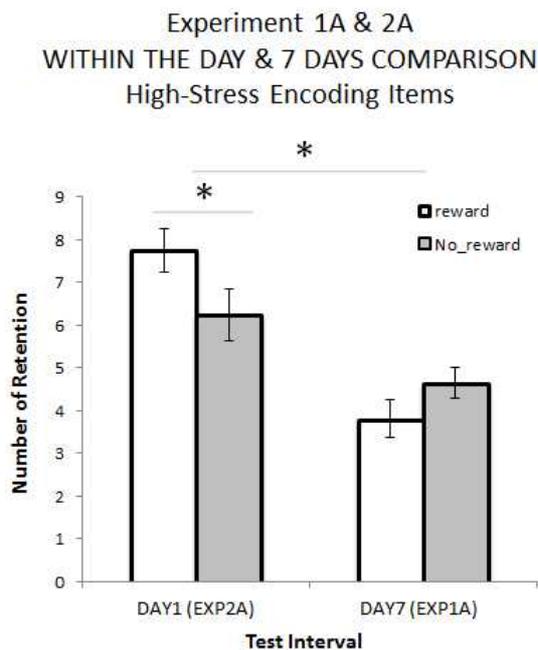


Figure 4

어려울 수 있다는 가능성이다. Schmidt 와 Zelinsky (2011)의 연구에 따르면 어떤 사물을 본 후 바로 그 사물에 대한 시각적 탐색을 할 때보다 약간의 시간이 지연된 후 사물을 찾을 때 더 빠르게 해당 사물을 찾아낼 수 있다. 시각적 학습을 진행한 후 지연된 시간 동안 인간의 머릿속에서는 자동적으로 일차적인 기억의 공고화 과정이 일어나 그 사물에 대한 상이 머릿속에 맏히게 되어 빠른 시각적 탐색이 가능한 것이다 (Schmidt & Zelinsky, 2011).

시각적 학습과 마찬가지로 본 실험에서도 참가자가 문제에 대한 정답을 확인한 후 즉시 보상을 보는 경우에는 일차적인 기억 공고화 과정이 진행되기 힘들다. 일차적 기억 공고화가 진행되지 않은 학습 내용에 대해서는 보통 인간의 수면 시간 동안 발생하는 이차적 기억 공고화 과정에서 보상이 기억의 공고화 과정을 촉진시키는 작용이 생략될 가능성이 있다. 따라서 즉시 보상 조건에서는 보상 유무에 따라 장기 기억 수행에 차이가 없는 것이다. 그러나 이차적 기억 공고화 과정 없이 기억 인출을 할 경우에는 학습 시행 후 바로 주어졌던 보상이 주의 집중 및 감정적 각성 수준을 높여 단기적 기억력을 상승시키는 효과를 일으켰을 수 있다. 선행 연구들에서 학습 시 유발된 감정적 각성 수준과 보상은 단기적 기억 수행을 높일 때 비슷한 역할을 수행함을 보고하였다(Sharot & Phelps, 2004; Sharot & Yonelinas, 2008).

둘째, 학습 후 바로 제시된 보상과 연합된 학습자의 부정적 감정이 기억의 공고화 과정 동안 학습 내용을 대체했을 가능성이 있다. 본 실험에서 참가자들에게 제시한 일반 상식 문제는 맞추기 어려운 문제들로 구성되었다. 따라서 참가자들은 대부분의 문제들을 틀리는 상황이었는데, 이 때 학습 스트레스가 높은 맥락에서 보상이 주어졌을 경우에 참가자는 자신이 원래 받을 수 있었지만 문제를 틀려서 받지 못하게 된 보상과 차감되는 보상에 대한 강한 부정적 감정을 경험할 수 있다. 보상이 지연된 후 제시될 때에는 부정적 감정과 연합되기 전에 지연된 시간 동안 일차적 공고화가 진행될 수 있어 유발된 부정적 감정이 이차적 기억 공고화 과정 동안 학습한 내용에 영향을 미치지 않는다. 또한 각 문항에 배정된 보상에 대한 학습자의 기대감이 오히려 일차적 기억 공고화 과정 동안 기억을 촉진시키는 작용을 했을 수 있다. 그러나 학습 후 즉시 보상이 제시되었을 경우에는 유발된 부정적 감정과 학습 내용이 연합되었을 가능성이 크다. 이렇게

감정적으로 중립적인 학습 내용과 각성 수준이 높은 부정적 감정이 연합되었을 때 기억의 공고화 과정을 거치는 동안 학습 내용에 대한 기억은 열어지고, 부정적 감정에 대한 기억은 강화될 수 있다. 감정적 각성과 기억 공고화에 대한 일련의 실험들을 보면, 부정적 감정, 또는 그 감정 자체를 유발시킨 대상에 대한 기억은 기억의 공고화 과정을 거치면서 더 강하게 기억이 유지되었지만 감정과 연합된 중립적인 아이템 또는 주변 아이템에 대한 기억은 낮아졌다(Mather, 2007). 본 실험에서도 기억의 공고화 과정을 거치는 동안 부정적 감정이 유발되었던 즉시 보상에 대한 기억은 강화되고, 이것과 연합된 학습 내용에 대한 기억은 약해졌을 가능성이 있다.

본 연구는 학습 스트레스 수준과 보상 조건의 차이가 단기 및 장기 기억에 미치는 영향력의 차이를 구분하기 위해 실험을 진행하였다. 단, 본 실험에서는 의도적 학습과 비의도적 학습을 구분하지는 않았는데, 비록 보상이 기억 수행에 미치는 영향력을 본 실험들에서는 의도적 학습과 비의도적 학습에 큰 차이가 없음을 보고(Wittmann, Schott, Guderian, Frey, Heinze, & Duzel, 2005) 하고는 있으나 추후 연구에서는 이 두 가지 학습 방법까지 세분화하여 학습 스트레스 수준과 보상이 기억 수행에 미치는 영향력에 차이가 나타나는지 알아 볼 필요가 있다. 이를 통해 학습 방법에 따라 스트레스 및 보상이 기억 공고화에 미치는 영향력의 차이를 보다 자세히 구분할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Abler B, Walter H, & Erk S (2005). Neural correlates of frustration. *Neuroreport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, 16, 669-672.
- Adcock, R. A., Thangavel, A., Whitfield Gabrieli, S., Knutson, B., & Gabrieli, J. D. E. (2006). Reward-motivated learning: Mesolimbic activation precedes memory formation. *Neuron*, 50, 507 - 517.
- Bailer, W. W. (1970). Effects of temporal position of knowledge of results and difficulty level of material on acquisition and retention. *Dissertation Abstracts International*, 30, 3772A.
- Brackbill, Y., Isaacs, R. B., & Smelkinson, N. (1962).

- Delay of reinforcement and the retention of unfamiliar, meaningless material. *Psychological Reports*, 11, 553 - 554.
- Brackbill, Y. & Kappy, M. S. (1962). Delay of reinforcement and retention. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55, 14 - 18.
- Butler, A. C., Karpicke, J. D., & Roediger, H. L., III. (2007). The effect of type and timing of feedback on learning from multiple-choice tests. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13, 273 - 281.
- Delgado, M.R., Nystrom, L.E., Fissell, C., Noll, D.C., Fiez, J.A., 2000. Tracking the hemodynamic responses to reward and punishment in the striatum. *Journal of Neurophysiology*, 84, 3072 - 3077.
- Duzel, E., Bunzeck, N., Guitart-Masip, M., & Duzel, S. (2010). Novelty related motivation of anticipation and exploration by dopamine(NOMAD): Implications for healthy aging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 660 - 669.
- Mendl M. 1999. Performing under pressure: Stress and cognitive function. *Applied Animal Behaviour Science*, 65, 221 - 244.
- Kang, M. J., Hsu, M., Krajbich, I. M., Loewenstein, G., McClure, S. M., Wang, J. T. Y., et al. (2009). The wick in the candle of learning: Epistemic curiosity activates reward circuitry and enhances memory. *Psychological Science*, 20, 963 - 973.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1984). Choices, values, and frames. *American psychologist*, 39(4), 341.
- Knutson, B. & Adcock, R. A. (2005). Remembrance of rewards past. *Neuron*, 45, 331 - 332.
- Kulhavy, R. W. & Anderson, R. C. (1972). Delay-retention effect with multiple-choice tests. *Journal of Educational Psychology*, 63, 505 - 512.
- Mather, M. (2007). Emotional arousal and memory binding: An object based framework. *Perspectives on Psychological Science*, 2, 33 - 52.
- Murayama, K. & Kuhbandner, C. (2011). Money enhances memory consolidation—but only for boring material. *Cognition*, 119, 120 - 124
- O'Doherty, J., Kringelbach, M.L., Rolls, E.T., Hornak, J., Andrews, C., 2001. Abstract reward and punishment representations in the human orbitofrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 4, 95 - 102.
- Papini, M. R., Wood, M., Daniel, A. M. & Norris, J. N. (2006). Reward loss as psychological pain. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 6, 189-213.
- Rossato, J. I., Bevilacqua, L. R. M., Izquierdo, I., Medina, J. H., & Cammarota, M. (2009). Dopamine controls persistence of long-term memory storage. *Science*, 325, 1017 - 1020.
- Schmidt, J. & Zelinsky, G.J. (2011), Visual search guidance is best after a short delay, *Vision Research*, 51(6), 535-545.
- Sharot, T. & Phelps, E. A. (2004). How emotional arousal modulates memory: Disentangling the effects of attention and retention. *Cognitive Affective Behavioral Neuroscience*, 4, 294 - 306.
- Sharot, T. & Yonelinas, A. P. (2008). Differential time-dependent effects of emotion on the recollective experience and memory for contextual information. *Cognition*, 106, 538 - 547.
- Shigemune, Y., Abe, N., Suzuki, M., Ueno, A., Mori, E., Tashiro, M., et al. (2010). Effects of emotion and reward motivation on neural correlates of episodic memory encoding: A PET study. *Neuroscience Research*, 67, 72 - 79.
- Shin, Y., Shin, J., & Han, S. (2012). Neural correlates of risk sensitivity during high stress mnemonic decision task. unpublished observation.
- Smith, T. A. (2007). *Spacing and the delay-retention effect: An alternative explanation of the effects of feedback timing on semantic learning*. Unpublished master's thesis, University of Texas at Arlington.
- Smith, T. A. & Kimball, D. R. (2010). Learning from feedback: Spacing and the delay - retention effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 36, 80-95.
- Thornton, A. E., Boudreau, V. G., Griffiths, S. Y., Woodward, T. S., Fawkes-Kirby, T., & Honer, W. G. (2007). The impact of monetary reward on memory in schizophrenia spectrum disorder. *Neuropsychology*, 21, 631 - 645.
- Tidey, J.W. & Miczek, K.A., (1996). Social defeat stress selectively alters mesocorticolimbic dopamine

release: an in vivo microdialysis study. *Brain research*, 721, 140 - 149.

Trainor, B.C., (2011). Stress responses and the mesolimbic dopamine system: Social contexts and sex differences, *Hormones and Behavior*, 60, 457 - 469.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453-458.

Van Dyke, B. F., & Newton, J. M. (1972). Computer-assisted instruction: Performance and attitudes. *Journal of Educational Research*, 65(1), 291-293.

Wittmann, B. C., Schott, B. H., Guderian, S., Frey, J. U., Heinze, H. J., & Duzel, E. (2005). Reward-related fMRI activation of dopaminergic midbrain is associated with enhanced hippocampus-dependent long-term memory formation. *Neuron*, 45, 459 - 467.

원고접수: 2012.10.09

수정접수: 2012.12.06

게재확정: 2012.12.18

Appendix 1. 실험에 사용된 상식퀴즈 항목

번호	질문	정답	정답을 알았는가?	질문 흥미도(1점: 전혀 흥미롭지 않음~7 점: 매우 흥미로움)
1	제주도의 유럽식 이름은?	Quelpart	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
2	고대 중국 예술가들에게 그리기 금지 된 여성의 신체 부위는?	발(Her foot)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
3	시드니에서 1927년에 말보다 더 빠른 것으로 관정된 동물은?	캥거루(The Kangaroo)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
4	간식 중 폭발성 다이어마이트에 사용된 재료는?	땅콩(Peanuts)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
5	인간이 노래하는 것 같은 음색을 내도록 고안된 악기는?	바이올린(Violin)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
6	배설물이 고급 비료로 사용 되는 동물은?	박쥐(Bats)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
7	인간 몸에 가장 많이 들어있는 미네랄은?	칼슘(Calcium)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
8	인디아에서 장남이 먼저 결혼해야 하는데 못했을 경우 결혼해야 하는 대상은?	나무(A tree)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
9	인간 외에 화상을 입을 수 있는 동물은?	돼지	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
10	평생3 만개까지 이빨을 가질 수 있는 동물은?	상어	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
11	하와이에서 법으로 여성들은 먹을 수 없도록 금지했던 과일은?	코코넛(The coconut)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
12	코카콜라가 처음 탄생한 도시는?	애틀랜타(Atlanta)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
13	중국에서 재배되는 식물의 20%를 소비하는 업계는?	의료계(Medicine)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
14	척추 동물만 있는 장기 기관은?	간(liver)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
15	미국법원에 유일하게 증인으로 허용되는 동물은?	블러드 하운드(Blood hound)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
16	프랑스 여성 잡지에서 조사된 대부분 여성이 가장 좋아하는 남성의 신체 부위는?	눈(Eyes)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
17	가장 작은 대양(ocean)은?	북극(Arctic)해	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
18	세계에서 가장 많이 쓰이고 있는 인공어(artificial international language)는?	에스페란토(Esperanto)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
19	미국에 있는 모든 학생 나이가 25살 이상인 학교 이름은?	피닉스 대학	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
20	1875년 Daniel Peter가 밀크 초콜릿을 만들도록 도와준 사람은?	헨리 네슬레(Henry Nestle)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
21	도마뱀 중 유일하게 목소리를 가지고 있는 종은?	도마뱀붙이(Gecko)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
22	영국에서 가장 큰 도시는?	버밍햄(Birmingham)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
23	비틀즈 노래 중 미국 차트에 가장 오랫동안 올랐던 곡은?	헤이 주드(Hey Jude)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
24	세계에서 차에 탄 채로 불일을 볼 수 있는 우체국이 있는 도시는?	시카고(Chicago)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
25	일상적인 음식 중 마약 테스트에서 양성반응을 보이는 것은?	포피시드(Poppy seeds)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
26	미국 역대 대통령 중 이름에 세 개의 'A'를 포함하면서 다른 발음이 나는 사람은?	아브라함 링컨(Abraham Lincoln)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
27	서울에 몇 개의 '구'가 있는지?	25구	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
28	쇼팽의 국적은?	폴란드	Y / N	1--2--3--4--5--6--7

29	정치인이 작은 마을에 잠깐씩 머물며 선거 유세 하는 방법을 일컫는 말은?	휘슬-스탑 운동(Whistle-stop campaign)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
30	아카데미 시상식에서 가장 처음 수상한 애니메이션은?	미녀와 야수(Beauty and the Beast)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
31	로마 숫자 C가 나타내는 것은?	숫자 100	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
32	Thomas Edison 이 겪었던 장애는?	청각 장애(Deafness)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
33	미국 방송 Saturday Night Live 코메디 쇼의 첫 MC는?	조지 칼린(George Carlin)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
34	'보물섬'의 주인공 이름으로 후에 패스트 푸드 체인이 된 이것은?	Long John Silver	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
35	미국 식품의약국에서 설사와 경련이 보고되는데도 스탁에 사용하도록 허가한 지방 대체품은?	올레스트라(Olestra)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
36	미국에서 처음으로 동물원이 세워진 도시는?	필라델피아(Philadelphia)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
37	이언(Eon)의 단위는(몇 년)?	1억년(100million years)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
38	화가 엘그레코(El Greco)가 태어난 곳은?	그리스(Greece)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
39	1774년에 Joseph Priesley가 발견한 것은?	산소 (Oxygen)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
40	2세기 발명가인 중국인 CaiLun이 발명한 것은?	종이(Paper)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
41	2000년 동안 자신의 나라에서 삶에 대한 가르침을 전하고 있는 철학자는?	공자(Confucius)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
42	엘비스 프레슬리가 처음 콘서트를 연 년도는?	1954년	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
43	남한의 크기와 비슷한 미국의 도시는?	버지니아주(The US state of Virginia)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
44	서울 지하철이 처음 구축된 년도는?	1970년	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
45	미국 워싱턴DC 주변에 박물관들이 밀집해 있는 곳 이름은?	몰(The Mall)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
46	돌로미티케(Dolomites) 산맥이 있는 곳은?	이탈리아(Italy)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
47	마르코 폴로(Marco Polo)의 고향은?	베니스 (Venice)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
48	세계에서 가장 작은 나무의 종류는?	분재(Bonsai)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
49	세계에서 가장 많이 팔린 책은?	성경(The Bible)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
50	페니실린을 발견한 사람은?	플레밍(Fleming)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
51	호흡 기관(목) 앞쪽에 나비 형체로 생긴 이곳 이름은?	갑상선(The Thyroid)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
52	세계에서 유일하게 소(동물)의 권리 장전이 있는 나라는?	인도(India)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
53	인도에서 가장 큰 도시는?	봄베이 (Bombay)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
54	덴마크의 수도는?	코펜하겐(Copenhagen)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
55	지구를 그 일부분으로 포함하고 있는 은하계의 이름은?	우리 은하(은하수)	Y / N	1--2--3--4--5--6--7
56	스페인과 프랑스 사이에 있는 산맥은?	피레네(Pyrenees) 산맥	Y / N	1--2--3--4--5--6--7