Age-Related Decline in Storage and Processing Components of Working Memory: An Eye-Tracking Study

Seokyoung Choi, Jee Eun Sung

Department of Communication Disorders, Ewha Womans University, Seoul, Korea

Correspondence: Jee Eun Sung, PhD
Department of Communication Disorders,
Ewha Womans University, 52 Ewhayeodae-gil,
Seodamun-gu, Seoul 03760, Korea
Tel: +82-2-3277-2208
Fax: +82-2-3277-2122
E-mail: jeesung@ewha.ac.kr

Received: January 5, 2019

Revised: March 5, 2019

Accepted: March 5, 2019

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (No. NRF-2017R1A2B4006604).

This work was supported by Lee Seung Hwan's Scholarship from the Korean Academy of Speech-Language Pathology and Audiology in 2018.

Objectives: The goal of this study was to explore the age-related decline in the storage and processing components of working memory in dual-tasks (storage trials and processing trials) using eye-tracking. **Methods:** A total of 39 participants participated in this study. Twenty-two participants were in the younger group (age, 21.45 ± 3.14 years) and 17 were in the elderly group (age, 66.94 ± 3.58 years). Storage items were based on a word span task. Processing items were based on a sentence comprehension task. These two trials were performed concurrently. Participants completed storage and processing trials while their eye movements were recorded using an eye-tracking device. Performance on this task was indexed (%) by scoring correct items, and proportion of fixation duration (PFD) by recording eye movement data. **Results:** The results showed that the elderly group demonstrated significantly less accuracy than the younger group on dual-tasks. Also, there was a significant group difference in PFD on processing trials. However, there was no significant group difference in PFD on storage trials. The results suggest that there is a greater age-related decline in processing components in comparison to the storage components of working memory. **Conclusion:** The results of this study suggest that elderly adults have difficulty in processing components; in particular, the eye movement working memory tasks, due to a reduction in resources such as working memory capacity. The sentence complexity of processing trials did not affect the storage trials, and this suggests that the storage and processing functions of working memory have individual resources.

Keywords: Eye-tracking, Storage and processing components, Working memory, Aging

노년층의 비중이 전체 인구의 14%가 넘으면 고령사회(aged society)로 분류된다. 2017년 인구주택총조사에 따르면, 우리나라의 65세 이상 인구 비중은 14.2% (712만 명)로 집계되어 고령사회에 해당된다. 이처럼 급속한 고령화에 대비하여 노화에 따른 언어능력 저하에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 작업기억(working memory)은 노년층의 언어능력에 가장 중요한 인지적 기제이다(Hasher & Zacks, 1988; Salthouse, 1990, 1994). 작업기억은 일시적으로 정보를 저장하고 처리하는 작업공간(work space)이며 제한된 용량(limited capacity)을 가지고 있다. 이러한 작업기억용량(working memory capacity)은 노화에 따라 감소한다고 알려져 있다(Daneman & Merikle, 1996; Hultsch, Hertzog, & Dixon, 1990). 따라서

임상현장에서는 노년층의 작업기억에 대한 체계적인 평가와 작업기억 손상에 따른 특징을 상세하게 파악해야 한다.

노년층의 작업기억 관련 국내연구를 살펴보면, Lee, Kim, Lee, Chung과 Park (2012)의 연구는 연령 집단을 청년, 중년, 노년으로 나누어 한국판 웨슬러 성인용 지능검사(Korean-Wechsler Adult Intelligence Scale; Yeom, Park, Oh, Kim, & Lee, 1992)를 실시하였다. 작업기억 과제의 경우 청년 집단에서 중년 집단까지의 점수가 보존되다가 노년 집단으로 가면서 노화에 따른 감소를 보였다. 연령에 따른 수행력 감소가 특히 노년층에서 두드러짐을 알 수 있었다. Lee (2005)의 연구는 20대부터 80대까지 정상성인 및 노인집단 428명을 대상으로 한국판 기억평가척도(Korean version of Memory

Assessment Scales; Lee, Ahn, & Jung, 1999)를 실시하여 수행을 비교하였다. 단기기억 과제에서는 노인집단이 성인집단과 수행의 차이가 없었지만 작업기억 과제에서 수행이 낮아졌다. 작업기억 과제에서 단기기억 과제에 비해 노화에 따른 손상이 민감하게 드러났다고 해석할 수 있다.

작업기억의 저장기능(storage function)은 청각적으로 입력된 단어, 구, 문장을 기억하는 능력이며, 처리기능(processing function)은 구문을 분석하고 각 문장의 의미를 연결하는 능력이다(Just & Carpenter, 1992). 예를 들어, 읽기폭 과제(reading span task; Danema & Carpenter, 1980)는 일련의 문장을 소리 내어 읽은 후, 각 문장의 마지막 단어를 기억하여 회상하는 과제이다. 읽기폭 과제는 작업기억의 저장과 처리기능을 통합적으로 평가할 수 있기 때문에, 저장기능만을 평가하는 숫자 및 단어기억폭 평가에 비해 언어이해력과 높은 상관을 보인다고 알려져 있다. 국내에서 노년층 대상의 작업기억 과제 연구는 한국 노인의 숫자폭 및 시공간폭 검사 표준화 연구(Song & Choi, 2006), 숫자 및 단어폭 지시하기 과제(Sung, 2011) 등 단일과제(single task)로 구성된 단순 작업기억 과제이다. 작업기억의 하위요소인 저장기능과 처리기능을 모두 측정하여 통합적으로 살펴보는 복합 작업기억 과제에 대한 연구는 복합 작업기억 간편검사 제작을 위한 예비연구(Lim & Choi, 2017)로 요약될 수 있을 만큼 제한적으로 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 선행연구들을 보완 및 확장하여 노년층 대상의 복합 작업기억 과제에 대한 연구가 필요하다. 또한, 노년층이 작업기억 과제에서 낮은 정반응률을 보였다면 그 원인에 대해 실시간으로 저장 및 처리기능의 양상을 파악하는 측정 방식에 대한 논의가 필요하다.

시선추적(eye-tracking)이란 눈의 움직임을 시선추적기(eye-tracker)의 적외선 카메라를 통해 관찰하는 기법이다. 시선추적을 활용한 과제는 언어, 제스처 등의 추가적인 응답이 필요 없기 때문에 자연스러운 언어 처리과정에서 구현될 수 있다. 따라서 복잡한 지시사항에 대한 의존도가 낮으며 실시간으로 인지 처리를 평가할 수 있다. 여러 시선추적 측정치 중 시선고정(fixation)이 일어나는 동안은 고차원의 인지 처리가 이루어질 가능성이 높다(Rayner, 1997). 시선도약(saccade) 중에는 시각적 입력의 민감도가 떨어지기 때문에 새로운 정보는 오직 시선고정을 할 때만 얻을 수 있다(Rayner, 1997). Kane, Bleckley, Conway와 Engle (2001)의 연구에서는 높은 작업기억용량을 가진 대상자가 낮은 작업기억용량을 가진 대상자에 비해 높은 시선고정 정확도(accuracy of fixation)를 보였음을 밝혔다. 시선고정에는 최소 100 ms에서 최대 500 ms 정도의 시간이 소요된다고 한다(Rayner, 1997). 본 연구는 선행연구에 따라 100 ms를 시선고정 단위로 하였다(Ivanova & Hallowell, 2012; Manor

& Gordon, 2003).

작업기억 관련 시선추적 연구를 살펴보면, Ivanova와 Hallowell (2012)의 연구에서 실어증 환자 28명과 정상군 32명을 대상으로 시선추적 기반의 작업기억 과제(eye movement working memory task)를 실시하여 목표 자극에 대한 시선고정비율(proportion of fixation duration, PFD)을 분석하였다. 실험 결과, 실어증 환자가 정상 집단에 비해 시선고정비율이 유의하게 낮았다. 즉, 실어증 환자가 정상 집단에 비해 목표 자극을 적게 바라본 것이다. 추가적으로, 시선고정비율은 언어이해력(Hallowell, Wertz, & Kruse, 2002), 앞서 제시된 자극에 따라 나중에 제시된 자극의 의미적 처리에 영향을 주는 의미적 점화효과(semantic priming effects; Odekar, Hallowell, Kruse, Moates, & Lee, 2009), 시각적 주의력 할당(Heuer & Hallowell, 2009)을 나타내는 데에 타당한 지표임이 드러났다.

본 연구에서는 Ivanova와 Hallowell (2012)의 시선추적 기반의 복합 작업기억 과제를 참고하여 연구도구를 제작하였다. 단어기억폭 과제를 저장 과제(storage trial)로 사용하였고, 문장이해 과제를 처리 과제(processing trial)로 사용하였으며, 두 과제는 일련의 과정으로 동시에 진행되었다. 이를 통해 작업기억의 저장기능과 처리기능의 양상을 연구하고자 한다. 단어기억폭 과제는 저장용량을 측정할 수 있는 대표적인 과제이다. 노년층에서 통사적으로 복잡한 피동문이 능동문에 비해 작업기억용량을 효과적으로 판별할 수 있기 때문에 피동문 처리에 관한 연구결과는 노년층의 작업기억 및 언어 평가에 있어 중요한 기초 자료가 될 수 있다(Sung, 2015). 따라서, 문장이해 과제(처리 과제)의 문장유형을 능동문과 피동문으로 나누어 문장복잡성에 따라 저장 기능과 처리 기능에 차이가 드러나는지 살펴보고자 한다. 연구 질문은 아래와 같다.

첫째, 작업기억의 저장 과제에서 문장복잡성(능동문, 피동문)에 따른 두 집단(청년층, 노년층) 간 정반응률(%) 및 시선고정기간비율(PFD) 차이가 유의한가?

둘째, 작업기억의 처리 과제에서 문장복잡성(능동문, 피동문)에 따른 두 집단(청년층, 노년층) 간 정반응률(%) 및 시선고정기간비율(PFD) 차이가 유의한가?

연구방법

연구대상

본 연구에는 서울 및 인천, 경기 지역에 거주 중인 청년층 22명과 노년층 17명, 총 39명이 참여하였다. 본 연구는 모든 대상자에게 연구의 목적, 실험 내용, 소요 시간, 절차 등에 대한 안내를 진행하고 서명동의를 받았으며, 이화여자대학교 생명윤리위원회의 승인을

Table 1. Demographic information on participants

	Young group (N = 22)	Elderly group (N = 17)
Gender		
Male	4	4
Female	18	13
Age (yr)	21.45 (3.14)	66.94 (3.58)
Education (yr)	13.09 (1.48)	13.12 (2.98)
K-MMSE score	29.55 (.51)	28.29 (1.17)

Values are presented as mean (SD).

K-MMSE = Korean version of Mini-Mental State Examination (Kang, Na, & Hahn, 1997).

받아 진행하였다(IRB No. 164-6). 두 집단은 공통적으로 (1) 건강선별기준(Christensen, Multhaup, Nordstrom, & Voss, 1991)에 근거하여 신경학적 또는 정신적인 병력이나 두뇌손상 병력이 보고되지 않았으며, (2) 언어 및 인지적 신경학적 손상, 발달적 병력이 보고되지 않았으며, (3) 한국판 간이정신상태검사(Korean-Mini Mental State Examination; Kang, Na, & Hahn, 1997) 점수가 연령 및 교육년수에 비해 16%ile 이상으로 정상 범위에 해당하며(Kang, 2006), (4) 교육년수가 9년 이상이며, (5) 자가보고 및 선별검사 과정을 통해 과제를 수행하는 데 필요한 시각 및 청각능력에 문제가 없음이 확인되었고, (6) 폐소공포증이 없으며, (7) 한국어가 모국어인 자로 선정하였다.

노년층은 추가적으로 (1) 서울신경심리검사 2판(Seoul Neuropsychological Screening Battery-II; Kang, Jang, & Na, 2012)의 하위검사인 서울구어학습검사(Seoul Verbal Learning Test)에서 점수가 연령 및 교육년수에 비해 16%ile 이상으로 정상 범위에 해당하며, (2) 자가보고를 통해 일상생활능력을 유지하면서 독립적으로 생활할 수 있는 자로 하였다. 본 연구에 참여한 연령 집단별 대상자 정보는 Table 1에 제시하였다.

집단별 교육년수가 통계적으로 유의한 차이가 있는지 알아보기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 그 결과, 두 집단의 교육년수에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다($F_{(1,37)} = .001, p > .05$).

연구 과제

저장 과제(storage trials)

작업기억의 저장기능을 측정하기 위한 과제로 단어기억폭검사(word span task)를 사용하였다. 작업기억 속에 저장되는 항목의 수는 청킹 전략, 단어의 길이, 단어의 의미에 영향을 받는다는 연구 결과에 따라(Miller, 1956; Schweickert & Boruff, 1986), 이를 배제할 수 있도록 아래와 같이 실험 자극을 제작하였다.

선행연구(Ivanova & Hallowell, 2012)의 방법에 따라 기억폭2에서 6까지의 단어목록을 제작하였다. 자극목록은 (1) Sung (2011)의 연구에서 개발된 단어 거꾸로 지시하기 과제의 단어 기억폭2에서 8까지 중 기억폭7, 8을 제외한 기억폭2에서 6까지의 자극목록을 참고하였다. 또한, (2) 1-2음절의 보통명사이며, (3) 세종 현대문어 말뭉치(National Institute of Korean Language, 2010) 기준으로 빈도수 100 이상의 고빈도 단어를 선정하였고, (4) 각 기억폭 내에서 제시되는 단어의 첫 음소가 동일하지 않도록 하였으며, (5) 기억폭이 2, 3, 4, 5, 6으로 증가함에 따라 단어의 음절수는 3, 5, 6, 8, 9로 증가하도록 하였다. 그 결과, 단어 20개씩 2세트, 총 40개의 단어목록이 선정되었다. 세트별 단어의 빈도수에 차이가 있는지 알아보기 위해 일원배치분산분석을 실시한 결과, 세트별 단어의 빈도수 차이는 유의하지 않았다($F_{(1,38)} = .336, p > .05$).

Sung (2011)의 연구에서 개발된 단어폭 지시하기 과제의 그림을 적용하였으며, 그 외 추가된 단어의 그림은 구글(Google)에서 이미 지 검색을 통해 선별된 선화(line art)를 컴퓨터 프로그램으로 편집하여 기존 그림자극과 크기, 선명도, 밝기, 대비를 동일하게 조정하였다. 방해자극은 각 기억폭에 제시되는 목표자극과 동일한 비율로 제시하였다. 방해자극은 해당 목표자극과 같은 의미범주(semantic category)로 선정하여 의미범주를 통제하였다. 의미범주는 대상 속성 자체에 기인하는 의미자질(예: 크기, 질감 등)인 내재적 특성과 대상 자체의 속성에 기인하지 않는 의미자질(예: 연상적, 상황적 의미 등)인 외재적 특성으로 나누어(Barr & Caplan, 1987), 목표자극과 두 특성 중 하나 이상을 공유하는 단어로 선정하였다. 또한, 하나의 의미범주 내에서 같은 범주의 다른 단어들을 대표하는 전형성(typicality)이 높은 단어로 선정하였다. 또한, 다른 목표자극과 겹치지 않으며, 선화로 표현될 수 있는 단어로 선정하였다. 예를 들어, 기억폭3의 목표자극 ‘사과, 창문, 발’의 방해자극은 각 목표자극에 대응하여, 과일범주인 ‘포도’, 문의 속성을 공유하는 ‘대문’, 신체부위 범주인 ‘손’이다.

자극목록에 대한 타당도를 확인하기 위해, 목표자극과 방해자극의 그림 쌍에 대해 일반 성인 15명을 대상으로 1점(매우 관련 없음)부터 5점(매우 관련 있음)까지 의미적 관련성에 대해 5점 척도로 평가를 실시하고, 3.5점 이상의 의미적 관련이 있다고 보인 목표자극(40개)과 방해자극(40개), 총 80개의 그림을 선정하였다. 또한, 언어병리학과 석사과정에 재학 중인 성인 3명을 대상으로 80개 그림에 대해 대면이름대기 과제를 수행하여 그림이 해당 어휘를 나타내기에 모호하다고 판단된 그림을 교체하였다. 저장 과제의 자극 예시는 Table 2, Figure 1과 같으며 전체자극은 Appendix 1에 제시하였다.

처리 과제(processing trials)

작업기억의 처리기능을 측정하기 위한 과제로 문장-그림일치 과제(sentence-picture matching task)를 사용하였다. 자극목록은 문장이해검사(sentence comprehension test; Sung, 2015)를 기준으로 제작하였다. 문장복잡성을 능동문과 피동문으로 나누어, 20개의 타동사와 타동사에 피동 접미사를 붙여 파생된 피동사 20개를 사용하였다. 명사와 동사의 음절수를 고려하여 문장의 평균길이가 3 어절 및 총 글자수는 13자를 넘지 않도록 하였다. 문장이해검사의 그림자극은 3가지 색상의 캐릭터(노랑이, 파랑이, 검정이)가 픽토그램(pictogram)으로 제시되어 의미하향 처리과정을 최소화할 수 있도록 하였다.

목표그림을 선택할 때 대상자의 우연한 정반응을 최소화하기 위하여 4개의 그림 중 하나를 선택하는 방법을 이용하였다. 제시 화면을 오른쪽-위, 오른쪽-아래, 왼쪽-위, 오른쪽-아래, 총 4분면으로 나누어 동일한 간격으로 그림을 배열하였다. 목표그림의 위치를 고르게 하여 모든 위치를 비슷한 정도로 선택할 수 있도록 하였다. 각

Table 2. An example of storage trials (span 3)

Storage trials	
Target word	apple, window, foot
Foil word	grape, door, hand

Figure 1. An example of storage trials (target words: apple, window, foot).

Table 3. An example of processing trials (span 3)

Sentence	Processing trials		
	Foil-syntactic	Foil-semantic	Foil-syntactic & semantic
The Blue chases the Black	The Black chases the Blue	The Blue hits the Black	The Black hits the Blue
The Yellow buries the Blue	The Blue buries the Yellow	The Yellow pushes the Blue	The Blue pushes the Yellow
The Black shakes the Blue	The Blue shakes the Black	The Black scratches the Blue	The Blue scratches the Black

문항당 문장과 일치하는 목표그림과 방해그림 3개가 제시되었다. 예를 들어, ‘노랑이가 파랑이를 묻다’라는 그림의 목표 그림은 ‘노랑이가 파랑이를 묻고 있는 그림’이다. ‘통사 오류 그림’은 주어와 목적어의 명사가 뒤바뀐 ‘파랑이가 노랑이를 묻고 있는 그림’이며, ‘의미 오류 그림’은 서술어가 바뀐 ‘노랑이가 파랑이를 밀고 있는 그림’이다. ‘의미-통사 오류 그림’은 해당 그림과 의미역도 바뀌고, 서술어도 달라진 그림으로 ‘파랑이가 노랑이를 밀고 있는 그림’이다. 처리 과제의 자극 예시는 Table 3, Figure 2와 같으며 전체자극은 Appendix 2에 제시하였다.

실험자극 배열

Eye tracking solution program의 Experiment Center 3.7을 실행하여 실험자극을 배열하였다. 자극의 제시 순서는 다음의 기준을 따르도록 유사무선배열(quasi random order)하였다. (1) 목표문장 제시 시 행위주(agent)와 피행위주(patient)가 2회 이상 연속적으로 동일하게 제시되지 않도록 하였다. (2) 순서 효과(order effect)가 발생할 가능성이 있어 이를 배제하기 위해, 그림보기에서 목표그림이 한 위치에서 2회 이상 연속적으로 제시되지 않도록 하였다. (3) 순서 효과를 배제하기 위하여 제시되는 자극의 순서를 달리하는 교차균형화(count-balancing)를 실시하였다. (4) Experiment Center 3.7의 random.group 기능을 이용하여 세트 내에서 문항 순서를 랜

Figure 2. An example of processing trials (target sentence: The Yellow buries the Blue).

Figure 3. A display of experimental stimulus (span 2).

덤하게 제시되도록 하였다.

저장 과제와 처리 과제는 동시에 진행되었다. 처리 과제(processing trials)가 먼저 제시된 이후, 단어가 제시된다. 제시된 단어를 잘 기억하고 있다가 저장 과제(storage trials)에서 제시되었던 단어를 모두 고른다. 예를 들어, 기억폭2의 자극 제시 순서는 ‘처리 과제(예: ‘노랑이가 파랑이를 밀다’ 음성 듣고 목표그림 고르기) → 단어제시 (예: ‘집’ 음성 듣고 외우기) → 처리 과제(예: ‘검정이가 노랑이를 물다’ 음성 듣고 목표그림 고르기) → 단어제시(예: ‘거울’ 음성 듣고 외우기) → 저장 과제(예: ‘집, 거울, 학교, 안경’ 그림을 보고 제시되었던 단어 ‘집, 거울의 그림 고르기)’ 순서이다. 실험자극 배열의 예시는 Figure 3에 제시하였다.

연구 도구

음성자극

모든 자극은 소음이 통제된 방에서 성인 여성의 목소리로 녹음되었다. 녹음은 노트북 컴퓨터에 마이크를 연결한 후, 마이크와 입의 간격을 10 cm 두고 억양 및 속도를 동일하게 유지하며 진행되었다. 녹음된 음원은 Praat 프로그램(Boersma & Weenink, 2009)을 사용하여 편집되었다. 잡음을 제거하고 각 어절 사이의 쉼을 동일하게 맞추어 문장의 길이를 음절당 동일하도록 맞추었다. 문장의 속도는 우리나라의 정상 성인의 말속도에 관한 연구(Kwon, Kim, Choi, Na, & Lee, 1998)를 참고하여 초당 음절수(syllable per second)를 2.77(음절/초)로 평균발화 속도를 일치시켰다.

시선추적기

본 연구에 사용된 시선추적기는 SensoMotoric Instruments사의 모니터에 고정하여 사용하는 방식인 Remote Eye-tracking Devices (RED, sampling rate 250 Hz)이다. 기기와 눈의 거리가 일정 영역을 벗어날 경우에 측정이 이루어지지 않기 때문에 대상자의 움직임이 실험에 영향을 끼친다. 이를 보완하기 위해 대상자의 머리를 고정할 수 있는 턱고정대(chin-rest)를 자체 제작하여 사용하였다. 시선추적기와 대상자의 눈 사이의 거리가 60-70 cm를 유지할 수 있도록 고정하여 실험 중에는 절대 고개를 움직이지 않도록 하였다.

연구 절차

모든 대상자에게 개별적으로 인지 및 언어선별검사를 실시한 후, 처리 과제에 사용되는 동사와 해당 동사가 표현된 그림을 이해할 수 있는지 선별검사를 실시하였다. 이후, 대상자가 실험 내용을 숙지할 수 있도록 검사자의 개인용 노트북으로 제작된 실험 안내사항을 통해 절차에 대해 안내하였다. 실제 실험과 동일하게 지시문을 제시하였다(지금 화면을 보세요. 음성을 잘 듣고 음성과 일치하는 그림을 찾아 최대한 빨리 마우스로 눌러주세요. 이후, 들리는 단어를 잘 기억해 주셨다가, 마지막 화면에서 ‘뽀’ 소리가 나면 최대한 빠르게 아까 들었던 단어에 해당하는 그림을 마우스로 눌러주세요. 음성은 딱 한 번 들려드리오니 집중해서 들어주시기 바랍니다. 그림 시작하겠습니다). 연습 시행 과정에서는 연구자가 문장을 다시 들려주거나 대상자의 응답에 대해 피드백을 주었다. 실제 실험이 진행되는 모니터 화면과 마우스 및 키보드 조작에 익숙해질 수

있도록 Experiment Center 3.7에 연습용 문항 세트를 제작하여 총 연습(dry run)을 시행하도록 하였다. 대상자가 연습문항을 통해 실험을 충분히 이해하였다고 판단되면 실험을 진행하였다.

실험은 모든 연구대상자에게 개별적으로 실시하며, 소음과 주의분산 요인을 배제하기 위해 실험실에서 진행하였다. 실험 순서는 ‘보정 및 검증-준비-자극제시-응답’ 단계로 구성되어 있다. (1) ‘보정(calibration) 및 검증(validation) 단계’는 대상자의 시선과 컴퓨터 화면을 시선추적의 허용 범위 내에 해당하도록 각도를 맞추는 과정이다. 보정 및 검증 단계에서 대상자는 검은색 화면에 순차적으로 나타나는 빨간색 9개의 목표점을 눈으로 따라간다. 목표점의 주시 결과가 모두 동공의 최적의 편차 값인 0.5° 이하가 될 때까지 실시하였다(Holmqvist et al., 2011). 한 세트 내에서 기억폭이 늘어날 때마다 누락되는 데이터 없이 시선의 오차 정도를 확인하기 위하여 세트가 시작할 때 실시한다. (2) ‘준비 단계’는 자극과 자극 사이에 제시되는 검은색 바탕에 흰색 ‘+’ 모양의 응시점(fixation cross)이 있는 화면이 제시된다. 자극이 제시되기 전에 대상자의 시선을 화면 가운데로 유도하고 주의를 집중하여 과제 수행 준비를 한다. 이 단계는 대상자가 아무런 반응을 하지 않아도 2,000 ms가 지나면 자동으로 페이지가 넘어간다. (3) ‘자극 제시 단계’는 처리 과제의 경우 음성과 그림이 함께 제시되고, 저장 과제의 경우 음성은 제시되지 않고 재인화면만 제시된다. (4) ‘응답 단계’에서 대상자는 최대한 빠르고 정확하게 오른쪽 손으로는 마우스로 목표자극을 클릭하고 왼손으로는 스페이스 바를 눌러 다음 화면으로 넘어간다. 응답 단계에서는 대상자가 시각적으로 제시된 자극을 바라보며, 반응을 입력하는 동안 눈의 움직임이 실시간으로 추적된다.

자료 분석

정반응률

저장 과제의 정반응률은 선행연구(Ivanova & Hallowell, 2012)의 채점 방식대로 부분점수 방식(partial credit unit scoring; Conway et al., 2005)을 따랐다. 단어 제시 순서는 고려되지 않았으며, 부분점수는 부여하지만 기억폭 간 가중치는 두지 않았다. 예를 들어, 기억폭3에서 3개 단어를 모두 맞히면 1점, 3개 중 1단어만 맞히면 .33점을 부여한다. 저장 과제는 세트1 (문항수 5개), 세트2 (문항수 5개)로 구성되었다. 세트별로 정반응 부분점수 합을 구한 후, 전체 문항수인 5로 나누어 100을 곱하여 계산하였다.

처리 과제는 정반응한 경우 1점, 오반응한 경우 0점으로 계산한다. 능동문 세트(문항수 20개), 피동문 세트(문항수 20개)로 구성되었다. 각 세트별 정반응 문항수를 구한 후, 전체 문항수인 20으로 나누고 100을 곱하여 계산하였다.

시선고정비율

저장 과제와 처리 과제에서 정반응한 문항에 대해 시선고정비율을 분석하였다. 시선고정비율의 관심영역(areas of interest, AOIs)은 각 과제 화면에서 제시되는 목표자극 그림과 방해자극 그림이다. 모든 AOIs 크기는 자극이 제시되는 1,680 × 1,050 (px) 모니터의 가로 18%, 세로 30%의 비율로 동일하게 제시되었다. 시선고정비율은 각 문항별 목표자극 AOIs의 총 시선고정기간을 목표자극과 방해자극 AOIs의 총 시선고정기간의 함으로 나눈 값이다.

정확한 시선추적 분석을 위해 (1) 시선자료수집률(tracking ratio)이 30% 이하인 값(Amso, Haas, Tenenbaum, Markant, & Sheinkopf, 2014), (2) 안구의 X축, Y축의 편차(eye deviation)가 불안정한 값, (3) 총 시선고정기간(total fixation duration)을 추출하였을 때 분석 구간 내에 아무 반응이 기록되지 않은 값, (4) 표준편차(SD)를 구하여 ± 3 SD 범위를 벗어나는 값은 이상값(outlier)으로 처리하여 시선고정비율 분석에서 제외하였다 그 결과, 청년층 22명 중 2명(9.1%), 노년층 17명 중 1명(5.9%)이 탈락되어 총 39명 중 3명(7.69%)이 제외되었다. 탈락한 시선자료수집률의 평균은 34.18% (SD = 8.05)였으며 분석에 사용된 시선자료수집률은 평균 87.89% (SD = 11.62)이다.

통계적 처리

저장 과제 및 처리 과제에서 문장복잡성에 따라 정반응률과 시선고정비율의 집단 간 차이가 유의한지 알아보기 위해 SPSS version 20 프로그램을 사용하여 집단(청년층, 노년층) × 문장복잡성(능동문, 피동문) 이원혼합분산분석(two-way mixed ANOVA)을 실시하였다.

연구결과

작업기억의 저장 과제에서 문장복잡성에 따른 집단 간 차이 정반응률

저장 과제에서 문장복잡성에 따른 청년층과 노년층의 정반응률의 평균과 표준편차는 Table 4와 같다.

Table 4. Descriptive statistics of accuracy (%) of storage trials on the sentence complexity for each group

	Accuracy (%) of storage trials		
	Young group (N = 22)	Elderly group (N = 17)	Avg.
Active sentence	99.44 ± 1.85	91.43 ± 9.54	95.95 ± 7.5
Passive sentence	98.5 ± 2.43	87.29 ± 14.7	93.62 ± 11.22

Values are presented as mean ± SD.

저장 과제에서 문장복잡성에 따른 정반응률의 두 집단 간 차이가 유의한지 분석한 결과, 집단 간 주효과가 통계적으로 유의하였다 ($F_{(1,37)} = 15.167, \eta^2 p = .291, p < .001$). 즉, 노년층의 정반응률($M = 89.36, SE = 1.853$)이 청년층의 정반응률($M = 98.97, SE = 1.629$)보다 유의하게 낮았다. 또한, 문장복잡성에 관한 주효과가 통계적으로 유의하였다 ($F_{(1,37)} = 5.795, \eta^2 p = .135, p < .05$). 즉, 피동문과 함께 제시된 저장 과제의 정반응률($M = 92.897, SE = 1.588$)이 능동문과 함께 제시된 저장 과제의 정반응률($M = 95.435, SE = 1.037$)보다 유의하게 낮았다. 반면, 문장복잡성에 대한 집단 간 이차상호작용은 유의하지 않았다 ($F_{(1,37)} = 2.300, \eta^2 p = .059, p > .05$). 저장 과제에서 연령 차이에 따른 문장유형별 정반응률 도표는 Figure 4과 같다.

시선고정비율

저장 과제에서 문장복잡성에 따른 청년층과 노년층의 시선고정비율의 평균, 표준편차, 최소값, 최대값은 Table 5와 같다.

저장 과제에서 문장복잡성에 따른 시선고정비율의 두 집단 간 차이가 유의한지 분석한 결과, 집단 간 주효과가 통계적으로 유의하지 않았다 ($F_{(1,34)} = .000, \eta^2 p = .000, p > .05$). 문장복잡성에 관한 주효과가 통계적으로 유의하지 않았다 ($F_{(1,34)} = .172, \eta^2 p = .005, p > .05$).

Figure 4. Accuracy of storage trials for each condition in young and elderly groups.

Table 5. Descriptive statistics of PFD of storage trials on the sentence complexity for each group

	PFD of storage trials		
	Young group (N=22)	Elderly group (N=16)	Avg.
Active sentence	.58 ± .10 (.37-.75)	.63 ± .16 (.19-.80)	.61 ± .13 (.19-.80)
Passive sentence	.62 ± .11 (.41-.82)	.57 ± .17 (.15-.83)	.60 ± .14 (.15-.83)

Values are presented as mean ± SD (min-max).
PFD = proportion of fixation duration.

또한, 문장복잡성에 대한 집단 간 상호작용이 유의하지 않았다 ($F_{(1,34)} = 1.998, \eta^2 p = .056, p > .05$). 저장 과제에서 연령 차이에 따른 문장유형별 시선고정비율은 Figure 5와 같다.

작업기억의 처리 과제에서 문장복잡성에 따른 집단 간 차이 정반응률

처리 과제에서 문장복잡성에 따른 청년층과 노년층의 정반응률의 평균과 표준편차는 아래의 Table 6과 같다.

처리 과제에서 문장복잡성에 따른 정반응률의 두 집단 간 차이가 유의한지 분석한 결과, 집단 간 주효과가 통계적으로 유의하였다 ($F_{(1,37)} = 10.283, \eta^2 p = .217, p < .01$). 즉, 노년층의 정반응률($M = 93.09, SE = 1.17$)이 청년층의 정반응률($M = 98.07, SE = 1.03$)보다 유의하게 낮았다. 또한, 문장복잡성에 관한 주효과가 통계적으로 유의하였다 ($F_{(1,37)} = 8.797, \eta^2 p = .192, p < .01$). 즉, 피동문의 정반응률($M = 94.42, SE = 1.00$)이 능동문의 정반응률($M = 96.74, SE = .70$)보다 유의하게 낮았다. 문장복잡성에 대한 집단 간 이차상호작용이 유의하였다 ($F_{(1,37)} = 7.158, \eta^2 p = .162, p < .05$). 즉, 피동문에서 연령에 따른 차이가 능동문에서의 연령에 따른 차이에 비해 유의하게 큰 것으로 나타났다. 이는 피동문에서 노년층의 수행력이 능동문에 비

Figure 5. Proportion of fixation duration (PFD) of storage trials for each condition in young and elderly groups.

Table 6. Descriptive statistics of accuracy (%) of processing trials on the sentence complexity for each group

	Accuracy (%) of processing trials		
	Young group (N=22)	Elderly group (N=17)	Avg.
Active sentence	98.18 ± 2.91	95.29 ± 5.72	96.92 ± 4.53
Passive sentence	97.95 ± 3.67	90.88 ± 8.52	94.87 ± 7.12

Values are presented as mean ± SD.

Figure 6. Accuracy of processing trials for each condition in young and elderly groups.

* $p < .05$.

Figure 7. Proportion of fixation duration (PFD) of processing trials for each condition in young and elderly groups.

Table 7. Descriptive statistics of PFD of processing trials on the sentence complexity for each group

	PFD of processing trials		
	Young group (N=22)	Elderly group (N=16)	Avg.
Active sentence	.49 ± .06 (.41-.66)	.46 ± .09 (.31-.57)	.48 ± .07 (.31-.66)
Passive sentence	.46 ± .08 (.29-.59)	.40 ± .08 (.26-.59)	.43 ± .09 (.26-.59)

Values are presented as mean ± SD (min-max).

PFD = proportion of fixation duration.

해 저하되는 것에 기인한다. 처리 과제에서 문장복잡성에 대한 집단 간 이차상호작용은 Figure 6과 같다.

시선고정비율

처리 과제에서 문장복잡성에 따른 청년층과 노년층의 시선고정비율의 평균, 표준편차, 최소값, 최대값은 Table 7과 같다.

처리 과제에서 문장복잡성에 따른 시선고정비율의 두 집단 간 차이가 유의한지 분석한 결과, 집단 간 주효과가 통계적으로 유의하였다($F_{(1,34)} = 5.498$, $\eta^2 p = .139$, $p < .05$). 즉, 처리 과제에서 노년층의 시선고정비율($M = .432$, $SE = .014$)이 청년층의 시선고정비율($M = .478$, $SE = .013$)보다 유의하게 낮았다. 또한 문장복잡성에 관한 주효과가 통계적으로 유의하였다($F_{(1,34)} = 7.987$, $\eta^2 p = .190$, $p < .01$). 즉, 처리과제에서 피동문의 시선고정비율($M = .432$, $SE = .014$)이 능동문의 시선고정비율($M = .478$, $SE = .012$)보다 유의하게 낮았다. 반면, 문장복잡성에 대한 집단 간 상호작용은 유의하지 않았다($F_{(1,34)} = 1.095$, $\eta^2 p = .031$, $p > .05$). 처리 과제에서 연령 차이에 따른 문장유형별 시선고정비율은 Figure 7과 같다.

논의 및 결론

본 연구는 정상 청년층과 노년층을 대상으로 작업기억의 저장 과제(단어기억폭 과제) 및 처리 과제(문장-그림일치 과제)를 동시에 수행하는 시선추적 기반의 복합 작업기억 과제를 실시하였다. 오프라인 측정(offline measure) 및 실시간 측정(online measure)으로 각각 정반응률과 시선고정비율을 분석하였다. 이를 통해 노화에 따른 작업기억의 저장 및 처리기능의 행동분석뿐만 아니라 실시간 특성을 파악하고자 하였다.

구어(spoken language)를 이해하기 위해서는 청각적 자극을 저장하고 처리할 수 있는 충분한 작업기억용량(working memory capacity)이 필요하다. 작업기억의 저장 과제에서 노년층이 청년층에 비해 적은 단어를 기억해낸 것은 노화에 따른 작업기억용량의 감소에 의해 정보를 비효율적으로 유지한 것으로 해석된다. 또한, 피동문과 함께 제시된 저장 과제의 정반응률이 능동문과 함께 제시된 저장 과제의 정반응률에 비해 유의하게 낮았다. 능동문에 비해 문장구조가 복잡한 피동문에서 저장기능에 할당하는 작업기억용량이 줄어든 것으로 해석된다. 반면, 저장 과제의 시선고정비율에서는 문장복잡성에 따른 차이 및 연령 차이가 유의하지 않았다. 시선고정비율에서 연령에 따른 차이가 없지만 정반응률에서 연령에 따른 차이가 드러난 이유는 저장기능에 중요한 신경 영역의 감퇴에 기인할 가능성이 있을 것이다.

선행연구에 따르면, 단어의 빈도가 높거나 예측가능성이 높을수록 고정기간이 짧았다(McDonald & Shillcock, 2004; Rayner, Warren, Juhasz, & Liversedge, 2004). 본 연구에서 저장 과제의 시선고정비율의 양상에도 이를 적용해보면, 청년층의 경우 피동문에서

능동문에 비해 정답 그림을 처리하는 시간이 더욱 오래 걸렸기 때문에 시선고정비율이 길어진 양상을 보인 것이라고 짐작해 볼 수 있다. 반면, 노년층의 경우 피동문에서 시선고정비율이 짧아진 이유는 빠른 처리로 인한 것이 아니라, 정답 그림만큼 오류 그림을 많이 바라본 것이다. 그 이유는 억제기능이 약화되어 부적절한 정보를 효과적으로 차단하지 못함으로써 기억저하가 나타난 것으로 해석할 수 있다.

처리 과제에서 연령 집단의 주효과는 정반응률, 시선고정비율에서 모두 유의하였다. 즉, 노년층은 청년층에 비해 처리 과제에서 정답 그림을 적게 선택하고, 정답 그림을 고르는 동안 시선추적을 통한 실시간 처리(online processing) 양상에도 연령에 따라 유의한 차이가 나타난다는 것이다. 문장복잡성의 주효과 역시 정반응률, 시선고정비율에서 모두 유의하였다. 즉, 피동문에서 능동문에 비해 정답 그림을 적게 선택하고, 정답 그림을 고르는 동안 시선추적을 통한 실시간 처리 양상에도 문장복잡성에 따라 유의한 차이가 나타난다는 것이다. 노년층이 청년층에 비해 정반응률이 낮은 것은 노년층의 문장이해 정확도가 청년층에 비해 유의하게 낮다는 선행연구(Wingfield, Poon, Lombardi, & Lowe, 1985; Waters & Caplan, 2003)와 일치하는 결과이다. 피동문의 정반응률이 능동문에 비해 유의하게 낮은 것은 명사구의 위치와 의미역(thematic role)이 일치하지 않아 나타나는 피동문의 특징에 기인하여 어려움이 증가하였다고 볼 수 있다. 청년층에 비해 작업기억용량이 감소된 노년층의 경우, 피동문과 같이 인지적 처리 부담을 가중시키는 요소가 더해질 경우 문장 처리과정에서 더 큰 어려움을 보인 것이다. 이는 인지기능의 저하가 정상 범주에 있는 노년층이라 하더라도 젊은 청년층보다 통사적으로 복잡한 문장으로 구성된 이야기의 이해능력이 떨어진다고 보고된 연구결과(Kemper et al., 1993; Kemper, Herman, & Lian, 2003)와도 일맥상통한다고 볼 수 있다. 한편, 오프라인 측정의 경우 노년층이 청년층에 비해 피동문에서 정반응률의 점수의 감소폭 차이가 유의하지만 실시간 측정의 경우 그 감소폭 차이가 유의하게 다르지 않았다. 피동문에서 정반응률의 연령에 따른 차이가 능동문에 비해 유의하게 큰 것은 피동문에서 노년층의 수행력이 능동문에 비해 저하되는 것에 기인한다. 문장복잡성이 노년층의 작업기억의 처리기능에 영향을 주는 요인(fact)이라는 것을 알 수 있다.

본 연구를 통해 드러난 노화에 따른 작업기억의 저장기능 및 처리기능의 특징은 개별적인 자원을 가진다는 점이다. Cowan (1999)에 따르면, 작업기억은 자극의 입력으로 활성화된 기억 부호를 활성화 상태로 보존하는 일을 담당한다. 정보를 처리하는 데 인지적 부담이 늘어나면 그만큼 정보를 보관하는 일에 작업기억을 할애할

수 없게 된다. 따라서 처리 과제의 피동문과 함께 제시된 단어를 기억하는 것이 능동문에 비해 인지적 부담을 준 것이다. 피동문처럼 정보를 처리해야 하는 부담이 커질수록 능동문에 비해 기억폭이 줄어드는 것이다. 저장 과제에서는 나타나지 않았던 시선고정비율의 차이가 처리 과제에서 나타난 이유는 작업기억의 저장기능의 양상과 처리기능의 양상이 다르다는 점을 시사한다. 이는 저장과 처리는 개별적인 자원을 가진다는 국내의 선행연구(Park & Li, 2009)와 일치하는 결과이다. 작업기억의 저장 및 처리기능 중 정보를 저장하는 기능은 노화에 따른 영향을 거의 받지 않으나 처리기능은 노화에 의해 손상되어 나이가 들면서 그 용량이 줄어드는 것을 증명한 결과라고 볼 수 있다. 작업기억 과제의 수행력은 연령이 증가함에 따라 손상이 뚜렷하게 나타나며, 그 손상의 정도는 과제의 인지적 부담이 커짐에 따라 증가하는 반면, 단기 기억폭만을 측정하는 과제에서는 연령 효과가 거의 나타나지 않는다는 선행연구(Bäckman, Small, & Wahlin, 2001)의 결과와도 일치한다.

본 연구의 대상자는 서울 및 경기도 거주 중인 평균연령 21세의 청년층 22명, 평균연령 67세의 노년층 17명의 제한된 데이터로 인해 정상 성인의 데이터로서 일반화하는 데 한계가 따른다. 향후 노화에 따른 작업기억 과제에 대한 심도 있는 연구가 이루어지기 위해서는 다양한 연령대, 학력, 지역의 대상자 수를 확보하여 통계적 분석에 제한이 없어야 할 것이다. 또한, 시선고정비율 분석의 경우 정반응률 문항의 시선고정비율만을 분석하여 결과를 도출하였다. 따라서 분석에 제외되는 인원이 다수 발생하게 되어 정반응률에 비해 더욱 적은 수의 대상자를 분석할 수밖에 없었다. 향후, 더욱 많은 대상자가 참여하는 연구에서는 정반응률 문항과 오반응률 문항의 시선고정비율 차이가 통계적으로 어떠한 차이가 있는지 살펴보는 것도 더욱 깊이 있는 연구가 될 것이다.

본 연구는 현재 정상 성인 및 환자군을 대상으로 개발되어 사용되고 있는 단순 작업기억 과제와 달리, 작업기억 과제 내에서 과제 양식의 전환(modality switch)이 있는 복합 작업기억 과제를 통해 노화에 따른 저장 및 처리기능의 양상을 살펴보았다는 점에서 의의가 있다. 또한, 기존의 작업기억 과제의 수행력을 측정해 오던 오프라인 측정치인 정오반응뿐만 아니라 온라인 측정치인 시선고정비율을 활용함으로써 청년층 및 노년층의 실시간 처리과정을 살펴볼 수 있었다. 향후, 본 연구는 청년층 및 노년층의 데이터를 기반으로 언어 및 인지 손상이 예상되는 성인 대상자를 위한 복합 작업기억 과제 개발에 기여할 수 있을 것이다. 시선추적을 활용한 데이터는 다양한 인지 처리과정에 대한 정보를 제공할 수 있다는 점에서 운동적인 결함으로 인해 기존 작업기억 과제 수행에 어려움이 있던 의사소통장애군 대상의 작업기억 과제 연구에 기여할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Amso, D., Haas, S., Tenenbaum, E., Markant, J., & Sheinkopf, S. J. (2014). Bottom-up attention orienting in young children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(3), 664-673.
- Bäckman, L., Small, B. J., & Wahlin, A. (2001). Aging and memory. In J. E. Birren & K. Warner Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (5th ed., pp. 349-377). San Diego, CA: Academic Press.
- Barr, R. A., & Caplan, L. J. (1987). Category representations and their implications for category structure. *Memory & Cognition*, 15(5), 397-418.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2009). *Praat: doing phonetics by computer* (Version 5.1.05) [Computer program]. Retrieved May 1, 2009.
- Christensen, K. J., Multhaup, K. S., Nordstrom, S., & Voss, K. (1991). A cognitive battery for dementia: development and measurement characteristics. *Psychological Assessment: A Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 3(2), 168-174.
- Conway, A. R., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: a methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(5), 769-786.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-102). New York, NY: Cambridge University Press.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 422-433.
- Hallowell, B., Wertz, R. T., & Kruse, H. (2002). Using eye movement responses to index auditory comprehension: an adaptation of the Revised Token Test. *Aphasiology*, 16(4-6), 587-594.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: a review and a new view. *Psychology of Learning and Motivation*, 22, 193-225.
- Heuer, S., & Hallowell, B. (2009). Visual attention in a multiple-choice task: Influences of image characteristics with and without presentation of a verbal stimulus. *Aphasiology*, 23(3), 351-363.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Hultsch, D. F., Hertzog, C., & Dixon, R. A. (1990). Ability correlates of memory performance in adulthood and aging. *Psychology and Aging*, 5(3), 356-368.
- Ivanova, M. V., & Hallowell, B. (2012). Validity of an eye-tracking method to index working memory in people with and without aphasia. *Aphasiology*, 26(3-4), 556-578.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122-149.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 169-183.
- Kang, Y. (2006). A normative study of the Korean-Mini Mental State Examination (K-MMSE) in the elderly. *Korean Journal of Psychology: General*, 25(2), 1-12.
- Kang, Y., Na, D. L., & Hahn, S. (1997). A validity study on the Korean Mini-Mental State Examination (K-MMSE) in dementia patients. *Journal of the Korean Neurological Association*, 15(2), 300-308.
- Kang, Y., Jang, S. M., & Na, D. L. (2012). *Seoul Neuropsychological Screening Battery* (2nd ed.). Seoul: Human Brain Research & Consulting.
- Kemper, S., Herman, R., & Lian, C. (2003). Age differences in sentence production. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 58(5), P260-P268.
- Kemper, S., LaBarge, E., Ferraro, F. R., Cheung, H., Cheung, H., & Storandt, M. (1993). On the preservation of syntax in Alzheimer's disease: evidence from written sentences. *Archives of Neurology*, 50(1), 81-86.
- Kwon, M., Kim, H., Choi, S. S., Na, D., & Lee, K. H. (1998). A study for analyzing spontaneous speech of Korean adults with CIU scoring system. *Korean Journal of Communication & Disorders*, 3(1), 35-49.
- Lee, H. S. (2005). Is the memory function in old adults really impaired? *Korean Journal of Clinical Psychology*, 24(3), 581-598.
- Lee, H. S., Ahn, C. Y., & Jung, I. K. (1999). A preliminary study on standardization of K-MAS (Korean version of Memory Assessment Scales). *Korean Journal of Clinical Psychology*, 18(1), 221-241.
- Lee, H. W., Kim, S. K., Lee, K. E., Chung, E. J., & Park, J. Y. (2012). The age-related changes in cognitive function. *The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 24(2), 127-148.
- Lim, K. Y., & Choi, A. J. (2017). A preliminary study to develop shortened complex working memory tasks in young normal adults: related to simple working memory tasks. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*,

- 26(1): 47-55.
- Manor, B. R., & Gordon, E. (2003). Defining the temporal threshold for ocular fixation in free-viewing visuocognitive tasks. *Journal of Neuroscience Methods*, 128(1-2), 85-93.
- McDonald, S. A., & Shillcock, R. C. (2004). The potential contribution of preplanned refixations to the preferred viewing location. *Perception & Psychophysics*, 66(6), 1033-1044.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97.
- National Institute of Korean Language. (2010). *Sejong literary language corpus*. Seoul: Author.
- Odekar, A., Hallowell, B., Kruse, H., Moates, D., & Lee, C. Y. (2009). Validity of eye movement methods and indices for capturing semantic (associative) priming effects. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), 31-48.
- Park, H., & Li, H. C. (2009). Domain-specific storage/processing and domain-general cross-domain processing in working memory. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 21(1), 1-21.
- Rayner, K. (1997). Understanding eye movements in reading. *Scientific Studies of Reading*, 1(4), 317-339.
- Rayner, K., Warren, T., Juhasz, B. J., & Livversedge, S. P. (2004). The effect of plausibility on eye movements in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(6), 1290.
- Salthouse, T. A. (1990). Working memory as a processing resource in cognitive aging. *Developmental Review*, 10(1), 101-124.
- Salthouse, T. A. (1994). The aging of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 535-543.
- Schweickert, R., & Boruff, B. (1986). Short-term memory capacity: magic number or magic spell? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12(3), 419-425.
- Song, H. J., & Chey, J. Y. (2006). A normative study of the digit span and the spatial span for the elderly Koreans. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 25(2), 505-532.
- Sung, J. E. (2011). The reliability and validity of short-term and working memory pointing tasks developed for clinical populations with speech and language disorders. *Korean Journal of Communication & Disorders*, 16(2), 185-201.
- Sung, J. E. (2015). Effects of syntactic structure on sentence comprehension ability as a function of the canonicity of word-order and its relation to working memory capacity in Korean-speaking elderly adults. *Communication Sciences & Disorders*, 20(1), 24-33.
- Waters, G. S., & Caplan, D. (2003). The reliability and stability of verbal working memory measures. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35(4), 550-564.
- Wingfield, A., Poon, L. W., Lombardi, L., & Lowe, D. (1985). Speed of processing in normal aging: effects of speech rate, linguistic structure, and processing time. *Journal of Gerontology*, 40(5), 579-585.
- Yeom, T. H., Park, Y. S., Oh, K. J., Kim, J. K., & Lee, Y. H. (1992). *Korean Wechsler Adult Intelligence Scale (K-WAIS)*. Seoul: Guidance Korea.

Appendix 1. 저장 과제 자극목록

기억폭	세트1											
	목표자극						방해자극					
2	집	거울					학교	안경				
3	사과	창문	발				포도	대문	손			
4	맥주	코	열쇠	바지			와인	입	자물쇠	치마		
5	종이	병원	귀	주먹	타		봉투	교회	눈	팔	동상	
6	콩	돈	머리	농부 ¹⁾	총	신발 ¹⁾	마늘	카드	턱	어부	칼	양말

기억폭	세트2											
	목표자극						방해자극					
2	이불	빵 ¹⁾					침대	밥				
3	책	냄비 ¹⁾	허리				신문	주전자	무릎			
4	의자	가방	모자	말			책상	자갑	머리띠	소		
5	시계	닭	칫솔 ¹⁾	날개	별		액자	새	치약	부리	태양	
6	파	모기 ¹⁾	컵 ¹⁾	나무	돼지	빗 ¹⁾	양파	파리	접시	꽃	개	드라이기

¹⁾단어 거꾸로 지시하기 과제(Sung, 2011) 중 기억폭2-6의 기존 자극 외에 추가한 단어.

Appendix 2. 처리 과제 자극목록

능동문 세트	목표 문장	통사 오류 문장	의미 오류 문장	통사-의미 오류 문장
밀다	노랑이가 파랑이를 밀다	파랑이가 노랑이를 밀다	노랑이가 파랑이를 묻다	파랑이가 노랑이를 묻다
물다	검정이가 노랑이를 물다	노랑이가 검정이를 물다	검정이가 노랑이를 베다	노랑이가 검정이를 베다
잡다	파랑이가 검정이를 잡다	검정이가 파랑이를 잡다	파랑이가 검정이를 때리다	검정이가 파랑이를 때리다
묻다	노랑이가 파랑이를 묻다	파랑이가 노랑이를 묻다	노랑이가 파랑이를 꼬집다	파랑이가 노랑이를 꼬집다
흔들다	검정이가 파랑이를 흔들다	파랑이가 검정이를 흔들다	검정이가 파랑이를 굶다	파랑이가 검정이를 굶다
꺾다	파랑이가 검정이를 꺾다	검정이가 파랑이를 꺾다	파랑이가 검정이를 누르다	검정이가 파랑이를 누르다
묶다	검정이가 노랑이를 묶다	노랑이가 검정이를 묶다	검정이가 노랑이를 물다	노랑이가 검정이를 물다
업다	파랑이가 노랑이를 업다	노랑이가 파랑이를 업다	파랑이가 노랑이를 차다	노랑이가 파랑이를 차다
뒤집다	노랑이가 검정이를 뒤집다	검정이가 노랑이를 뒤집다	노랑이가 검정이를 찌르다	검정이가 노랑이를 찌르다
들다	검정이가 노랑이를 들다	노랑이가 검정이를 들다	검정이가 노랑이를 묶다	노랑이가 검정이를 묶다
쫓다	노랑이가 검정이를 쫓다	검정이가 노랑이를 쫓다	노랑이가 검정이를 뒤집다	검정이가 노랑이를 뒤집다
꼬집다	노랑이가 파랑이를 꼬집다	파랑이가 노랑이를 꼬집다	노랑이가 파랑이를 밀다	파랑이가 노랑이를 밀다
끌다	파랑이가 노랑이를 끌다	노랑이가 파랑이를 끌다	파랑이가 노랑이를 업다	노랑이가 파랑이를 업다
굶다	검정이가 파랑이를 굶다	파랑이가 검정이를 굶다	검정이가 파랑이를 밟다	파랑이가 검정이를 밟다
때리다	파랑이가 검정이를 때리다	검정이가 파랑이를 때리다	파랑이가 검정이를 잡다	검정이가 파랑이를 잡다
찌르다	노랑이가 검정이를 찌르다	검정이가 노랑이를 찌르다	노랑이가 검정이를 쫓다	검정이가 노랑이를 쫓다
밟다	검정이가 파랑이를 밟다	파랑이가 검정이를 밟다	검정이가 파랑이를 흔들다	파랑이가 검정이를 흔들다
차다	파랑이가 노랑이를 차다	노랑이가 파랑이를 차다	파랑이가 노랑이를 끌다	노랑이가 파랑이를 끌다
누르다	파랑이가 검정이를 누르다	검정이가 파랑이를 누르다	파랑이가 검정이를 잡다	검정이가 파랑이를 잡다
베다	검정이가 노랑이를 베다	노랑이가 검정이를 베다	검정이가 노랑이를 들다	노랑이가 검정이를 들다

피동문 세트	목표 문장	통사 오류 문장	의미 오류 문장	통사-의미 오류 문장
잡히다	파랑이가 검정이에게 잡히다	검정이가 파랑이에게 잡히다	파랑이가 검정이에게 맞다	검정이가 파랑이에게 맞다
차이다	파랑이가 노랑이에게 차이다	노랑이가 파랑이에게 차이다	파랑이가 노랑이에게 끌리다	노랑이가 파랑이에게 끌리다
쫓기다	노랑이가 검정이에게 쫓기다	검정이가 노랑이에게 쫓기다	노랑이가 검정이에게 찢리다	검정이가 노랑이에게 찢리다
꺾히다	파랑이가 검정이에게 꺾히다	검정이가 파랑이에게 꺾히다	파랑이가 검정이에게 놀리다	검정이가 파랑이에게 놀리다
물리다	검정이가 노랑이에게 물리다	노랑이가 검정이에게 물리다	검정이가 노랑이에게 베이다	노랑이가 검정이에게 베이다
밀리다	노랑이가 파랑이에게 밀리다	파랑이가 노랑이에게 밀리다	노랑이가 파랑이에게 묻히다	파랑이가 노랑이에게 묻히다
밟히다	검정이가 파랑이에게 밟히다	파랑이가 검정이에게 밟히다	검정이가 파랑이에게 흔들리다	파랑이가 검정이에게 흔들리다
놀리다	파랑이가 검정이에게 놀리다	검정이가 파랑이에게 놀리다	파랑이가 검정이에게 꺾히다	검정이가 파랑이에게 꺾히다
꼬집히다	노랑이가 파랑이에게 꼬집히다	파랑이가 노랑이에게 꼬집히다	노랑이가 파랑이에게 밀리다	파랑이가 노랑이에게 밀리다
흔들리다	검정이가 파랑이에게 흔들리다	파랑이가 검정이에게 흔들리다	검정이가 파랑이에게 굶히다	파랑이가 검정이에게 굶히다
업히다	파랑이가 노랑이에게 업히다	노랑이가 파랑이에게 업히다	파랑이가 노랑이에게 차이다	노랑이가 파랑이에게 차이다
뒤집히다	노랑이가 검정이에게 뒤집히다	검정이가 노랑이에게 뒤집히다	노랑이에게 검정이가 닦이다	검정이에게 노랑이가 닦이다
끌리다	파랑이가 노랑이에게 끌리다	노랑이가 파랑이에게 끌리다	파랑이가 노랑이에게 업히다	노랑이가 파랑이에게 업히다
맞다	파랑이가 검정이에게 맞다	검정이가 파랑이에게 맞다	파랑이가 검정이에게 잡히다	검정이가 파랑이에게 잡히다
들리다	검정이가 노랑이에게 들리다	노랑이가 검정이에게 들리다	검정이가 노랑이에게 베이다	노랑이가 검정이에게 베이다
굶히다	검정이가 파랑이에게 굶히다	파랑이가 검정이에게 굶히다	검정이가 파랑이에게 밟히다	파랑이가 검정이에게 밟히다
찢리다	노랑이가 검정이에게 찢리다	검정이가 노랑이에게 찢리다	노랑이가 검정이에게 뒤집히다	검정이가 노랑이에게 뒤집히다
묻히다	노랑이가 파랑이에게 묻히다	파랑이가 노랑이에게 묻히다	노랑이가 파랑이에게 꼬집히다	파랑이가 노랑이에게 꼬집히다
베이다	검정이가 노랑이에게 베이다	노랑이가 검정이에게 베이다	검정이가 노랑이에게 물리다	노랑이가 검정이에게 물리다
닦이다	노랑이에게 검정이가 닦이다	검정이에게 노랑이가 닦이다	노랑이가 검정이에게 쫓기다	검정이가 노랑이에게 쫓기다

국문초록

시선추적을 활용한 청년층과 노년층의 작업기억의 저장 및 처리기능 연구

최서경 · 성지은

이화여자대학교 언어병리학과

배경 및 목적: 본 연구는 시선추적을 활용한 복합 작업기억 과제를 통해 노화에 따른 작업기억의 저장 및 처리기능의 손상에 대해 알아 보고자 하였다. **방법:** 청년층 22명(평균연령 21.45세)과 노년층 17명(평균연령 66.94세), 총 39명이 실험에 참여하였다. 복합 작업기억 과제의 하위 과제로 저장 과제(단어기억폭 과제)와 처리 과제(문장이해 과제)를 시선추적 패러다임에 맞게 수정하여 실시하였다. 자료 분석은 정반응률과 시선고정비율을 사용하였다. **결과:** 두 과제 모두 노년층의 정반응률이 청년층에 비해 유의하게 낮았으며, 문장복잡성에 따른 차이가 유의하여 피동문의 정반응률이 능동문에 비해 유의하게 낮았다. 처리 과제의 정반응률에서 집단과 문장복잡성의 이차상호작용이 유의하여, 피동문에서 연령에 따른 감소폭 차이가 능동문에 비해 유의하게 큰 것으로 나타났다. 저장 과제의 시선고정비율에서는 유의한 차이가 드러나지 않았다. 반면, 처리 과제의 시선고정비율에서 노년층의 시선고정비율이 청년층에 비해 유의하게 낮고, 피동문의 시선고정비율이 능동문에 비해 유의하게 낮았다. **논의 및 결론:** 노년층의 정반응률이 청년층에 비해 유의하게 낮은 이유는 노년층이 감소된 작업기억용량으로 인해 비효율적인 처리를 했기 때문이라고 예상해 볼 수 있다. 작업기억의 처리기능이 저장기능에 비해 노화에 따른 작업기억 용량의 감소를 더욱 민감하게 증명하였으며, 이는 실시간 측정치인 시선고정비율에서도 드러났다. 처리 과제와 저장 과제의 시선고정비율 양상이 다른 것은 작업기억의 저장기능과 처리기능은 개별적인 자원을 가진다는 것을 시사한다.

핵심어: 시선추적, 저장 및 처리기능, 작업기억, 노화

본 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2017R1A2B4006604).

본 논문은 2018년 한국어언어청각임상학회 이송환장학금 지원에 의한 연구임.

참고문헌

- 강연옥(2006). K-MMSE (Korean-Mini Mental State Examination)의 노인 기준 연구. *한국심리학회지: 일반*, 25(2), 1-12.
- 강연옥, 나덕렬, 한승혜(1997). 치매환자들을 대상으로 한 K-MMSE의 타당도연구. *대한신경과학회지*, 15(2), 300-308.
- 강연옥, 장승민, 나덕렬(2012). *서울신경심리검사 2판*. 서울: 휴브알앤씨.
- 국립국어원(2010). *세종 현대문어 말뭉치*. 서울: 국립국어원.
- 권미선, 김향희, 최상숙, 나덕렬, 이광호(1998). 한국 성인의 자발화 분석에 관한 연구. *언어청각장애연구*, 3(1), 35-49.
- 박찬흠, 이형철(2009). 작업기억에서의 영역 제한적인 저장 및 처리와 영역 일반적인 영역간 처리. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 21(1), 1-21.
- 성지은(2011). 말언어장애군의 단기기억 및 작업기억용량 측정을 위한지시하과제 개발 예비 연구: 재검사 신뢰도 및 타당도. *언어청각장애연구*, 16(2), 185-201.
- 성지은(2015). 한국어 어순 규범성과 문장유형이 노년층 문장이해능력에 미치는 영향 및 작업기억용량과의 관계. *Communication Sciences & Disorders*, 20(1), 24-33.
- 송호정, 최진영(2006). 한국 노인의 숫자폭 및 시공간폭 검사 표준화 연구. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 25(2), 505-532.
- 염태호, 박영숙, 오경자, 김정규, 이영호(1992). *한국판 웨슬러 성인용 지능 검사(K-WAIS): 실시 요강*. 서울: 한국가이던스.
- 이현수(2005). 노인의 기억은 정말로 떨어지는가? *Korean Journal of Clinical Psychology*, 24(3), 581-598.
- 이현수, 안창일, 정인파(1999). K-MAS (Korean version of Memory Assessment Scales) 표준화 예비 연구. *Korean Journal of Clinical Psychology*, 18(1), 221-241.
- 이혜원, 김선경, 이고은, 정유진, 박지운(2012). 연령에 따른 인지 변화 양상. *한국심리학회지: 인지 및 생물*, 24(2), 127-148.
- 임경열, 최예지(2017). 복합 작업기억 간편검사 제작을 위한 예비연구: 단순 작업기억과의 상관. *언어치료연구*, 26, 47-55.

ORCID

최서경(<http://orcid.org/0000-0003-3781-4545>); 성지은(<http://orcid.org/0000-0002-1734-0058>)