Factors Affecting the Auditory Working Memory of the Elderly

KyooSang Kim¹, Jae Hee Lee², Junghwa Bahng²

¹Department of Occupational and Environmental Medicine, Seoul Medical Center, Seoul, Korea

²Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

Received: December 3, 2020

Revised: January 11, 2021

Accepted: January 13, 2021

Correspondence:

KyooSang Kim, MD
Department of Occupational and
Environmental Medicine,
Seoul Medical Center,
156 Sinnae-ro, Jungnang-gu,
Seoul 02053, Korea
Tel: +82-2-2276-8667
Fax: +82-2-2276-7438
E-mail: kyoosang@daum.net

Purpose: Working memory is a major factor in language processing but, together with communication skills, it may become diminished during aging. This study was designed to determine individual differences in working memory in an elderly population according to auditory factors. **Methods:** Individuals older than 60 years of age and living in Seoul, Korea, were administered auditory, cognitive function, and working memory tests. Cognitive function was measured using the Korean version of Mini-Mental State Examination. **Results:** Working memory scored significantly higher as the average hearing and high-pitched hearing thresholds were better. As a result of multiple regression analysis, the factors that significantly affected working memory were average hearing threshold, high-frequency hearing threshold, cognitive function, and educational background. **Conclusion:** It can be seen that working memory is a problem of cognitive function and hearing threshold rather than the age of the elderly group. Cognitive function in the elderly group is complex with educational background, but is an independent factor with hearing, and is considered to be the main factor influencing working memory in relation to speech recognition.

Key Words: Aging, Cognitive function, Hearing, Working memory.

INTRODUCTION

의학의 발달과 함께 인간의 수명이 점차 증가함에 따라서 노인 인구가 차지하는 비율이 갈수록 증가하고 있다. 우리나라는 이미 2000년에 65세 이상의 노인 인구가 전체 인구의 7.3%를 차지함으로써 고령화사회(aging society), 2018년에 65세 이상의 인구가 14.3%에 이르러 고령사회가 되어 다른 어느 나라보다도 빠르게 고령화가 진행되고 있으며, 2025년에는 20%를 넘는 초 고령사회로 진입할 것으로 예상된다.

사회가 고령화됨에 따라 노인 인구의 건강에 대한 관심이 증폭하고 있다. 난청은 노인에게 있어서 3번째로 많이 나타나는 문제이다. 노화에 따른 청력의 변화는 청년 집단에 비해 노인 집단에서 확연한 차이를 보이고, 이러한 변화는 언어인지력의 차이로 나타난다(Dubno et al., 1997; Plomp & Mimpen, 1979). 노인의 언어인지에 대한 어려움은 청년과는 달리 그 정도가 크고, 일상생활의 의사소통에도 영향을 미쳐 노인의 가족과의 관계 및 사회적으로도 고립될 수 있는 원인이 될 수 있다. 시간이 지날수록 노화로 인하여 말초청각뿐만 아니라 중추청각 처리

능력도 저하되기 때문에 언어인지와 관련된 여러 문제가 발생한다(Humes, 1996; Pichora-Fuller & Singh, 2006). 노인의 어음역의 청력저하와 더불어 특징적인 고음역의 더 큰 청력손실은 특히 불리한 청취 조건에서 말을 이해하는 데 어려움을 겪고 작업기억(working memory)과 같은 실행 기능에 영향을 미친다(Rosemann & Thiel, 2020).

작업기억은 주어진 정보를 일시적으로 저장하여 과제를 수행하기 위한 인지적 능력(Baddeley, 1986; Daneman & Carpenter, 1980; Montgomery, 1995)으로 의사소통 능력과 관련이 깊으며(Cleary et al., 2001; Pisoni, 2000; Pisoni & Cleary, 2003), 구체적으로 새로운 정보들을 이미 알고 있는 자신의 기억이나 청력 등을 통하여 장기기억으로 가기 전 일시적으로 저장하게 되는 과정과 관련된 능력을 일컫는다(Geers et al., 2000). 작업 기억은 인간이 즉각적으로 환경을 이해하고, 심리적으로 표상하도록 하며, 과거의 경험에 관한 정보를 보유하게 한다. 또한 새로운 지식 습득, 문제 해결, 목표 구성 등에도 영향을 미친다(Baddeley et al., 2001).

작업기억은 크게 시공간 스케치판(visuospatial sketchpad)과 음운회로(phonological loop)의 두 체계가 있다. 음운회로는 청각적 정보를 유지하고 처리하는 역할을 하는 청각각 저장소(auditory sensory store)로 작업기억을 활성화시키는 중요한 역

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

할을 한다. 청각학적 분야와 관련이 깊은 음운회로는 작업기억의 하위체계로 기억체계가 말(speech)에 기초해 있으며, 외부에서 오는 정보 중 감각저장소에 입력된 정보는 중간 단계의 단기 기억으로 들어가서 암송되어야만 장기기억으로 저장된다. 그러나 단기기억에 저장할 수 있는 정보의 용량에는 한계가 있는데, 그 용량은 기억폭(memory span)으로 즉각적으로 반복할 수 있는 정보의 수를 말한다. 기억폭 측정에는 숫자 폭(digit span), 단어 폭(word span), 문장 폭(listening span) 등 청각-언어적 처리과정과 관련한 작업기억 과제를 청각적으로 제시하여 측정할 수 있다.

이처럼 작업기억은 정보의 임시저장 및 조작의 기초가 되며 인지 및 일상생활의 여러 측면에서 중요하다. 노년의 작업기억은 나이가 들면서 감소하나 모든 종류의 정보에 대해 똑같이 발생하든지 아니면 특정 유형의 정보에 대해 더 두드러지는지 논란이 있다. 고령자의 작업기억은 복잡성이 낮은 작업에 비해 고도로 복잡한 언어 작업에서 더 낮은 경향을 보인다(Hernandez-Ramos & Cansino, 2011). 청각처리 과정에서 노인의 기능 저하는 부분적으로 작업기억 기능에 기인할 수 있으며 결과적으로 인지 저하 때문일 수 있다. 경증에서 중증도의 청력손실은 소음 속의 말하기와 같은 특정 청각처리 작업의 수행에 영향을 미치는 것으로 보이며 노인의 청각처리 장애가 청각의 말초 결손과 관련될 수 있다(Murphy et al., 2018).

작업기억은 노인 인구집단에서 청각과 인지기능의 영향으로 저하되며, 작업기능과 관련한 인지기능은 연령, 학력 등과 상호작용을 한다. 특히 언어성(verbal) 작업기억은 청각처리 과정에서 청력의 영향을 받는다고 할 수 있다.

이 연구는 60~80세 이상의 노인 인구집단을 대상으로 언어성 자극을 제시하여 수행한 작업기억 실태, 그리고 개인의 성, 연령, 교육 및 인지기능 특성과 평균 청력 및 고음역의 청력역치 등의 청각학적 요인에 따른 작업기억 차이와 이에 영향을 미치는 요인을 보고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

이 연구는 만 60세 이상 연령의 일부 지역주민 대상자의 청력과 작업기억을 측정하여 그 실태와 관련성을 보고자 하였다. 지역주민은 서울시 강남지역의 노인복지센터를 통해 모집하여 이 연구에 대한 설명과 동의를 얻어 실시하였다. 60세 이상의 111명 지역주민 중 치매 선별검사로써 Korean version of Mini-Mental State Examination (MMSE-K) (Kwon & Park, 1989)을 통해 선별된 109명을 대상으로 하였다. 모든 대상자의 이과적 병력은 없었다.

연구 방법

순음청력검사(Pure tone audiometry)

순음청력검사는 전기음향학적 보정을 실시한 청력검사기(GSI 61; Grason-Stadler, Eden Prairie, MN, USA)를 통하여 진행하였다. 순음청력검사를 포함하여 이 연구를 위한 실험 모두 이중 방음실에서 실시하였다.

순음청력검사는 헤드폰(TDH-39; Telephonics, Farmingdale, NY, USA)을 사용하여 측정하는 기도검사(air conduction)로 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz의 주파수에서 수정상승법을 이용하여 5 dB 간격으로 강도를 조정하여 역치를 측정하였다. 대상자가 보장구를 착용하고 있는 경우는 보장구를 착용하고 있지 않은 상태에서 순음청력검사를 실시하였다.

평균 청력은 500, 1,000, 2,000 Hz의 순음 청력의 3분법 평균으로, 고음 청력역치는 4,000 Hz와 8,000 Hz의 2분법 평균으로 산출하였으며, 청력의 중증도는 각각 ≤ 25 , $>25 \sim \leq 40$, >40 dBHL로 구분하였다.

작업기억 검사

이 연구에서는 숫자 폭, 단어 폭, 문장 폭의 청각학적으로 제시한 언어성 작업기억 검사를 시행하였다. 이 연구에서 사용한 검사 자극음의 선택 및 제작은 Choi et al.(2015)의 연구 절차에 따라 시행하였다.

숫자 폭 작업기억

숫자 폭 작업기억 과제에는 한국어 숫자 1~9까지 단음절(일, 이, 삼, 사, 오, 육, 칠, 팔, 구)을 사용하였다. 순방향 숫자 폭 작업기억 과제는 무작위로 구성된 숫자가 제시되면 들었던 순서대로 기억하는 것이고, 역방향 숫자 폭 작업기억 과제는 들었던 순서의 역순으로 기억하는 것이다. 순방향 숫자 폭(digit forward span) 작업기억 과제는 무작위로 구성된 1~9의 숫자를 사용하여, 초당 약 숫자 하나의 속도로 제시된 일련의 숫자를 청자가 순서대로 회상한다. 2폭(숫자 2개)에서 시작하여 최대 12폭(숫자 12개)까지 점차 늘려간다. 해당 차수당 총 3회를 실시하여 2회 이상 성공하면 청자의 숫자 폭으로 정하였다. 역방향 숫자 폭(digit backward span)은 제시된 일련의 숫자를 청자가 거꾸로 회상한다. 2폭(숫자 2개)에서 시작하여 최대 10폭(숫자 10개)까지 점차 늘려간다. 해당 차수당 총 3회를 실시하여 2회 이상 성공하면 청자의 숫자 폭으로 정하였다.

단어 폭 작업기억

단어 폭 작업기억 과제에는 Korean standard bisyllabic word list for adults (KS-BWL-A)의 2음절 36개 단어를 사용하였다

(Cho et al., 2008). 단어 폭 작업기억 과제는 KS-BWL-A의 무작위로 구성된 이음질 단어를 사용하여, 초당 약 단어 하나의 속도로 제시된 일련의 단어를 청자가 순서대로 회상한다. 2폭(단어 2개)에서 시작하여 최대 7폭(단어 7개)까지 점차 늘려간다. 해당 차수당 총 3회를 실시하여 2회 이상 성공하면 청자의 단어폭으로 정하였다.

문장 폭 작업기억

문장 폭 작업기억 과제에는 읽기 폭(reading span) 측정을 위한 작업기억의 용량을 측정한 선행연구(Daneman & Carpenter, 1980)가 개발하고, Lee(2002)가 번역하고 사용한 문장을 사용하였다.

문장 폭 작업기억 과제는 무작위로 구성된 문장이 제시되면 들었던 문장의 마지막 단어를 기억하는 것이다. 2폭(문장 2개)에서 시작하여 최대 6폭(문장 6개)까지 점차 늘려간다. 앞의 작업기억 과제와는 달리 문장 폭 작업기억은 비교적 어려운 과제란 점을 고려하여 피검자의 변별력을 높이기 위하여 세 번 중 한 번이라도 성공 시, 0.5를 피검자의 폭에 가산하였다.

인지기능검사

Mini-Mental State Examination (MMSE)은 치매 선별도구로서 전 세계적으로 널리 사용되고 있으며(Folstein et al., 1975) 우리나라에서도 한국판 MMSE가 개발되어 임상과 지역사회에서 사용되고 있다. MMSE는 다양한 인지기능들을 5~10분 정도의 짧은 시간에 측정할 수 있도록 고안된 검사로서 심하거나 중간 정도의 수준으로 진행된 치매를 탐지하는 데 있어 그 신뢰도와 타당도가 입증되었다. 이 연구에서는 MMSE-K (Kwon & Park, 1989)의 치매 진단의 절단 점수 24점을 적용하여 24점 이하군은 연구 대상에서 제외하고, 연구 대상자의 인지기능의 점수 분포를 4분위로 구분하여 작업기억 수행능력을 살펴보았다.

통계 분석

통계 프로그램은 SPSS 프로그램(Ver 20.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였다. 60세 이상의 노인 인구집단의 연구 대상자의 일반적 특성(성, 연령, 교육), 작업기억, 평균 청력 및 고음 청력 등의 청각학적 평가와 인지기능 평가(MMSE-K)를 수행하여 각각에 대한 기술 통계량을 제시하고, 일반적 특성과 청력역치 및 인지기능 점수에 따른 작업기억 과제 수행 능력을 비교하기 위하여 독립표본 T-검정과 일원배치 분산분석(analysis of variance)을 하였다. 또 남/여 성별 각각 독립적으로 연령, 학력, 인지기능 평균 청력과 고음 청력역치에 따른 작업기억(순방향 숫자 폭, 역방향 숫자 폭, 단어 폭, 문장 폭)을 비교하여 그림으로 제시하였다. 그리고 작업기억에 영향

을 미치는 요인을 보기 위해 성, 연령, 학력, 인지기능 및 평균 청력과 고음역의 청력역치만을 독립변인으로 포함하여 다중회귀분석을 실시하였다. 독립변수는 단계선택을 통해 유의한 변수로 모형화하였다. 유의확률이 $p < 0.05$ 인 경우에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 제시하였다.

RESULTS

이 연구의 대상은 60세 이상의 109명의 지역주민으로 남성 25명(22.9%), 여성 84명(77.1%), 60대 56명(51.4%), 70대 45명(41.3%), 80대 8명(7.3%)으로 구성되었다. 학력은 중졸 이하가 26명(23.9%), 고졸 44명(40.4%), 대졸 이상이 39명(35.8%)이었으며, 좋은 쪽 귀를 기준으로 평균 청력은 정상(25 dBHL 이하) 78명(71.6%), 경도 난청(25~40 dBHL)이 22명(20.2%), 중도 난청(40 dBHL 초과)이 9명(8.3%)이었으며, 고음 청력역치는 정상 30명(27.5%), 경도 난청이 29명(26.6%), 중도 난청이 50명(45.9%)이었다(Table 1).

연구 대상자의 평균(표준편차) 연령은 69.61(5.67)세, MMSE-K 평균값은 28.61(1.36), 평균 청력은 우측 27.17(14.78) dBHL, 좌측 24.39(12.88) dBHL, 고음 청력역치는 우측 43.88(18.75) dBHL, 좌측 45.02(17.84) dBHL이었다. 작업기억 검사 결과 순방향 숫자 폭 5.39(1.28), 역방향 숫자 폭 3.75(1.00), 단어 폭

Table 1. General characteristics of study subjects

Variable	N	%
Sex		
Male	25	22.9
Female	84	77.1
Age (years)		
60-69	56	51.4
70-79	45	41.3
≥ 80	8	7.3
Education		
≤ Middle school	26	23.9
High school	44	40.4
≥ College/university	39	35.8
PTA (dBHL)		
≤ 25	78	71.6
> 25-≤ 40	22	20.2
> 40	9	8.3
HFA (dBHL)		
≤ 25	30	27.5
> 25-≤ 40	29	26.6
> 40	50	45.9

PTA: pure-tone threshold average for hearing levels at 500, 1,000, and 2,000 Hz, HFA: high frequency threshold average for hearing levels at 4,000 and 8,000 Hz

Table 2. General characteristics of study subjects

Variable	Mean	SD
Age (years)	69.61	5.67
MMSE-K (score)	28.61	1.36
Hearing thresholds (dBHL)		
Right		
PTA	27.17	14.78
HFA	43.88	18.75
Left		
PTA	24.39	12.88
HFA	45.02	17.84
Working memory (score)		
DFS	5.39	1.28
DBS	3.75	1.00
WS	3.63	0.70
LS	2.54	0.89

SD: standard deviation, MMSE-K: Korean version of Mini-Mental State Examination, PTA: pure-tone threshold average for hearing levels at 500, 1,000, and 2,000 Hz, HFA: high frequency threshold average for hearing levels at 4,000 and 8,000 Hz, DFS: digit forward span, DBS: digit backward span, WS: word span, LS: listening span

3.63(0.70), 문장 폭은 2.54(0.89)이었다(Table 2).

개인적 특성에 따른 작업기억의 차이를 보면, 순방향 숫자 폭은 성, 학력, 인지기능이, 역방향 숫자 폭은 학력, 인지기능이, 단어 폭은 인지기능이, 문장 폭은 학력과 인지기능이 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 연령이 낮을수록 작업기억 과제에서 높은 수행 점수를 보였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 평균 청력과 고음 청력역치의 청각학적 특성에 따라서는 모든 작업기억에 통계적인 유의한 차이를 보였다. 학력과 인지기능이 높을수록, 평균 청력과 고음 청력역치가 낮을수록 높은 작업기억 수행력을 보였다(Table 3).

남여 각각 독립적으로 연령, 학력, 인지기능, 평균 청력과 고음 청력역치에 따른 작업기억(순방향 숫자 폭, 역방향 숫자 폭, 단어 폭, 문장 폭)을 비교하였다. 남성 25명을 대상으로 한 분석에서는 순방향 숫자 폭에서 평균 청력이, 역방향 숫자 폭에서는 학력이, 문장 폭에서 평균 청력이 유의한 차이를 보였다. 남성의 인지기능은 순방향 숫자 폭에서 집단 간 유의하지 않았으나 집단 내에서 일부 유의한 차이를 보였다. 여성 84명을 대상으로 한 분석에서는 순방향 숫자 폭에서는 학력과 고음 청력역치가, 역방향 숫자 폭에서는 학력, 인지기능, 고음 청력역치가, 단어 폭에서는 평균 청력과 고음 청력역치가, 문장 폭에서는 학력, 인지기능, 평균 청력 및 고음 청력역치가 유의한 차이를 보였다. 여성의 인지기능은 순방향 숫자 폭과 단어 폭의 작업기억에서 유의한 차이를 보이지 않았으나 다중비교한 집단 내에서 일부 유의한 차이를 보였다. 연령 또한 문장 폭 작업기억에서 60

Table 3. Differences in working memory (DFS, DBS, WS, LS) in accordance with individual characteristics and hearing

Variable	DFS	DBS	WS	LS
Sex				
Male	6.16 (1.52)	4.08 (1.04)	3.72 (0.79)	2.52 (0.85)
Female	5.15 (1.10)	3.65 (0.98)	3.61 (0.68)	2.55 (0.90)
p-value	< 0.001***	0.062	0.483	0.892
Age (years)				
60–69	5.43 (1.28)	3.88 (1.06)	3.79 (0.76)	2.68 (0.92)
70–79	5.42 (1.31)	3.67 (0.95)	3.49 (0.59)	2.44 (0.80)
≥ 80	4.88 (1.13)	3.38 (0.74)	3.38 (0.74)	2.13 (1.03)
p-value	0.505	0.319	0.059	0.163
Education				
≤ Middle school	4.62 (0.94)	3.23 (0.82)	3.46 (0.51)	2.12 (0.74)
High school	5.30 (1.09)	3.59 (0.87)	3.59 (0.76)	2.47 (0.92)
≥ College/university	6.00 (1.38)	4.28 (1.03)	3.79 (0.73)	2.91 (0.81)
p-value	< 0.001***	< 0.001***	0.152	0.001**
MMSE-K (score)				
Q1 (≤ 27)	4.73 (1.16)	3.18 (0.91)	3.32 (0.57)	1.98 (0.81)
Q2 (28)	5.32 (1.22)	3.43 (0.88)	3.68 (0.61)	2.41 (0.73)
Q3 (29)	5.58 (1.22)	4.05 (0.85)	3.53 (0.61)	2.66 (0.76)
Q4 (30)	5.70 (1.31)	4.15 (1.00)	3.83 (0.81)	2.89 (0.93)
p-value	0.030*	< 0.001***	0.044*	0.001**
PTA (dBHL)				
≤ 25	5.63 (1.32)	3.91 (1.00)	3.78 (0.68)	2.76 (0.84)
> 25–≤ 40	4.86 (0.99)	3.36 (0.95)	3.27 (0.55)	2.09 (0.68)
> 40	4.56 (0.73)	3.33 (0.87)	3.22 (0.83)	1.72 (0.87)
p-value	0.005**	0.031*	0.002**	< 0.001***
HFA (dBHL)				
≤ 25	5.97 (1.19)	4.10 (1.00)	4.00 (0.70)	3.07 (0.86)
> 25–≤ 40	5.34 (1.17)	3.66 (1.05)	3.72 (0.65)	2.71 (0.79)
> 40	5.06 (1.28)	3.60 (0.95)	3.36 (0.63)	2.13 (0.77)
p-value	0.008**	0.079	< 0.001***	< 0.001***

Data are presented as mean (SD). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. MMSE-K: Korean version of Mini-Mental State Examination, PTA: pure-tone threshold average for hearing levels at 500, 1,000, and 2,000 Hz, HFA: high frequency threshold average for hearing levels at 4,000 and 8,000 Hz, DFS: digit forward span, DBS: digit backward span, WS: word span, LS: listening span

대와 80대 연령 간에 유의한 차이를 보였다(Figure 1).

작업기억에 영향을 미치는 요인을 살펴보기 위한 다중회귀 분석 결과 순방향 숫자 폭 작업기억 수행능력은 학력, 고음 청력역치, 성별이, 역방향 숫자 폭은 인지기능, 학력, 평균 청력이, 단어 폭은 고음 청력역치, 성별이, 문장 폭은 평균 청력, 인지기능, 학력, 고음 청력역치가 통계적으로 유의한 영향을 미쳤다. 공선성의 통계량을 보면 분산확대요인(variance inflation factor, VIF)이 5 이상을 보이지 않아 다중공선성의 문제는 없었다. 문장 폭의 작업기억은 평균 청력과 고음 청력역치가 낮을수

Figure 1. Comparison of working memory (DFS, DBS, WS, LS) according to age, education, cognitive function (MMSE-K), average hearing and high-pitched hearing thresholds classified by gender. Error bar: ± 2 SD, * $p < 0.05$, MMSE-K: Korean version of Mini-Mental State Examination, PTA: pure-tone threshold average for hearing levels at 500, 1,000, and 2,000 Hz, HFA: high frequency threshold average for hearing levels at 4,000 and 8,000 Hz, DFS: digit forward span, WS: word span, LS: listening span.

Table 4. Factors that affect working memory of older adults

Dependent variable	Predictors	b	β	SE	p-value	VIF
DFS	Education (years)	0.098	0.307	0.026	< 0.001***	1.105
	HFA (dBHL)	-0.030	-0.410	0.006	< 0.001***	1.112
	Sex (0: male, 1: female)	-1.100	-0.364	0.251	< 0.001***	1.190
DBS	MMSE-K (score)	0.231	0.315	0.063	< 0.001***	1.080
	Education (years)	0.068	0.270	0.022	0.003**	1.137
	PTA (dBHL)	-0.016	-0.182	0.008	0.035*	1.076
WS	HFA (dBHL)	-0.020	-0.482	0.004	< 0.001***	1.083
	Sex	-0.335	-0.201	0.149	0.026*	1.083
LS	PTA (dBHL)	-0.015	-0.188	0.009	0.094	2.166
	MMSE-K (score)	0.187	0.286	0.052	< 0.001***	1.111
	Education (years)	0.048	0.216	0.018	0.010*	1.180
	HFA (dBHL)	-0.014	-0.264	0.006	0.017*	2.081

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. SE: standard error, VIF: variance inflation factor, MMSE-K: Korean version of Mini-Mental State Examination, PTA: pure-tone threshold average for hearing levels at 500, 1,000, and 2,000 Hz, HFA: high frequency threshold average for hearing levels at 4,000 and 8,000 Hz, DFS: digit forward span, DBS: digit backward span, WS: word span, LS: listening span

Table 5. Explanatory power according to the stepwise regression analysis on the factors affecting working memory

Dependent variable	Step	Predictors	adj. R^2 (ΔR^2)	F
DFS	1st	Education	0.182	24.987
	2nd	Education, HFA	0.266 (0.084)	20.544
	3rd	Education, HFA, sex	0.373 (0.107)	22.446
DBS	1st	MMSE-K	0.160	21.620
	2nd	MMSE-K, education	0.245 (0.085)	18.565
	3rd	MMSE-K, education, PTA	0.270 (0.025)	14.317
WS	1st	HFA	0.174	23.757
	2nd	HFA, sex	0.204 (0.030)	14.873
LS	1st	PTA	0.211	29.883
	2nd	PTA, MMSE-K	0.334 (0.123)	28.032
	3rd	PTA, MMSE-K, education	0.356 (0.022)	20.906
	4th	PTA, MMSE-K, education, HFA	0.385 (0.029)	17.880

MMSE-K: Korean version of Mini-Mental State Examination, PTA: pure-tone threshold average for hearing levels at 500, 1,000, and 2,000 Hz, HFA: high frequency threshold average for hearing levels at 4,000 and 8,000 Hz, DFS: digit forward span, DBS: digit backward span, WS: word span, LS: listening span

록, 인지기능이 높을수록, 학력이 높을수록 수행능력이 높았다 (Table 4).

단계적 다중회귀분석에서 통계적으로 유의한 작업기억의 설명력은 순방향 숫자 폭에서 모형 I(학력) 18.2%, 모형 II(학력, 고음 청력역치) 26.6%(R^2 변화량, 0.084), 모형 III(학력, 고음 청력역치, 성) 37.3%(R^2 변화량, 0.107), 역방향 숫자 폭은 모형 I(인지기능) 16.0%, 모형 II(인지기능, 학력) 24.5%(R^2 변화량, 0.085), 모형 III(인지기능, 학력, 평균 청력) 27.0%(R^2 변화량, 0.025), 단어 폭은 모형 I(고음 청력역치) 17.4%, 모형 II(고음 청력역치, 성) 20.4%(R^2 변화량, 0.030), 문장 폭은 모형 I(평균 청력) 21.1%, 모형 II(평균 청력, 인지기능) 33.4%(R^2 변화량, 0.123), 모형 III(평균 청력, 인지기능, 학력) 35.6%(R^2 변화량, 0.022), 모형 IV(평균 청력, 인지기능, 학력, 고음 청력역치) 38.5%

(R^2 변화량, 0.029)이었다(Table 5).

DISCUSSIONS

현대사회에서 주로 귀의 해부학적 이상이나 병인적 이유, 직업적 소음 및 비직업적인 일상생활에서 소음 노출, 그리고 연령의 증가 등이 원인이 되어 난청이 발생한다.

노인성 난청은 다른 난청에 비해 의사소통을 더 제한되게 만든다(Humes et al., 1991). 이는 고음 청력역치 상승의 특성을 보이는 감각신경성 난청으로 서로 다른 주파수를 구별하는 능력이 저하되고, 중추신경계의 노화로 인해 어음인지도가 저하되기 때문이다.

고령화사회가 진행됨에 따라 노화나 만성 퇴행성질환으로

인한 인지장애에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 따라 인지장애가 작업기억에 어떤 영향을 미치는지에 대한 관심도 커지고 있다. 작업기억은 짧은 시간 동안 정보를 저장하고 조작하는 것으로서 의사결정, 추론, 문제해결, 학습 등과 같은 고차적인 인지처리 과정에 필수적인 요소이다. 작업기억은 복잡한 인지 조작 활동을 예측하는 데 중요한 요인으로 특히 노인에게서 볼 수 있는 경미한 인지장애나 치매 환자의 병리는 작업기억에 영향을 미칠 수 있다. 인지가능 저하 및 치매에 대한 잠재적인 위험요인으로 저학력, 흡연, 당뇨병, 신체활동 부족, 고혈압, 중년 비만, 우울증, 사회적 고립 등이 있다. 이러한 위험인자는 특히 중년 말기 및 노년기의 인지능력과 관련이 있다(Huntley et al., 2018).

작업기억은 단기기억에 그 기원을 두고 있는 개념이지만, 언어이해 등을 처리하는 여러 개의 단기 저장체계의 모델로 확장되었다. 일반적으로 작업기억은 언어성(verbal)과 시-공간적(visual-spatial) 영역으로 나뉜다(Geers et al., 2000). 언어성 작업기억은 책 읽기, 독화 자극이 시각적으로 제시되더라도 언어 영역이 담당하여 처리하고, 구어의 음성적, 조음적 특성과 청각을 기초로 하게 된다. 시-공간적 작업기억은 시각적인 정보와 공간적인 정보를 다루며, 시각적 심상을 형성 유지하고 처리한다. 그러므로 언어성 작업기억과 시-공간적 작업기억은 청각과 시각 간의 차이로 볼 수 있다(Lee, 2003).

새로운 정보를 기억하고 유지하는 경우 부호화(coding)되고, 장기적으로 기억하는 어휘에 정확하게 접근하여 처리된다. 그리고 이러한 정보처리는 정보를 기억할 수 있는 범위로서 개인의 기억 폭(memory span) 안에서 이루어진다(Nation et al., 1999). 기억이 언어로 부호화된다는 증거는 음운적으로 유사한 항목이 음운적으로 유사하지 않은 항목보다 기억수행이 떨어지는 음운 유사성 효과(phonological similarity effect)와 단어 길이가 긴 목록이 단어길이 짧은 목록보다 기억수행이 떨어지는 단어길이 효과(word-length effect)에서 볼 수 있다(Baddeley, 2003). 작업기억은 청각적인 정보의 입력에 제약이 있는 청각장애인일 경우 언어성 작업기억을 수행하는 데 어려움이 있다(Cleary et al., 2001; Geers et al., 2000; Lee, 2003; Pisoni & Cleary, 2003; So, 2009).

노화는 뇌의 구조를 변화시키고, 기대하지 않았던 사건에 대해 적절한 반응선택과 반응실행 능력에 손상을 준다. 이러한 손상의 주요 영역 중 하나가 작업기억이다. 연령 증가에 따라 정보처리 조작에서 속도가 저하되고, 이러한 처리 속도 저하는 다양한 인지 과제 수행능력 저하의 근본적인 원인이 된다. Salthouse(1996)의 연구에 의하면 인지조작에서의 처리 속도 저하가 다양한 기억과 인지 변인들 중 연령 관련 변량의 75%를 설명하였다.

Pichora-Fuller et al.(1995)은 청년과 노인군으로 나누어 작

업기억, 언어이해, 그리고 청각적 기능의 상관성을 조사하였다. 소음과 함께 문장 폭 작업기억을 측정한 결과, 노인군이 청년군보다 적은 개수의 단어를 회상하였고 소음수준이 높아질수록 회상 가능한 단어 수가 감소하여 청각적 입력과 작업기억과의 관련성을 확인하였다.

Souza et al.(2007)의 연구에서는 50~65세 대상자의 경우 청자들의 청력역치와 언어이해력이 보다 강한 상관관계를 보이나, 65세 이상 청자의 경우 난청 정도 이외에 다양한 인지 처리능력의 감소가 언어이해력에 보다 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다. Cervera et al.(2009)의 연구에서는 정상 청력의 젊은 성인에 비해 55~65세의 경-중도 난청군이 유의하게 낮은 어음인지, 작업기억을 보였으나 순음 청력역치를 공변량으로 사용하면 두 군 간에 유의한 차이가 사라져 중장년-노년 초기의 감각저하가 이 연령대에서 관찰되는 어음인지 및 작업기억 능력의 감소를 설명하는 데 중요한 요인이었다.

일반적으로 노인은 청년에 비해 노화의 과정으로 소음 상황에서 의사소통 작업기억이 떨어지고, 소음 수준이 높아질수록 작업기억에 어려움을 느낀다(Pichora-Fuller et al., 1995). 이는 듣기 어려운 환경에서 노인의 의사소통 능력을 저하시키는 원인이 된다. 선행연구에서 이러한 작업기억 과제 수행의 결과에 연령이, 특히 청년과 노인군의 비교에서 제시하는 데 유의할 필요가 있다. 40세에서 80세 이상의 연령군을 대상으로 한 연구(Kumar & Priyadarshi, 2013)에서 작업기억은 나이가 들어감에 따라 감소하나 언어적/시공간적 작업기억에서 더 두드러지는지 명확하지 않고 유사하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 복합기억 과제의 결과 더 유의하게 낮은 결과를 보였다. 작업기억은 50~60세까지 비슷한 비율로 감소하고 60세 이후에는 상대적으로 완만한 감소를 보였다.

Choi et al.(2015)의 연구에서도 건청인 청년 그룹 25명과 치매선별검사에서 정상 범주에 있는 건청 노인 그룹 25명을 대상으로 조용한 상황과 소음 상황에서 두 가지 자극제시 방법(청각 자극, 청각-문자 자극)으로 네 가지 작업기억 과제(순방향 숫자 폭, 역방향 숫자 폭, 단어 폭, 문장 폭)를 실시한 결과, 청년 그룹과 노인 그룹 모두 각 상황, 자극제시 방법, 작업기억 과제에 따라 유의한 차이가 있었으나, 노인 그룹은 청년 그룹에 비해 전체적으로 낮은 작업기억을 보여주었고, 단순작업기억 과제와 복합작업기억 과제는 그룹 내에서도 유의한 차이를 보여주고 있다.

본 연구에서의 연구 대상자의 개인적 특성(성, 연령, 학력)과 청력역치, 인지기능의 정도에 따른 작업기억 과제 수행의 평균 점수 차이를 보면, 성별로는 문장 폭을 제외하고 남성이 여성에 비해 높았으나 순방향 숫자 폭만 유의한 차이를 보였으며, 연령이 높을수록 작업기억 과제 수행 점수가 낮았으나 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 학력, 인지기능, 평균청력, 고음역의

청력역치는 일부(단어 폭과 학력, 고음역 청력역치와 역방향 숫자 폭) 작업기억 과제 수행을 제외하고 유의한 차이를 보였다. 연구 대상자의 특성에 따른 모든 군에서 단순작업기억 과제보다 복합기억 과제에서 낮은 폭을 보였으며, 이는 순방향 숫자보다 역방향 숫자 폭이, 그리고 단어 폭보다 문장 폭이 낮은 폭 결과로 나타났으며, 난이도에 따른 결과로 해석된다. 작업기억과 관련한 개인적 특성과 청력역치 및 인지기능의 정도에 따른 작업기억을 살펴본 단계적 다중회귀분석에서 유의한 영향을 미치는 변인은 과제에 따라서 다르나 본 연구의 대상인 60~80대의 노인군의 연령은 작업기억 과제 수행에서 유의한 변인이 아니고 오히려 청력역치(평균청력과 고음역의 청력역치)와 인지기능 및 학력이 주요하게 유의한 차이를 보이는 변수이었다. 즉, 작업기억은 노화에 따른 노인군의 연령 문제보다도 인지기능과 청력 문제임을 알 수 있다. 순방향 숫자 폭에서는 학력, 역방향 숫자 폭에서는 인지기능, 단어 폭에서는 고음역의 청력역치, 문장 폭에서는 평균청력이 가장 높은 설명력을 보여주고 있다. 인지기능과 학력은 상호 복합적이지만 청력과는 독립적인 영향을 미치는 요인으로 작업기억에 직접적인 영향을 미치는 주 요인으로 판단된다.

나이는 뇌의 작업 활성화 영역에서 신경 활성화의 선형 감소와 관련이 있으나 그 효과는 교육을 조정할 때 더 이상 중요하지 않게 나타난다. 교육이 신경 보상의 형태로 일종의 인지 예비력을 제공한다는 점에서 고령 연구에서 교육을 고려할 필요성을 강조한다(Archer et al., 2018). 구조적 자기 공명 영상(magnetic resonance imaging)을 사용하여 뇌의 작업기억 수행과 관련된 활성화를 측정한 결과, 교육 기간과 우측 내측 및 중측 전두엽, 중간 및 후측 대상회(cingulate gyri), 우측 하 두정엽의 피질 회백질 부피 사이에 양의 상관 관계가 발견된다. 작업기억 네트워크에 관련된 뇌 영역은 나이가 들면서 교육 수준이 높은 사람들이 더욱 활성화되고 있다(Boller et al., 2017).

작업기억에서 나이와 교육 모두 성별과 상호 작용하며, 나이가 들어감에 따라 남성은 여성보다 작업기억이 더 가파르게 감소하며 교육이 증가함에 따라 여성은 남성보다 작업기억이 더 많이 증가한다. 연령, 성별 및 교육이 모두 노인의 작업기억에 영향을 주지만 특정 방식으로 상호 작용한다는 것을 시사한다(Pliatsikas et al., 2019).

연구에 따르면 수학 학습장애 및 읽기장애가 있는 어린이의 작업기억 장애가 관찰되는데, 작업기억 및 기타 실행기능 장애를 개선하고자 약물치료의 대안으로 인지기능을 강화하는 프로그램을 개발하여 적용한 결과, 작업기억, 수학 및 읽기를 위한 단어 해독에서 통계적으로 유의미한 향상을 나타냈다(Bree & Beljan, 2016).

이처럼 이 연구와 관련하여 노인의 작업기억은 단순한 나이

의 문제가 아니며 청력과 관련성이 크나 교육과 인지기능이 크게 영향을 미친다는 점에서 학습과 인지기능을 강화하는 접근이 필요하다. 또한 고음역의 청력역치도 평균청력과 더불어 독립적으로 작업기억에 영향을 미친다는 점에서 자연적인 노화가 아닌 소음에 의한 고음역의 청력저하를 예방하는 의미가 크다고 보여진다.

이러한 작업기억, 난청, 의사소통 능력과 관련한 연구는 국외에서는 활발하게 이루어져 노인 인구의 난청의 적극적 중재에 중요한 자료가 되나 현재 국내에서 노인 인구에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이 연구는 노인의 개인적 특성(성, 연령, 학력)과 인지기능 및 청력역치에 따른 언어성 작업기억의 수행 과제별 차이를 살펴보고 유의한 영향과 관련성의 정도를 살펴 보았다. 비록 남성 고령자의 연구 대상자가 많지 않고 중장년의 성인이 포함되지 않은 제한점이 있지만 향후 노인의 작업기억과 관련한 다양한 분야에서의 연구의 필요성과 함께 노인의 의사소통 능력을 향상시킬 수 있는 평가 절차 및 도구를 확립하는 데 활용될 수 있을 것이다.

중심 단어 : 노화 · 인지기능 · 청력 · 작업기억.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Seoul Medical Center (IRB no. 2014-014).

Acknowledgments

The authors are grateful to those who participated in this study.

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict of interests.

Funding

This study was supported by the Seoul Metropolitan Government and Seoul Medical Center (grant number 14-A06).

Author Contributions

Conceptualization: KyooSang Kim, Jae Hee Lee, Junghwa Bahng. Data curation: KyooSang Kim. Formal analysis: KyooSang Kim. Funding acquisition: KyooSang Kim. Investigation: Jae Hee Lee, Junghwa Bahng. Methodology: KyooSang Kim, Junghwa Bahng. Project administration: KyooSang Kim. Resources: Jae Hee Lee, Junghwa Bahng. Software: Jae Hee Lee, Junghwa Bahng. Supervision: KyooSang Kim. Validation: KyooSang Kim. Visualization: KyooSang Kim. Writing—original draft: KyooSang Kim. Writing—review & editing: KyooSang Kim. Approval of final manuscript: all authors.

ORCID iDs

KyooSang Kim	https://orcid.org/0000-0003-4896-0548
Jae Hee Lee	https://orcid.org/0000-0002-4152-6434
Junghwa Bahng	https://orcid.org/0000-0002-5265-3586

REFERENCES

Archer, J. A., Lee, A., Qiu, A., & Chen, S. A. (2018). Working memory, age and education: A lifespan fMRI study. *PLoS One*, 13(3), e0194878.

- Baddeley, A. (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208.
- Baddeley, A. D., Baddeley, H. A., Bucks, R. S., & Wilcock, G. K. (2001). Attentional control in Alzheimer's disease. *Brain*, 124(Pt 8), 1492-1508.
- Boller, B., Mellah, S., Ducharme-Laliberté, G., & Belleville, S. (2017). Relationships between years of education, regional grey matter volumes, and working memory-related brain activity in healthy older adults. *Brain Imaging and Behavior*, 11(2), 304-317.
- Bree, K. D. & Beljan, P. (2016). Neuro-cognitive intervention for working memory: Preliminary results and future directions. *Applied Neuropsychology: Child*, 5(3), 202-213.
- Cervera, T. C., Soler, M. J., Dasi, C., & Ruiz, J. C. (2009). Speech recognition and working memory capacity in young-elderly listeners: Effects of hearing sensitivity. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 63(3), 216-226.
- Cho, S. J., Lim, D., Lee, K. W., Han, H. K., & Lee, J. H. (2008). Development of Korean standard bisyllabic word list for adults used in speech recognition threshold test. *Audiology*, 4(1), 28-36.
- Choi, D. W., Kim, K., & Bahng, J. (2015). Effects of auditory-letter cue integration stimulus on working memory capacity in the elderly. *Audiology*, 11(4), 282-291.
- Cleary, M., Pisoni, D. B., & Geers, A. E. (2001). Some measures of verbal and spatial working memory in eight- and nine-year-old hearing-impaired children with cochlear implants. *Ear and Hearing*, 22(5), 395-411.
- Daneman, M. & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466.
- Dubno, J. R., Lee, F. S., Matthews, L. J., & Mills, J. H. (1997). Age-related and gender-related changes in monaural speech recognition. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 40(2), 444-452.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-Mental State": A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.
- Geers, A. E., Nicholas, J., Tye-Murray, N., Uchanski, R., Brenner, C., Davidson, L. S., et al. (2000). Effects of communication mode on skills of long-term cochlear implant users. *Annals of Otology, Rhinology and Laryngology*, 109(12_suppl), 89-92.
- Hernandez-Ramos, E. & Cansino, S. (2011). Ageing and working memory: The role of complexity and the type of information. *Revista de Neurologia*, 52(3), 147-153.
- Humes, L. E. (1996). Speech understanding in the elderly. *Journal of the American Academy of Audiology*, 7(3), 161-167.
- Humes, L. E., Nelson, K. J., & Pisoni, D. B. (1991). Recognition of synthetic speech by hearing-impaired elderly listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 34(5), 1180-1184.
- Huntley, J., Corbett, A., Wesnes, K., Brooker, H., Stenton, R., Hampshire, A., et al. (2018). Online assessment of risk factors for dementia and cognitive function in healthy adults. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 33(2), e286-e293.
- Kumar, N. & Priyadarshi, B. (2013). Differential effect of aging on verbal and visuo-spatial working memory. *Aging and Disease*, 4(4), 170-177.
- Kwon, Y. C. & Park, J. H. (1989). Korean version of mini-mental state examination (MMSE-K). Part I: Development of the test for the elderly. *Journal of Korean Neuropsychiatric Association*, 28(1), 125-135.
- Lee, B. T. (2002). Reliability of the reading span test. *Psychological Science*, 11(1), 15-33.
- Lee, C. (2003). Working memory of deaf signers. (Master's thesis). Seoul: Dankook University.
- Montgomery, J. W. (1995). Sentence comprehension in children with specific language impairment: The role of phonological working memory. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(1), 187-199.
- Murphy, C. F., Rabelo, C. M., Silagi, M. L., Mansur, L. L., Bamio, D. E., & Schochat, E. (2018). Auditory processing performance of the middle-aged and elderly: Auditory or cognitive decline? *Journal of the American Academy of Audiology*, 29(1), 5-14.
- Nation, K., Adams, J. W., Bowyer-Crane, C. A., & Snowling, M. J. (1999). Working memory deficits in poor comprehenders reflect underlying language impairments. *Journal of Experimental Child Psychology*, 73(2), 139-158.
- Pichora-Fuller, M. K., Schneider, B. A., & Daneman, M. (1995). How young and old adults listen to and remember speech in noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(1), 593-608.
- Pichora-Fuller, M. K. & Singh, G. (2006). Effects of age on auditory and cognitive processing: Implications for hearing aid fitting and audiology rehabilitation. *Trends In Amplification*, 10(1), 29-59.
- Pisoni, D. B. (2000). Cognitive factors and cochlear implants: Some thoughts on perception, learning, and memory in speech perception. *Ear and Hearing*, 21(1), 70-78.
- Pisoni, D. B. & Cleary, M. (2003). Measures of working memory span and verbal rehearsal speed in deaf children after cochlear implantation. *Ear and Hearing*, 24(1 Suppl), 106S-120S.
- Pliatsikas, C., Verissimo, J., Babcock, L., Pullman, M. Y., Gleib, D. A., Weinstein, M., et al. (2019). Working memory in older adults declines with age, but is modulated by sex and education. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 72(6), 1308-1327.
- Plomp, R. & Mimpen, A. M. (1979). Improving the reliability of testing the speech reception threshold for sentences. *Audiology*, 18(1), 43-52.
- Rosemann, S. & Thiel, C. M. (2020). Neural signatures of working memory in age-related hearing loss. *Neuroscience*, 429, 134-142.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
- So, J. H. (2009). Attenuating effects of hearing impairment on the relations between working memory and intelligence. (Master's thesis). Jeonju: Jeonbuk National University.
- Souza, P. E., Boike, K. T., Witherell, K., & Tremblay, K. (2007). Prediction of speech recognition from audibility in older listeners with hearing loss: Effects of age, amplification, and background noise. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18(1), 54-65.