복합 숫자 확장 자극의 길이, 언어, 성별 변수가 정상인의 청각 작업기억에 미치는 영향

Effects of a Speaker's Language and Gender in Complex Digit Expansions on Auditory Working Memories of Normal Hearing Subjects

¹한림대학교 자연과학대학 언어청각학부, 청각언어연구소, ²한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과
임덕환¹ · 노영화²

Dukhwan Lim¹ and Younghwa Ro²

¹Division of Speech Pathology and Audiology, Research Institute of Audiology and Speech Pathology,
College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon

²Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon, Korea

ABSTRACT

This study was to analyze the response properties of normal hearing young female adults (N = 29) in response to complex auditory digit expansions requiring both forward and backward working memory processes. The stimulus sets consisting of middle, front, and back digit combinations were digitally synthesized in the sequential length patterns of 3, 6, and 9 Korean and English digits. Individual digit spans had male and female voice options. They were randomly presented through the closed acoustic system and the corresponding performances were analyzed with special references to a speaker's language and gender. The results were as follows: First, statistically significant differences were noted in Korean and English versions of complex digit sequences of the length six ($p < .01$). Second, there were no statistically significant preferences in the gender of the speaker in 3, 6, 9 length sessions of the complex digit patterns ($p > .01$). Third, the average values of the 50% performance index point were reduced in the order of complex digit span, backward digit span, and forward digit span. In summary, the data showed quantitative measures of the working memory consumptions and language dependency in complex digit sequences. Results can be used as initial reference data for the complex auditory digit expansion studies. This complex digit sequence procedure may also be clinically applied for screening memory-related disorders and impaired cognitive functions.

Key words: Auditory working memory, Complex digit expansion, Speaker variables

논문접수일: 2015년 6월 13일

논문수정일: 2015년 7월 1일

게재확정일: 2015년 7월 10일

교신저자: 임덕환, 강원도 춘천시 한림대학길 1
한림대학교 자연과학대학 언어청각학부

Tel: (033) 248-2217, Fax: (033) 256-3420

E-mail: dlim@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

청각 기억은 그 처리 과정이 여러 단계로 구성되
어 있다. 일반적으로 감각기억(sensory memory)을
통해서 얻어진 정보가 작업기억(working memory)에

서 처리된 후에 선택적으로 장기기억(long term memory)으로 이전된다(Aaronson, 1974; Aben et al., 2012; Baddeley, 1986, 2003; Cowan, 1984). 주어진 자극을 저장하고 처리하는 작업기억은 언어나 학습과 연관된 인지기능에 작용하며 다른 기억 과정 과도 연결이 되어 있다(조수진, 2012; Aben et al., 2012; Baddeley, 1986; Cowan, 2010). 작업기억과 같은 청각기억 과정을 비교하고 분석하는 단계에서 숫자를 이용한 자극들을 자주 사용한다(Bancken, 1985; Ferguson & Bowey, 2005; Lynn & Irwing, 2008). 대표적으로 작업기억의 특성을 나타내는 기초 평가 방법이 순방향 숫자 확장 기억(forward digit span)과 역방향 숫자 확장기억(backward digit span)이다(Kyllonen & Crystal, 1990; Swanson, 1993). 여러 문헌에서 제시된 것처럼 이러한 숫자 자극을 사용하는 평가 방식은 언어나 다른 관련 변인에 따라서 세부적인 반응패턴이 다르게 나타나는 경우가 있어 해당 언어권 별로 직접 확인해보는 과정이 필요하다(Naveh-Benjamin & Ayres, 1986; Patel, 2003; Sussman & Gumenyuk, 2005).

국내에서도 작업기억과 관련된 평가 도구들이 개발되면서 기초 및 임상 자료들이 축적되고 있다(권준수 외, 2002; 김태유 외, 2003; 염태호 외, 1992). 최근 청각 작업기억과 관련하여 한국어로 진행된 사례(임덕환 & 문지연, 2011; 임덕환 & 진선희, 2013)에서 청각적으로 동일성이 유지되는 20대 초반의 정상인 그룹을 대상으로 순방향과 역방향 숫자 확장 기억 수행 특성이 분석되었다. 이 자료에서 화자 성별에 따른 순방향 숫자 확장 기억 수행력의 50%를 나타내는 역치 인덱스는 평균 8개이었다. 역방향 숫자 확장 기억에서는 수행력 50%의 숫자 역치 인덱스가 대략 평균 6개로 보고되었다. 두 연구 결과를 비교하였을 때 기억 수행력이 평균 약 2개의 차이를 보였고 역방향 숫자 확장 기억이 순방향보다 추가적인 작업 기억을 소모하는 것으로 추정하였다.

이러한 단순한 숫자 확장 자극은 자극의 범용성이 크고, 언어 수준에 의한 제약 조건이 적기 때문에 인지과학 분야에서 활용도와 시사점이 높은 자극이다

(Richardson, 2007). 청각 인지기능 특성을 세부적인 관점에서 분석하기 위해서 간단한 단순 숫자 확장 자극보다 다양하고 정밀한 자극의 필요성이 제기되어 왔다(Richardson, 2007; Sohn, 2003). 정교하고 복잡한 변수 조작을 시도하면 자극 간격과 같은 외생 변수들의 정확한 통제가 중시되는데 이를 위한 전산화된 시스템이 점차 발달하면서 다양한 평가 가능성이 제시되고 있다(Richardson, 2007; Sohn, 2003). 숫자 자극 및 처리에 관한 자료는 국내외적으로 그 범위가 다양하지만 한국어에서 순방향과 역방향 숫자 확장 기억을 모두 이용하는 과정이나 관련 작업기억 자료는 상대적으로 부족하다.

본 연구에서는 관련 기초 연구로 순방향과 역방향 숫자 확장 자극의 특성을 모두 포함하는 새로운 복합 숫자 확장 자극을 체계적으로 구성하여 이 자극이 청각 작업기억에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위하여 숫자 자극을 3쌍 단위로 구성하여 피검자가 중간 요소, 전방 요소, 후방 요소 순서로 구분하도록 하였다. 이러한 과정은 순차적으로 역방향 및 순방향 작업기억 처리를 필요로 한다. 이를 복합 숫자 확장을 기본 자극으로 하여 3, 6, 9의 숫자 확장 인덱스 길이로 제시하였다. 숫자 자극은 여러 장점 때문에 그간 기초 인지과정 평가에 다양하게 쓰여 왔는데 기존에 어느 정도 검증된 기본 순방향과 역방향 숫자확장 방식을 융합하여 제시하는 새로운 복합 숫자 확장 자극 방식은 청각 작업기억이 연관된 여러 인지과정 분석에 새로운 단서를 제공할 가능성이 있다고 판단된다.

언어적 요소가 포함된 자극에서 제시 조건이나 수행 과제의 내용이 새롭게 변화되면 앞서 언급된 것처럼 화자 언어나 성별 등이 수행력에 영향을 줄 가능성이 있게 된다(Cambron, et al., 1991; Naveh-Benjamin & Ayres, 1986; Patel, 2003; Sussman & Gumenyuk, 2005). 이러한 근거에 의하면 새로운 과제 제시 조건에서는 개별적으로 이러한 요인들을 확인해서 보고해 주는 것이 최선으로 판단된다. 본 기초 연구에서는 화자의 성별, 화자의 언어(한국어, 영어 숫자)를 변인으로 자극 길이별로 청각 작업기억

능력을 분석하였다. 피검자 대상은 정상 청력을 가진 20대 초반 여성으로 대상을 통제하였으며 화자 언어 변수, 화자 성별변수, 복합 숫자 확장 길이에 관한 기억 수행력을 조사하여 임상에 참고 가능한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

본 연구는 국내에 거주하고 모국어를 한국어로 하는 20대 초반의 정상 청력 여성 피검자 29명(평균 연령: 21.9세)의 우측 귀를 대상으로 실시하였다. 왼손이나 양손을 사용하거나, 음악이나 외국어에 전문적 경험이 있는 피검자는 분석 대상에서 제외하였다. 전체 실험과정은 사전에 한림대학교생명윤리위원회의 심의와 승인을 받았고, 관련 규정을 준수하여 단계별로 시행하였다. 선별과정을 거쳐서 등록된 그룹에서 피검자를 선정하였고, 비교를 위하여 동일 대상이 여러 번 반복된 세션으로 실험에 참가하였다. 실험 대상자는 이과적 병력이 없었으며, 순음청력 검사(pure tone audiometry, PTA)결과 양측 귀 모두 250 ~ 8,000 Hz에서 20 dB HL 이하의 정상 역치를 보였다. 단어인지도(word recognition score, WRS)결과는 양측 귀 모두 정상으로 95% 이상의 수치를 보였다.

순음검사와 단음절 어음인지검사는 Grason-Stadler의 GSI 61기기에서 TDH 50 기도 헤드폰을 사용하여 측정하였고, 전체 평가 과정은 방음부스 안에서 실시하였다(소음레벨 < 30 dBA; 2236 SLM, Brüel & Kjær). 청각 기억 검사는 Visual Studio로 제작된 자극 분석 시스템에서 한글과 영어로 된 숫자 확장(digit span) 자극을 전산 합성하여 제시하고 그 반응 결과를 분석하였다(Arics Group). 실험에 사용된 digit expansion은 한글 단음절 숫자와 영어 숫자의 수(index)를 3, 6, 9 순으로 길이를 확장하면서 무작위로 전산화하여 제시할 수 있도록 하였다.

실험에서 피검자는 무작위로 제시된 숫자 조합에서 가장 단순하게 기억할 수 있는 각 쌍의 중간, 앞,

뒤의 숫자를 순서대로 맞추도록 했다. 이러한 과정은 순차적으로 역방향과 정방향의 작업기억 처리를 요하며, 각 자극 길이에서 10번 반복 측정한 평균 수행력을 백분율로 기록하였다. 예를 들면, 제시된 무작위 자극이 1, 2, 3이면 2, 1, 3이 목표값으로 선택되었다. 6자리 자극이 1, 2, 3, 4, 5, 6인 경우는 2, 1, 3, 5, 4, 6이, 9자리 자극이 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9인 경우는 2, 1, 3, 5, 4, 6, 8, 7, 9이 목표값으로 설정되었다. 관련된 전체 실험 과정을 Figure 1로 나타냈다.

Figure 1. 복합 숫자 확장 기억 처리 실험 과정

Figure 1에서 피검자에게 제시하는 숫자 음은 남성과 여성 화자 그리고 한국어와 영어 별로 신호처리 모듈(DAQPad-6251, NI; 16 bit, sampling rate = 44.1 kHz)을 통하여 출력하였다. 남성과 여성 화자 자극은 공공장소에서 사용하는 남녀 아나운서용 합성 음성을 사용하였다(임덕환 & 문지연, 2011; Cambron et al., 1991). 이 자극을 anti-aliasing filter (Frequency Devices 900)와 감쇄기(HP 350D)로 음향 보정을 하여 확인한 후에(2236 SLM, Brüel & Kjær; 4188 Mic, Brüel & Kjær), 삽입형 이어폰(ER 4, Etymotic Research)을 통하여 피검자의 오른쪽 귀에 제시하였다. 예비 실험을 거쳐서, 검사 제시 강도는 60 dB HL로 정하였고, 숫자 간 제시 간격은 500 msec이 되도록 조정하였다. 피검자의 반응율은 시스템의 분석 모듈에서 실시간으로 처리하였다. 본 복합 숫자 확장기억 실험 조건과 방법은 기존 순방향 확장기억이나 역방향 확장기억의 경우와 유사한 통제를 위하여 한국어 숫자 확장기억 실험 과정을 참조하였다(임덕환 & 진선희, 2013).

통계분석은 SPSS 18 버전을 이용하여 분석하였다. 복합 숫자 확장기억 수행력 자료에서 숫자 길이, 화자의 성별, 언어 변수에 따른 작업기억 변화는 수행력에 대한 반복 삼원분산분석(three-way repeated ANOVA)으로 주효과와 상호간섭을 해석하였고, Bonferroni 사후검정을 실시하였다. 각 경우의 복합 순차 청각 기억 수행력이 50%되는 지점의 역치 인덱스는 기록된 자료를 회귀분석하여 추정하였으며, 자료와 관련된 검정은 기존의 관련 문헌과의 비교를 위하여 유의수준 .01에서 시행하였다.

RESULTS

한국어를 모국어로 하는 정상 청력을 가진 여성 피검자 29명을 대상으로 복합 숫자 확장 기억 처리에 대한 수행력을 분석하였다. 숫자 확장 자극 길이별로 남녀 화자가 제시하는 한국어, 영어 숫자 확장 자극에 대한 피검자의 작업기억 수행력을 통계적으로 분석하였고 그 결과를 Table 1에 정리하였다. 복합 숫자 확장 자극의 길이와 화자의 언어, 성별요인에 대한 분석에서 길이와 언어에서만 상호작용이 있었고(Table 1, $p < .01$), 다른 조합에서는 이원이나 삼원 상호작용이 나타나지 않았다. 요인 별 주효과를 보면, 주효과는 3, 6, 9로 이루어진 자극길이, 영어와 한글을 사용하는 언어변수에서만 나타났다. 반면에 화자성별에서는 주효과가 나타나지 않았다(Table 1).

Table 1. 복합 숫자 확장 자극의 주요 요인이 수행력에 미치는 효과(* $p < .01$)

		df	F	p
Main Effects	length	2	1026.662	.000*
	language	1	52.271	.000*
	gender	1	.038	.845
	length×language	2	31.016	.000*
	length×gender	2	.089	.915
Interactions	language×gender	1	.717	.398
	language×gender×length	2	.921	.399

Table 1에서 length는 복합 숫자 확장 자극의 길이를, gender는 화자의 성별 변수, language는 한국어와 영어 숫자로 구분되는 화자의 언어 변수를 의미한다. 여기서 length×language, length×gender, language×gender, language×gender×length는 요인별 이원 및 삼원 상호간섭을 나타낸다.

이 분석 과정에서 어떤 조건에서 언어적 선택의 영향이 나타나는지를 사후분석 다중비교로 정리하였고, 그 결과를 Figure 2에 나타냈다.

Figure 2. 복합 숫자 확장 자극 특성에 의한 영향 비교 (* $p < .01$, MK: 남성화자-한국어, FK: 여성화자-한국어, ME: 남성화자-영어, FE: 여성화자-영어)

복합 숫자 확장 자극에서 자극의 길이가 단계적으로 늘어날 때 수행력에 대한 화자의 언어적 영향은 선별적으로 나타났다. 복합 숫자 확장 자극의 길이가 3이거나 9인 경우에는 화자의 언어에 의한 영향이 없었다(Figure 2, $p > .01$). 한국어나 영어 숫자 확장 자극에 의한 수행력 차이는 숫자 길이가 6인 경우에만 유의하게 나타났고($p < .01$), 가장 높은 수행력을 보인 것은 한국어 숫자 확장 자극인 경우였다.

화자의 성별 및 숫자 자극 언어 선택에 따른 청각 기억 처리 수행력이 50% 되는 역치 지점을 회귀분석으로 추정한 결과를 인덱스 수치로 비교하였다. 이 수치는 추후 다양한 대상 그룹과 비교하기 위한 기준 자료이며 남성 화자에서는 한국어 숫자의 경우에 6.07로(숫자 인덱스 수), 영어 숫자의 경우 5.18로

나타났다. 여성 화자에는 한국어 숫자의 경우 5.97, 영어 숫자의 경우 5.28로 제시되어 언어적 선택 요인이 화자 성별보다 작업기억에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 피검자의 50% 수행력 비교 결과는 본 연구의 여러 요인 중에서 화자 성별은 유의한 상호간섭효과나 주효과가 나타나지 않았다고 전술한 통계 분석 경향과 일치하는 것으로 나타났다.

DISCUSSIONS

본 연구에서는 정상 성인 여성 그룹을 대상으로 화자의 성별 변수와 언어 변수에 따른 피검자의 청각 숫자 확장 기억 수행력을 자극 길이별로 분석하고 그 영향을 비교하였다. 연구 결과에서 화자의 성별 변수에 따른 피검자의 청각 기억 수행력은 모든 경우에 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 언어 변수에 대한 청각 기억 수행력은 복합 숫자 확장 자극의 길이가 6인 경우에서만 통계적으로 유의한 차이가 나타났고, 다른 길이에서는 화자의 언어와 연관된 요소의 영향이 없었다. 길이가 3인 경우는 기억 작업과제가 단순하여 언어에 의한 차이가 나타나지 않은 것으로 생각되고, 길이가 9인 경우에는 수행과제가 상대적으로 복잡하고 어려워 언어적 영향이 반영되지 않은 것으로 추정된다. 이러한 자료에 근거하여, 복합 숫자 확장 길이가 6인 경우는 언어적 요소와 연관된 일반 작업기억 수행 평가에 적합하고, 길이가 3인 경우는 순방향과 역방향 기억 처리가 관련된 기본 선별 검사에 효과적일 것으로 생각된다. 길이가 9인 경우는 작업기억 능력이 상위 수준인 대상의 신속한 선별 평가 과정에 적합할 것으로 추정된다.

남녀 화자 성별 변수가 복합 순차 숫자 확장 처리 과정에 미치는 영향은 본 실험 조건에서는 없는 것으로 나타났다. 다른 언어로 시행된 유사한 조건의 숫자 연구에서도 통계적으로 유의한 화자 성별 차이는 관찰되지 않았다(Ayres, 1986; Cambron et al, 1991; Miller, 1956). 국내의 순방향 작업기억 자료에서도 남성이나 여성 화자에 의한 유의한 변화는 없었다(임

덕환 & 문지연, 2011). 그러나 이러한 경향은 단순한 기본 조건에서의 결과이고, 새로운 수행 조건이나 과제 내용에 의해 영향을 받을 가능성이 상존하여 과제 조건이 달라지면 해당 조건 별로 개별 확인해 보는 것이 필요한 것으로 생각된다.

화자의 성별 변수와 언어변수에 대한 피검자의 청각 기억 수행력이 50%되는 지점을 분석하여 얻은 결과에서 언어 선택에 의한 역치 차이가 남녀화자에 의한 차이보다 크게 나타났다. 한국어 숫자 자극을 사용할 경우는 남녀 평균이 6.02개, 영어 숫자 자극을 사용시에는 남녀 평균이 5.23이었다. 한국어를 사용한 경우만을 기존의 단순 순방향 자료와 비교하여 보면, 자극의 난이도나 복잡성이 증가하는 경우에 50% 역치 인덱스 값이 점차 작아져 수행력이 떨어지는 것으로 나타났다(임덕환 & 문지연, 2011). 순방향 숫자 확장 기억의 수행력이 50% 되는 인덱스 지점이 정상 인에서 약 8인 점을 감안하면 복합 숫자 확장처리 과정에서 추가 처리 과정에 2 인덱스 이상의 작업기억이 소요됨을 알 수 있었다. 이러한 원인에는 복합 숫자 확장 기억 처리에서는 순방향 기억 처리와 역방향 기억 처리가 공존하여 기억의 간섭이론에서 언급하는 순행간섭(proactive interference)과 역행간섭(retroactive interference)이 동시에 일어나게 되고(Sternberg, 2003), 이러한 요소가 추가 작업기억 사용에 포함되었기 때문으로 생각된다. 이러한 숫치는 측정과정을 세밀하게 통제한 자료로 반응 경향의 간단한 비교에 사용될 수 있다. 현재는 정상그룹에서의 단순한 기준 자료이지만 추가 연구에서 특정한 인지 질환 대상과 수행력을 비교할 때 유용하게 사용될 수 있는 지표라고 생각된다.

본 자료에서 한국어 숫자를 이용한 복합 숫자 확장 자극의 수행능력이 영어 숫자로 제시된 경우보다 높은 경우가 있었다(자극 길이 6). 이는 단음절 숫자만으로 이루어진 한국어와 이음절 숫자가 일부 포함된 영어 자극 사이의 자극 길이 차이가 원인의 하나로 볼 수 있다. 다른 언어권의 유사한 숫자 자료에서도 다음절 숫자가 포함되는 경우와 단음절 숫자 자극을 사용하는 경우를 비교하면 단음절 숫자의 경우가

더 높은 수행력을 보고한 자료가 있다(Aaronson, 1974). 즉, 단음절 숫자로만 구성된 한국어의 경우보다 숫자 중에 이음절어가 일부 포함된 영어의 경우가 작업기억을 더 점유하며 이러한 요소가 제한된 작업 기억에 반영된 것으로 보인다. 이 제한된 작업기억이 상위 청각 정보처리 과정에 추가적인 처리능력을 요구하는 것으로 추정된다.

이러한 자극 길이 외에도 수행력 차이를 나타내는 원인에는 자주 사용하는 모국어도 기여할 것으로 생각된다. Ayres(1986)의 유사한 영어권 숫자 연구에 의하면 영어, 스페인어, 히브리어, 아랍어로 숫자 자극을 주는 수행력 평가에서 영어, 히브리어, 스페인어, 아랍어 순으로 수행능력이 높은 결과를 얻었다. 이 자료에서 영어를 제외한 경우에는, 모든 피검자가 공통으로 알고 있었던 히브리어에서 기억 수행력이 높게 나타났다. 이러한 자료를 비교해 볼 때, 기존에 자주 노출되었던 언어나 모국어를 사용한 경우에 숫자 수행력이 더 높게 나타날 수 있다. 이는 한국어가 모국어인 피검자 집단에서도 영어보다 한국어로 수행된 평가가 높은 근거가 될 수 있다. 복합 숫자 확장 자극에서 이러한 두 요인의 구체적인 기여 정도에 대한 추가 연구도 필요한 것으로 생각된다.

기본적인 숫자 확장 기억 검사를 인지관련 임상에 응용하는 사례는 다양하다. 숫자확장 기억 평가는 알코올 중독의 특성분석에 쓰이기도 하고(Page & Linden, 2012), 알츠하이머 환자와 같이 인지기능에 문제가 있는 대상에 대한 진단과 예측에 쓰이기도 한다(김태유 외, 2003). Javitt et al.(1997)의 연구에서는 정신분열증을 가진 사람과 정상인에서 순음과 숫자 음 조합을 제시하여 유의미한 반응차이를 비교 분석하기도 하였다. 이러한 응용 사례에서 보듯이 기본적인 순방향이나 역방향 숫자확장 기억 분석과정보다 더 정교한 형태로 제시 자극이 발전되고 있다. 본 연구에서 분석한 복합 순차 숫자 확장은 순방향과 역방향 숫자 처리기억이 동시에 사용되는 새로운 청각 작업 기억 평가과정이다. 이러한 방법이 순방향 및 역방향 숫자확장 처리과정 결함과 연관된 인지질환을 선별하거나 그 기능을 평가하는데 실효적인 도움을 줄 수

있도록 추가적인 표준화 연구와 개선이 있어야 할 것으로 사료된다.

중심단어: 복합 숫자 확장, 청각 작업 기억, 화자변수

Acknowledgments

본 논문은 2013년도 한림대학교 교비 연구비(HRF-201309-014)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- 권준수, 류인균, 홍경수, 연병길, & 하규섭. (2002). 한국성인 기억력 평가를 위한 전산화 도구의 개발과 표준화. *신경정신과학*, 41(2), 347-358.
- 김태유, 김상윤, 양동원, 최문성, & 김재우. (2003). 알츠하이머병에서의 숫자 따라 말하기. *대한치매학회지*, 2(2), 131-136.
- 염태호, 박영숙, 오경자, 김정규, & 이영호. (1992). *K-WAIS 실시요강*. 서울: 한국가이던스.
- 임덕환 & 문지연. (2011). 정상 한국성인의 모국어 단음절 청각 숫자 기억 처리에 관한 연구. *청능재활*, 7(2), 195-199.
- 임덕환 & 진선희. (2013). 정상 한국 성인의 역방향 모국어 단음절 청각 숫자 확장 기억 처리에 관한 비교 연구. *청능재활*, 9(1), 60-65.
- 조수진. (2012). 기억처리과정의 이해. *청능재활*, 8(1), 1-8.
- Aaronson, D. (1974). Stimulus factors and listening strategies in auditory memory: A theoretical analysis. *Cognitive Psychology*, 6(1), 108-132.
- Aben, B., Stapert, S., & Blokland, A. (2012). About the distinction between working memory and short-term memory. *Frontiers in Psychology*, 3, 1-9.
- Ayres, T. J. (1986). Digit span, reading rate, and linguistic relativity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38, 739-751.

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*, Oxford, UK: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839.
- Bancken, J. A. (1985). Clinical utility of considering digits forward and digits backward as separate components of the Wechsler adults intelligence scale-revised. *Journal of Clinical Psychology*, 41, 686-691.
- Cambron, N. K., Wilson, R. H., & Shanks, J. E. (1991). Spondaic word detection and recognition functions for female and male speakers. *Ear and Hearing*, 12(1), 64-70.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, 96(2), 341-370.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: how is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychology Science*, 19(1), 51-57.
- Ferguson, A. N. & Bowey, J. A. (2005). Global processing speed as a mediator of developmental changes in children's auditory memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 89-112.
- Javitt, D. C., Strous, R. D., Grochowski, S., & Ritter, W. (1997). Impaired precision, but normal retention, of auditory sensory ("echoic") memory information in Schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 106, 315-324.
- Kyllonen, P. C. & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389-433.
- Lynn, R. & Irwing, P. (2008). Sex differences in mental arithmetic, digit span, and g defined as working memory capacity. *Intelligence*, 36, 226-235.
- Miller, G. A. (1956). The magic number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 101(2), 343-352.
- Naveh-Benjamin, M. & Ayres, T. J. (1986). Digit span, reading rate, and linguistic relativity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38, 739-751.
- Page, R. D. & Linden, J. D. (2012). "Reversible" organic brain syndrome in alcoholics: A psychometric evaluation. *Quarterly Journal of Studies on Alcohol*, 35, 98-107.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax, and the brain. *Nature Neuroscience*, 6(7), 674-682.
- Richardson, J. T. (2007). Measures of short-term memory: A historical review. *Cortex*, 43(5), 635-650.
- Sohn, W. Y. (2003). Role of working memory capacity and long-term working memory skill in complex task performance. *Memory and Cognition*, 31(3), 458-466.
- Sternberg, R. J. (2003). *Cognitive Psychology* (3rd ed). Belmont, CA: Thomson Co.
- Sussman, E. S. & Gumenyuk, V. (2005). Organization of sequential sounds in auditory memory. *Cognitive Neuroscience and Neuropsychology*, 16, 1519-1523.
- Swanson, H. L. (1993). Individual differences in working memory: A model testing and subgroup analysis of learning-disabled and skilled readers. *Intelligence*, 17, 285-332.