감각신경성난청의 단음절 및 문장인지역치에 필요한 신호대잡음비 연구

A Study of Signal-to-Noise Ratios for Monosyllabic and Sentence Recognition Threshold in Sensorineural Hearing Loss

¹한림국제대학원대학교 청각학과, ²한림대학교 분자의과학협동과정, ³벨톤보청기 서초센터, ⁴연세이비인후과
강재훈^{1,3} · 김자희² · 최민정^{1,4} · 이경원¹

Jae Hoon Kang^{1,3}, Ja Hee Kim², Min Jung Choi^{1,4} and Kyoung Won Lee¹

¹Department of Audiology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul

²Inter-disciplinary Program Molecular Medicine, Hallym University, Chuncheon, Korea

³Beltone Hearing Aid Seocho Center, Seoul

⁴Yonsei Otorhinolaryngology Clinic, Seoul, Korea

ABSTRACT

A major problem for most patients with hearing impairment is understanding speech in background noise. In the current study, we investigated to search of threshold of speech recognition at various signal-to-noise ratios (SNRs) using the monosyllabic words and sentences. Three listener groups consisting of 7 normal-hearing, 20 listeners with mild degree of sensorineural hearing loss, and 20 listeners with moderate degree of hearing loss (HL) were participated in this study. The subjects listen to the target monosyllables or sentences at eight conditions of SNRs (ranging from -12 to 9 dB SNR). The SNR required for 50% word recognition was -2.13 dB, -1.22 dB and 0.55 dB for normal-hearing, mild, and moderate HL listeners. The SNR for sentence recognition was -2.86 dB, -2.31 dB and -1.85 dB for the same listener groups. The 50% recognitions for sentence were obtained at a significantly lower SNR than for monosyllabic word. Regardless of the stimulus type, SNR for speech recognition threshold by sensorineural hearing loss with moderate HL were significantly higher than normal and mild HL. The results can be useful for development of speech-in-noise recognition test and decision on efficient SNR in aural rehabilitation for hearing aid users.

Key words : Sensorineural hearing loss, Mono-syllable word recognition threshold, Sentence recognition threshold, Multi-talker babble noise, Signal-to-noise ratio

논문접수일: 2014년 10월 23일

논문수정일: 2015년 1월 3일

게재확정일: 2015년 1월 5일

교신저자: 이경원, 서울시 강남구 대치동 역삼로 427

한림국제대학원대학교 청각학과

Tel: (02) 2051-4951, Fax: (02) 3453-6618

E-mail: leekw@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

달팽이관 내 유모세포의 손상 또는 청신경계의
노화에 의해 발생한 감각신경성 난청(sensorineural
hearing loss, SNHL)인이 배경소음 하에서 상대방

의 말을 이해하기 위해서는 대화음 크기에 대한 보상, 언어에 대한 집중, 소음 및 잔향음의 감소 등의 많은 노력이 필요하다. 특히 소음 하에서 SNHL의 어음이해 능력은 신호대잡음비(signal-to-noise ratio, SNR)가 저하될수록 감소한다(Wagner & Brand, 2005; Sato et al., 2007). Wilson & McArdle(2005)은, SNHL로 인해 발생하는 가장 큰 불만을 소음 하에서의 어음 청취를 지적하였으며, Carhart & Tillman(1970)의 연구에서 대부분의 SNHL은 건청인과 비슷한 의사소통 능력을 나타내기 위해서 12 ~ 15 dB 정도의 높은 SNR이 필요하다고 하였다.

SNHL이 일상생활에서 타인과의 의사소통에 어려움을 느끼는 이유는 달팽이관을 통해 전달되는 청각 신호레벨의 감소뿐만 아니라 시간 및 주파수 해상도의 감소 그리고 중추청각처리 능력의 장애 등의 왜곡 요소 때문이다(공혜경 외, 2013). 이와 같은 왜곡 요소는 기도 및 골도 순음청력검사 그리고 소음 하에서의 어음청각검사를 통하여 평가할 수 있으며, 이러한 평가 결과는 SNHL에 대한 상담, 증폭기의 선택 및 청능재활 계획의 수립에 효과적인 도움을 줄 수가 있다. 그러나 임상적으로 사용하는 순음 청력역치(hearing threshold level, HTL)와 조용한 환경에서의 어음인지검사는 난청인의 종합적인 어음인지능력을 평가할 때 한계가 있다(Zekveld et al., 2007). 이에 따라 외국의 경우는 소음환경 하에서 시행할 수 있는 다양한 어음청각검사 방법을 개발하여 사용하고 있다. 그 내용을 살펴보면 다화자잡음 하에서 문장인지를 구하는 speech perception in noise (SPIN) (Lewis et al., 2004; Schum & Matthews, 1992), connected speech test (CST) (Sherbecoe & Studebaker, 2002; 2003), speech in noise (SIN) (Cox et al., 2001; Killion et al., 2004) 그리고 어음잡음 하에서 문장 50%를 인지하는 문장인지역치(sentence recognition threshold)에 필요한 SNR을 구하는 hearing in noise test (HINT) (Hallgren et al., 2006; Hanks & Johnson, 1998) 등을 개발하여 어음이해 능력의 평가는 물론 청능재활 등에도 활용하고 있다. 한국의 경우 한국어 다화자잡음을 사용한 speech perception in

noise for Korean (K-SPIN) (Han et al., 2003)의 연구가 있었으며, 박철호 외(2008a, 2008b), 이성희 외(2009)의 연구에서는 다화자잡음 하에서 이음절어의 인지역치에 필요한 SNR을 구하여 보고하였다. 그러나 한국의 경우 실제 임상에서는 문장인지역치에 필요한 SNR을 구하기 위해서 한국어 어음잡음에 문장을 혼합하여 제시하는 HINT (Bio-logic 사) 장비를 수입하여 사용하고 있다(Moon et al., 2008).

최근 한국에서는 어음청각검사용 단음절어, 이음절어 및 문장을 학령전기, 학령기 및 일반용으로 개발하여 표준화하였으며(한국산업표준, 2009), 표준화한 어표는 전 국민적인 보급 및 활용을 위해 노력 중이다(이정학 외, 2010; Han et al., 2011). 그러나 임상 현장에서 청력손실의 정도, 형태, 종류 등에 따른 어표의 신뢰도 및 소음환경 하에서의 활용적인 측면 등에 대한 연구는 계속 진행 중에 있다. 따라서 한국어를 사용하는 난청인의 종합적인 어음인지능력을 효과적으로 평가하기 위해서는 표준화한 단음절어, 문장 등 어음인지역치에 필요한 SNR을 알아보는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 다양한 SNR 하에서 제시어음 50%를 인지할 수 있는 단음절인지역치(monosyllable recognition threshold)와 문장인지역치에 필요한 SNR을 건청군(normal hearing), 경도난청군(mild hearing loss) 및 중도난청군(moderate hearing loss)을 대상으로 구하고자 하였다. 또한 SNR에 따라 단음절 및 문장인지도가 어떠한 형태로 변화하는가를 살펴보기 위해 기울기를 구하였다. 본 연구의 결과를 통하여 한국어의 소음하어음인지 평가도구의 개발에 도움을 주고, 난청인의 청능재활 등에 활용하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상자로 건청군은 22 ~ 35세(평균: 29.3세, 표준편차: 4.5세)로 7명(여 5명, 남 2명), 경도난청군은 15 ~ 66세(평균: 40.2세, 표준

편차: 16.8세)로 20명(여성 11명, 남성 9명) 그리고 중도난청군은 25 ~ 80세(평균: 51.2세, 표준편차: 16.8세)로 20명(여성 11명, 남성 9명)이었다. 순음청력 검사에서 125 ~ 8,000 Hz의 모든 옥타브밴드 주파수의 HTL이 20 dB HL 이하는 건청군, 500, 1,000, 2,000 Hz의 HTL 평균이 21 ~ 40 dB HL은 경도난청군, 41 ~ 65 dB HL은 중도난청군으로 분류하였다. 세 군 모두 고막운동도검사서 A형을 나타내었으며, 기골도차(air-bone gap)는 10 dB 이하였다. 그리고 모든 대상자는 이경검사 시 중이질환, 이독성 약물 복용, 소음노출, 두부외상, 신경학적 질환 등의 과거력은 없었다. Figure 1은 대상자 세 군의 각 주파수 별 HTL의 평균 및 표준편차를 나타내었다.

Figure 1. 건청군, 경도난청군, 중도난청군의 순음기도청력의 평균과 표준편차

2. 연구재료 및 장비

순음청력검사와 신호음의 제시는 Madsen 사의 Voyager 522와 297D-0001 헤드폰 그리고 Interacoustic 사의 GSI 61과 TDH-39 헤드폰을 이용하여 두 곳의 방음실에서 진행하였다. 고막운동도검사는 두 곳의 방음실 모두 Madsen electronics 사의 Zodiac 901을 사용하였다. 다화자잡음의 녹음은 CSL(Computerized

Speech Lab, Kay Pentax Co.)과 Shure 사의 송화기, 어음은 한국산업표준 일반용 단음절(KS-MWL-A)(김진숙 외, 2008; 한국산업표준, 2009)과 문장(KS-MWL-A)(장현숙 외, 2008; 한국산업표준, 2009)을 사용하였다. 어음과 다화자잡음의 혼합 그리고 SNR의 조절은 Adobe Audition (ver 3.0), 신호음의 저장은 노트북(Samsung Co., Model; Sens G15)을 사용하였다.

3. 신호음 제작

다화자잡음은 방음실에서 20대 건청성인 남녀 16명(남 8명, 여 8명, 평균나이 21.7세)이 한국표준 일반용 문장을 시작하는 목록을 각각 달리하여 2분 동안 읽게 하여 각각 녹음하였다. 녹음 시 표본화 주파수와 비트는 44,100 Hz와 16 bit였으며, 녹음한 개인의 데이터는 CSL에서 진폭의 크기를 정규화(normalize)한 다음 Adobe Audition 상에서 합성하였다. 단음절 및 문장과 다화자잡음의 합성 방법은 다화자잡음의 강도를 일정하게 유지하고 어음의 강도를 변화시켰다. 사용한 어음목록은 단음절 목록 4개, 문장 목록 8개를 모두 사용하였다. SNR의 조절은 단음절의 경우 학습효과를 최대한 배제하기 위하여 목록 1은 -12 dB와 0 dB, 목록 2는 -9 dB와 3 dB, 목록 3은 -6 dB와 6 dB, 목록 4는 -3 dB와 9 dB의 SNR로 조절하였으며, 문장은 목록 1에서 8을 -12 dB에서 9 dB SNR까지 3 dB 간격으로 조절하였다. 그리고 조절한 각각의 어음목록 맨 앞에는 청력검사의 VU 미터에서 확인했을 때 다화자잡음의 평균적인 강도와 일치하도록 조절한 1,000 Hz의 보정음을 삽입하였다.

4. 연구절차

보정음을 이용하여 청력검사와 노트북을 연결한 다음, 어음인지역치 레벨에 30 dB를 더한 강도 또는 피검자가 제시한 어음을 편안하게 느끼는 강도에서 헤드폰을 통하여 신호음을 제시하였다. 다화자잡음과

혼합한 어음은 검사순서에 대한 영향을 배제하기 위해 SNR에 따라 무작위로 피검자에게 들려준 후 따라 말하도록 하여 검사자 1인이 정답과 오답을 판정하였다. 그리고 문장인지도의 경우는 문장 내의 목표단어를 기준으로 인지도를 계산하였다. 그리고 단음절인 지역치와 문장인지역치에 필요한 SNR은 SNR에 따른 단음절 및 문장의 인지도를 구하고 이를 심리음향 함수곡선(psychometric function curve)으로 나타낸 후 50%를 인지하는 지점과 기울기를 산출하였다. 신호음을 제시하는 귀는 청력이 다를 경우 좋은 쪽, 같은 경우는 오른쪽에 제시하였으며, 검사시간은 휴식시간을 포함하여 총 80분 정도 소요되었다.

5. 결과의 분석

어음인지역치에 필요한 SNR과 기울기에 대해서 대상군 그리고 어음의 유형에 따라 차이가 있는지를 반복측정 이원분산분석(two-way ANOVA with repeated measures)을 통하여 알아보았으며, 사후분석은 Tukey를 실시하여 .05 이하의 p 값을 통계적으

로 유의한 것으로 판정하였다. 사용한 통계프로그램은 Windows용 SPSS (ver.12.0, IBM Co.)이었다.

RESULTS

1. SNR에 따른 인지점수

SNR에 따른 난청군 별 단음절 및 문장의 인지점수는 Figure 2와 3에 나타내었다. 단음절의 경우는 건청군과 경도난청군은 -9 dB SNR에서 어음을 인지하기 시작하여 +6 dB SNR에서 포화상태에 이르는 그래프를 보인 반면에, 중도난청군은 -6 dB SNR에서 어음을 인지하기 시작하였으며 +9 dB SNR 근처에서 포화점이 나타나기 시작하였다. 문장의 경우, 모든 대상자 군에서 -9 dB SNR 전후에서 어음을 인지하기 시작하였으며 +3 dB SNR에서 포화점이 나타나기 시작하였다. 또한 단음절보다는 문장에서 개인 간 표준편차가 더 크게 나타났다.

Figure 2. 건청군, 경도난청군, 중도난청군의 SNR (dB)에 따른 피검자 개인 별 단음절인지점수

Figure 3. 건청군, 경도난청군, 중도난청군의 SNR (dB)에 따른 피검자 개인 별 문장인지점수

2. 어음인지역치에 필요한 SNR

어음인지역치에 필요한 SNR은 어음유형[$F(1, 44) = 44.001, p < .001$]과 대상자그룹 간[$F(2, 44) = 18.748, p < .001$]에 유의미한 차이가 있었다. Figure 4에서 단음절인지역치에 필요한 SNR의 평균은 건청군이 -2.13 dB(표준편차: $.79$), 경도난청군이 -1.22 dB(표준편차: 0.47), 중도난청군이 0.55 dB(표준편차: 1.77)로 나타났으며, 건청군과 중도난청군 그리고 경도난청군과 중도난청군 간에 유의미한 차이가 나타났다($p < .05$). 문장인지역치에 필요한 SNR의 평균은 건청군이 -2.86 dB(표준편차: $.62$), 경도난청군이 -2.31 dB(표준편차: $.77$), 중도난청군이 -1.85 dB(표준편차: $.67$)로 나타났으며 건청군과 난청군 간에만 유의미한 차이가 나타났다($p < .05$). 또한 난청군과 어음의 유형 간에는 상호작용이 나타났는데 [$F(2, 44)=6.963, p < .001$] 난청의 정도가 심해질수록 문장인지역치에 비해 단음절인지역치에 필요한 SNR은 급격히 상승하였다.

Figure 4. 단음절 및 문장인지역치에 필요한 SNR (dB)

Figure 5. SNR에 따른 단음절 및 문장인지도에서 50%의 점수를 나타내는 지점에서 심리음향함수곡선 (psychometric function curve)의 기울기(%/dB)

DISCUSSIONS

본 연구에서 건청군, 경도난청군 및 중도난청군의 어음인지역치에 필요한 SNR은 단음절이 각각 -2.13 dB, -1.22 dB, .55 dB, 문장은 각각 -2.86 dB, -2.31 dB, -1.85 dB로 나타나 어음의 유형 그리고 난청군 간에 모두 유의미한 차이가 나타났다($p < .001$). 한국어의 어음인지역치에 필요한 SNR을 살펴본 연구에서 박철호 외(2008a)는 다화자잡음 하에서 연령대 별 이음절어인지역치에 필요한 SNR을 구하였는데 건청인에게 필요한 SNR은 -13.9 dB이었으며, 박철호 외(2008b)의 연구에서는 같은 방법으로 연령 및 난청의 정도 별로 SNR을 알아보았는데 건청인은 -13.4 ~ -11.5 dB, 난청인은 -11.5 ~ -8.7 dB로 나타나 본 연구와 차이를 보였다. 그 이유는 어음인지역치에 사용하는 이음절어는 친숙도와 예측도가 높은 단어이며, 인지도를 구하기 전에 미리 단어를 숙지시켜 선행 연구의 SNR이 낮게 나타난 것으로 생각할 수 있다. 그러나 HINT를 보고한 Soli & Wong(2008)의 연구에서는 다화자잡음을 정면에서 제시했을 때 건청인의 단음절인지역치에 필요한 SNR은 북미에서 사용하는 영어문장이 -2.6 dB, 한국어가 -3.3 dB로 보고하여 본 연구와 비슷한 수치를 나타냈다.

건청군, 경도난청군 및 중도난청군의 SNR에 따른 인지도를 심리음향함수곡선으로 나타냈을 때 50%를 인지하는 지점의 기울기는 단어가 .54, .51, .55 %/dB, 문장이 .53, .51, .51 %/dB로 나타나 Soli & Wong(2008)의 연구에서 보고한 영어의 10.6 %/dB, 한국어의 9.9 %/dB의 기울기와 차이를 나타냈다. 그러나 Wilson et al.(2007)은 단어와 BN을 혼합하여 헤드폰을 통하여 제시했을 때 건청인의 기울기는 8.4 dB %/dB, 난청인의 기울기는 5.3 %/dB로 보고하여 난청인의 경우는 본 연구와 비슷하게 나타났다. 본 연구의 기울기가 Soli & Wong(2008)의 연구와 차이를 나타낸 이유로는 우선 잡음의 강도를 쾌적레벨에서 제시한 것을 생각할 수 있으며, 또 다른 이유로 이경원 & 김진숙(2012)에서 한국 단음절어는 800 ~ 1250 Hz가 단어인지도에 중요한 영향을 준다고 보고

하였듯이 SNR에 따른 모음의 청취여부가 영향을 준 것으로 생각한다. 그리고 Wilson et al.(2007)의 보고에서 난청인의 기울기는 본 연구와 비슷한 수치를 나타냈는데 이는 본 연구와 신호음을 비슷한 방법으로 제작하였으며, 박철호 외(2008b), 이성희 외(2009)에서 보고하였듯이 난청인의 어음인지도는 건청인에 비해서 잡음에 더 많은 영향을 받았기 때문이라 할 수 있다.

본 연구에서 난청군과 어음의 종류 간에 상호작용이 나타났는데($p < .001$) 난청의 정도가 심해질수록 문장인지역치에 비해 단음절인지역치에 필요한 SNR은 급격히 상승하였다. 그 이유는 문장의 경우 문맥에서 목표단어를 추측할 수 있으나 단음절어는 청취가 가능해야 답을 할 수 있기 때문이다. 그리고 참여한 대상자 중 경도난청군과 중도난청군의 나이는 15 ~ 66세(표준편차: 17.9)와 25 ~ 80세(표준편차: 17.0)이었다. 이중에서 65세 이상 노인은 경도난청군 1명, 중도난청군 5명이 포함되었다. 이는 같은 SNR에서 연령이 증가할수록 단어 또는 문장의 인지도가 저하될 수 있다는 연구 결과(Carter & Wilson, 2001; Coughlin et al., 1998; Versfeld & Dreschler, 2002)로 볼 때 본 연구의 결과에 영향을 줄 수 있었다고 생각한다.

본 연구의 한계점으로는 HINT 등과 같이 청력손실의 정도와 관계없이 65 dBA의 일정한 잡음의 강도 하에서 실시한 것이 아니라 보청기 착용으로 인한 잡음의 증폭을 고려하여 다화자잡음의 강도를 난청인의 쾌적레벨로 제시한 것이다. 그러나 상기의 한계점에도 불구하고 본 연구의 데이터는 소음하어음인지의 평가에 대한 기틀을 마련했다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다.

CONCLUSIONS

본 연구에서는 다화자잡음의 강도를 피검자의 쾌적레벨로 일정하게 유지하고 단음절어와 문장의 강도를 변화시켜 SNR을 -12 dB ~ 9 dB까지 3 dB 간격

으로 조절한 다음 20세 이상의 대상자에게 제시하여 단음절인지역치 및 문장인지역치에 필요한 SNR을 알아보았다. 결과를 요약하면 건청군, 경도난청군 및 중도난청군의 어음인지역치에 필요한 SNR의 평균은 단음절이 -2.13 dB, -1.22 dB, .55 dB, 문장이 -2.86 dB, -2.31 dB, -1.85 dB로 나타났다. 그리고 50%를 인지하는 지점에서의 기울기는 단어가 .54, .51, .55 %/dB, 문장이 .53, .51, .51 %/dB로 나타났다.

본 연구의 결과는 향후 한국 난청인의 소음하어음검사 도구의 제작 그리고 난청인 또는 증폭기 착용인에 대한 청능훈련 시 SNR을 효과적으로 결정하는데 있어서 기초적인 자료로 활용할 수 있을 것으로 생각한다.

중심단어: 감각신경성난청, 단음절인지역치, 문장인지역치, 다화자잡음, 신호대잡음비

REFERENCES

- 공혜경, 주연미, & 이경원. (2013). 어음잡음 하에서 자모음비에 따른 감각신경성난청인의 무의미음절 인지도. *청능재활*, 9(1), 33-39.
- 김진숙, 임덕환, 홍하나, 신현욱, 이기도, 홍빛나 외. (2008). 한국표준 일반용 단음절어표 개발. *청능재활*, 4(2), 126-140.
- 박철호, 이성희, 심현준, 이승주, 윤상원, & 이경원. (2008a). 다화자 잡음을 이용한 소음 환경하에서의 어음청각검사에 대한 연구. *대한청각학회*, 12(1), 10-15.
- 박철호, 이성희, 심현준, 이승주, 윤상원, & 이경원. (2008b). 정상인과 난청인에서 다화자 잡음을 이용한 소음환경하에서의 50% 인지 신호대잡음비의 비교. *대한이비인후과학회*, 51(10), 866-871.
- 이경원 & 김진숙. (2012). 한국 단음절어의 주파수중 요기능 연구. *청능재활*, 8(1), 24-33.
- 이성희, 심현준, 윤상원, & 이경원. (2009). 배경소음의 유형이 정상인의 어음인지력에 미치는 영향. *대한이비인후과학회*, 52(4), 307-311.
- 이정학, 조수진, 김진숙, 임덕환, 이경원, & 김형중. (2010). 어음청각검사(KSA). 서울: 학지사.
- 장현숙, 이정학, 임덕환, 이경원, 전아름, & 정은조. (2008). 문장인지검사를 위한 한국표준 문장표 개발. *청능재활*, 4(2), 161-177.
- 한국산업표준. (2009). KS I ISO 8253-3. 음향학-청력 검사방법-제3부: 어음청각검사. 지식경제부 기술표준원.
- Carhart, R. & Tillman, T. W. (1970). Interaction of competing speech signals with hearing losses. *Archives of Otolaryngology*, 91(3), 273-279.
- Carter, A. S. & Wilson, R. H. (2001). Lexical effects on dichotic word recognition in young and elderly listeners. *Journal of the American Academy of Audiology*, 12(2), 86-100.
- Coughlin, M., Kewley-Port, D., & Humes, L. E. (1998). The relation between identification and discrimination of vowels in young and elderly listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 104(6), 3597-3607.
- Cox, R. M., Gray, G. A., & Alexander, G. C. (2001). Evaluation of a revised speech in noise (SIN) test. *Journal of the American Academy of Audiology*, 12(8), 423-432.
- Hallgren, M., Larsby, B., & Arlinger, S. (2006). A Swedish version of the hearing in noise test (HINT) for a measurement of speech recognition. *International Journal of Audiology*, 45, 227-237.
- Han, H., Lee, J., Cho, S., Kim, J., Lee, K., & Choi, W. D. (2011). Reference sound pressure level for Korean speech audiometry. *International Journal of Audiology*, 50(1), 59-62.
- Han, W., Kim, J., Lee, J., & Kim, H. (2003). Effects of age on speech perception ability in everyday life. *Korean Journal of Audiology*, 7(1), 63-69.
- Hanks, W. D. & Johnson, G. D. (1998). HINT list equivalency using older listeners. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(6), 1335-1340.

- Killion, M. C., Niquette, P. A., Gudmundsen, G. I., Revit, L. J., & Banerjee, S. (2004). Development of a quick speech-in-noise test for measuring signal-to-noise ratio loss in normal hearing and hearing-impaired listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(1), 2395-2405.
- Lewis, M. S., Crandell, C. C., & Kreisman, N. V. (2004). Effects of frequency modulation (FM) transmitter microphone directivity on speech perception in noise. *American Journal of Audiology*, 13, 16-22.
- Moon, S. K., Kim, H. S., Ah, M. H., Jung, H. K., Lee, J. H., & Choung, Y. H. (2008). The Korean hearing in noise test. *International Journal of Audiology*, 47(6), 375-376.
- Sato, H., Sato, H., & Morimoto, M. (2007). Effects of aging on word intelligibility and listening difficulty in various reverberant fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(5), 2915-2922.
- Schum, D. J. & Matthews, L. J. (1992). SPIN test performance of elderly hearing-impaired listeners. *Journal of the American Academy of Audiology*, 3(5), 303-307.
- Sherbecoe, R. L. & Studebaker, G. A. (2002). Audibility-index functions for the connected speech test. *Ear and Hearing*, 23(5), 385-398.
- Sherbecoe, R. L. & Studebaker, G. A. (2003). Audibility-index predictions of normal-hearing and hearing-impaired listeners' performance on the connected speech test. *Ear and Hearing*, 24(1), 71-88.
- Soli, S. D. & Wong, L. L. N. (2008). Assessment of speech intelligibility in noise with the hearing in noise test. *International Journal of Audiology*, 47, 356-361.
- Versfeld, N. J. & Dreschler, W. A. (2002). The relationship between the intelligibility of time-compressed speech and speech in noise in young and elderly listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 111(1), 401-408.
- Wagner, K. C. & Brand, T. (2005). Sentence intelligibility in noise for listeners with normal hearing and hearing impairment: Influence of measurement procedure and masking parameters. *International Journal of Audiology*, 44, 144-156.
- Wilson, R. H., Camell C. S., & Cleghorn A. F. (2007). The Words-in-Noise (WIN) Test with Multitalker Babble noise and Speech-Spectrum Noise maskers. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18, 522-529.
- Wilson, R. H. & McArdle, R. (2005). Speech signals used to evaluate functional status of the auditory system. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 42, 79-94.
- Zekveld, A. A., Deijen, J. B., Goverts, S. T., & Kramer, S. E. (2007). The relationship between nonverbal cognitive functions and hearing loss. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(1), 74-82.