



# Efficacy of Auditory Spatial Training with Real-Life Environmental Noise on Speech-in-Noise Intelligibility of Children with Hearing Loss

Euna Choi<sup>1,2</sup>, Jae Hee Lee<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

<sup>2</sup>Phonak Hearing Care Center, Sejong, Korea

<sup>3</sup>HUGS Center for Hearing and Speech Research, Seoul, Korea

**Received:** July 4, 2023

**Revised:** July 8, 2023

**Accepted:** July 9, 2023

## Correspondence:

Jae Hee Lee, PhD  
Department of Audiology and  
Speech-Language Pathology,  
Hallym University of Graduate  
Studies, 427 Yeoksam-ro,  
Gangnam-gu, Seoul 06197, Korea  
**Tel:** +82-2-2051-4952  
**Fax:** +82-2-3451-6618  
**E-mail:** leejaehee@hallym.ac.kr

**Purpose:** This study aimed to determine whether auditory spatial training with real-life environmental noise would improve the speech-in-noise intelligibility of hearing-impaired children. **Methods:** Thirteen children with hearing loss participated in this study. We conducted an 8-week in-laboratory auditory spatial training. During the training, the target sentence and pre-recorded real-life environmental noise were spatially separated by 90°, and uncertainty about the location of the target and noise was given. To evaluate the efficacy of the training, sentence recognition with fluctuating and non-fluctuating noises was measured in a free sound-field condition, where the speech and noise sources were spatially separated and also co-located. The pre-training tests of sentence-in-noise recognition were performed twice with an interval of 6 weeks. The sentence-in-noise recognition test was also measured right after the 8-week training (post-training test) as well as 1 month after the completion of the training (retention test). In addition to the objective tests, the parents completed a subjective questionnaire on auditory behavior in everyday life before and after training. **Results:** There were no significant differences between the results of the two pre-training tests. The auditory spatial training significantly enhanced sentence-in-noise recognition in both spatially separated and co-located conditions at all signal-to-noise ratios, and the training efficacy was maintained until 1 month after the completion of the training. The parental subjective responses also showed positive changes after the training. **Conclusion:** An 8-week auditory spatial training could effectively enhance the speech-in-noise intelligibility of hearing-impaired children in spatialized as well as non-spatialized conditions.

**Key Words:** Auditory spatial training, Real-life environmental noise, Spatial hearing, Spatial separation benefit.

## INTRODUCTION

청각장애 아동은 청력손실로 인하여 의사소통에 어려움을 겪으며, 또래의 건청 아동보다 언어 및 인지 발달, 심리사회성 발달, 학업 성취 등 여러 방면에서 많은 제한을 경험할 수 있다(Fitzpatrick et al., 2011, Fitzpatrick et al., 2019; Tomblin et al., 2015). 아동이 주로 생활하는 교실 내 소음 및 반향 정도 등을 측정된 결과 American National Standards

Institute (Acoustical Society of America, 2010) 혹은 기타 국제표준에서 권장하는 음향 기준에 미치지 못하는 경우가 많았다(Crandell & Smaldino, 2000; Knecht et al., 2002; Sundaravadhanan et al., 2017; Valente et al., 2012). 이러한 학습 환경을 고려하였을 때 청각장애 아동이 교실에서 겪는 어려움을 완화해주는 것이 필요하다.

건청 아동의 경우 연령이 어릴수록 그리고 교실 내 반향의 정도가 심할수록 듣고자 하는 목표 어음의 강도가 교실 속 소음에 비해 비교적 더 커야 어음인지가 가능하였다(Neuman et al., 2010). 그러나 난청 아동의 경우 청각보조기기를 착용하였더라도 건청 아동보다 보통의 교실 환경에서 더 많은 청취 노력이 필

© 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.

요하며 피곤함을 호소하였다(Brännström et al., 2017; Hick & Tharpe, 2002; Hornsby et al., 2021). 다수의 화자가 동시에 말하는 그룹 대화 상황의 경우 청자는 경쟁 화자의 말은 무시하고 목표 화자의 말에 선택적으로 집중하여야 하는데, 난청 아동은 건청 아동에 비해 저하된 공간집중력(spatial attention) 혹은 선택적 주의집중력을 보였다(Holmes et al., 2017; Ward & Grieco-Calub, 2022).

보청기나 인공와우와 같은 청각보조기기의 사용만으로 난청인의 소음 하 의사소통 능력이 개선되지 않을 경우 청능훈련을 시도해 볼 수 있다(Gohari et al., 2023; Nanjundaswamy et al., 2018). 난청 아동의 경우 성인에 비해 소음 하 의사소통 시 목표 신호와 소음 간 위치 분리로 인한 혜택(spatial release from masking)이 적고, 목표 신호의 위치를 미리 압으로 인한 유리한 정도 또한 적은 편이다(Kane et al., 2021; Yuen & Yuan, 2014). 아동의 경우 교실에서 목표 화자나 소음의 위치가 변화하는 듣기 환경을 자주 접하므로 목표 어음과 소음의 위치를 분리하여 훈련에 활용하는 공간청능훈련(auditory spatial training)을 고려해 볼 수 있다(Cameron et al., 2012; Cameron et al., 2020). 공간청능훈련을 통해 청자는 서로 다른 위치에서 제공된 목표 신호와 소음을 분리하고 처리하는 과정을 반복 경험하게 되며, 이는 청자의 양이청각정보처리기술(binaural auditory processing skills)을 향상시키고 목표 어음에 보다 선택적으로 집중하는 능력을 발달시킬 수 있다(Cameron & Dillon, 2011; Lotfi et al., 2016). Cameron & Dillon(2011)은 공간 청취(spatial hearing)에 어려움을 가지는 아동에게 12주간 목표 어음과 소음의 위치가 분리된 조건에서 목표 문장 내 단어를 인지하는 공간청능훈련을 시행하였다. 훈련 후 아동의 소음 하 문장인지역치(speech reception threshold)가 10 dB가량 향상하였을 뿐 아니라 아동의 집중력 및 기억력, 아동의 청취 능력에 대한 부모 설문 응답이 유의하게 개선되었다.

국내의 경우 난청 아동을 대상으로 목표 어음과 소음의 위치가 분리된 조건을 활용한 공간청능훈련을 시행한 연구가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 난청 아동에게 8주간 공간청능훈련을 시행하였으며, 본 연구를 통해 확인하고자 하는 연구 질문(research question)은 다음과 같다. 1) 공간청능훈련 후 목표 어음과 소음의 위치가 분리된 조건(spatially separated)과 분리되지 않은 조건(spatially co-located) 모두에서 소음 하 어음 인지도가 향상하는가? 2) 공간청능훈련의 효과가 훈련 종료 1개월 후까지 유지될 것인가? 3) 공간청능훈련이 부모가 주관적으로 느끼는 아동의 일상생활 청각 행동에 긍정적인 영향을 미칠 것인가?

## MATERIALS AND METHODS

### 연구 대상

본 연구에는 양이에 청각보조기기를 사용하는 청각장애 아동 13명(남 10명, 여 3명)이 참여하였다. 아동의 평균 연령은  $74.46 \pm 27.92$ 개월(연령 범위, 46~129개월)이었다. 13명 아동 중 8명은 양이에 인공와우를, 4명은 양이에 보청기를 사용하고 있었고, 나머지 1명은 바이모달(bimodal) 사용 아동으로 우측 귀에는 인공와우를 좌측 귀에는 보청기를 사용하고 있었다. 훈련에 참여한 아동 13명 중 10명은 말 지각 및 언어 습득에 결정적인 시기라고 보고된(Manrique et al., 2004) 24개월 이전에 단어 혹은 양이에 청각보조기기를 사용하기 시작하였으며, 나머지 3명은 24개월 이후에 기기를 사용하기 시작하였다.

대상 아동의 보장구 착용 후 청력 상태를 확인하기 위해 양측 청각보조기기를 착용한 후 음장청력검사를 시행하였다. 13명 참여 아동의 250~8,000 Hz 내 옥타브 단위 주파수에서의 청력역치는 주파수 순서대로 평균 27.31 (standard deviation [SD], 6.33), 28.85 (SD, 6.50), 31.15 (SD, 5.82), 31.15 (SD, 6.18), 30 (SD, 6.12), 43.08 dB hearing level (HL) (SD, 11.99)이었고, 500, 1,000, 2,000, 4,000 Hz 주파수의 평균순음역치(four-frequency pure tone average, 4fPTA)는 30.29 dB HL이었다(SD, 5.33). 13명 아동 중 양이 인공와우 착용 아동 8명의 평균 4fPTA는 31.41 dB HL (SD, 5.49; range, 21.25~40.00), 양이 보청기 혹은 바이모달 착용 아동 5명의 평균 4fPTA는 34.78 dB HL (SD, 5.11; range, 22.50~33.80)이었다. 한국어 보통대화레벨인 65 dB sound pressure level (SPL)에서 어음을 제시하고(Han & Lee, 2020) 음장어음청각검사를 시행한 결과, 양이 보장구 착용하였을 때 평균 단어인지도는 81.85% (SD, 8.54; range, 56~90%), 평균 문장인지도는 89.23% (SD, 10.38; range, 70~100%)였다.

취학 전 아동의 수용언어 및 표현언어 발달 척도(Preschool Receptive-Expressive Language Scale; Kim, 2000)를 통해 아동의 언어 발달을 평가한 결과, 평균 수용언어 연령은 5.88세 (SD, 1.95), 평균 표현언어 연령은 5.88세(SD, 1.82)였다. 참여 아동 모두 주된 의사소통 방식으로 청각 구화를 사용하고 있었으며, 청각장애 외에 다른 중복장애를 가진 경우는 없었다. 연구에 참여하기 전 대상 아동의 부모에게 본 연구의 목적, 방법 및 진행 절차에 대한 설명을 제공하였으며, 부모의 동의 후에 연구를 진행하였다.

### 실생활 소음을 활용한 공간청능훈련 절차

아동은 8주간 주 1회, 총 8회의 공간청능훈련에 참여하였다. 회기별 훈련은 40분, 부모 상담 10분으로 구성하였으며, 40분의

훈련 중 처음 5분은 라포 형성 및 안부 묻기, 다음 20분은 비교적 쉬운 난이도에서의 공간청능훈련, 그 다음 15분은 비교적 어려운 난이도에서의 공간청능훈련을 시행하였다. 훈련의 난이도 조절을 위해 아동의 반응에 따라 목표 문장의 길이, 신호대소음비, 보기 유무, 그림판 보기의 수 등을 조절하였다. 매회기별 훈련을 시작하기 전 Ling 6 sound 검사를 하거나 보청기 착용 아동의 경우 보청기의 성능 분석 결과를 확인하여 아동이 사용 중인 청각보조기기의 이상 유무를 확인한 후 청능훈련을 진행하였다.

Tyler et al.(2010)은 임상 현장에서 두 개의 라우드스피커를 통해 청능훈련을 시행한 결과 훈련의 난이도 조절 등의 면에서 장점이 있고, 양이 인공와우 착용 성인의 의사소통 개선에 긍정적인 효과가 있었다고 보고하였다. 이를 참조하여 본 연구에서도 두 개의 음장 라우드스피커(SMS-M70U; Samsung, Suwon, Korea)를 사용하여 공간청능훈련을 시행하였다. 라우드스피커는 아동의 좌측(-45° azimuth)과 우측(+45° azimuth), 아동으로부터 1미터 떨어진 곳에 위치시켰으며 아동 착석 시 귀 높이에 맞추었다. 선행 연구에서 목표 화자의 위치에 대한 정보가 성인 뿐 아니라 아동의 소음 하 어음인지에 혜택을 준다고 하였으므로(Kane et al., 2021), 본 연구에서는 목표 화자의 위치를 고정하지 않고 좌우 라우드스피커 중 한 개의 스피커에서는 목표 어음(문장)을, 나머지 다른 스피커에서는 소음을 제시하였으며, 두 개 스피커 중 목표 어음을 제시하는 스피커 순서는 무작위로 변경하였다.

훈련 도구로 Lee et al.(2017)이 개발한 아동용 청능훈련 문장과 그림판을 사용하였다. Lee et al.(2017)은 학령전기 아동이 듣고 이해할 수 있도록 어휘를 수집하여 총 1,616개의 문장 음원을 훈련에 활용할 수 있게 하였고, 훈련 시 문장을 듣고 단어를 따라 말하기가 어려운 경우 단어에 해당하는 그림을 선택할 수 있도록 그림판도 함께 제작하였다. 문장 음원의 자연성, 그림판의 적절성, 도구의 난이도 등을 검증한 바 있어, 본 연구에서는 아동의 연령 혹은 이해도에 따라 3~5개의 단어로 구성된 문장 중 훈련용 문장을 선택하여 사용하였다.

Lee et al.(2017)과 Lee et al.(2019)의 훈련 도구에서는 어음 스펙트럼잡음 혹은 다화자잡음 속에서 목표 문장을 제시하나, 본 연구에서는 실생활 소음을 훈련용 배경소음으로 사용하고자 하였다. 보청기 사용자를 대상으로 대상자들이 자주 접하는 실생활 소음의 종류와 어려움을 조사한 결과 변동하는 특징을 가진 실생활 소음에서 큰 어려움을 호소하였다(Wagener et al., 2008). Bjerg & Larsen(2006)은 난청인이 어려움을 호소한 실생활 환경을 방문하여 현장에서 실내의 소음 등을 녹음하고 여러 가지 음향학적 교정과 분석을 시행하였다. 본 연구에서는 Bjerg & Larsen(2006)의 실생활 소음 49개 중 아동이 일상적으로 자주 경험할 수 있고 변동 특성을 가진 10개의 소음을 훈련

의 배경소음으로 사용하였다([1] 학교 내 아이들이 떠드는 소음, [2] 식당 소음, [3] 횡단보도 소음, [4] 지하철역 소음, [5] 도로 소음, [6] 슈퍼마켓 소음, [7] 쇼핑센터 소음, [8] 부엌 소음, [9] 소규모 파티 소음, [10] 대규모 파티 소음). 청능훈련 시 목표 문장을 65 dB SPL에서 제시하고 위의 실생활 소음 음원을 -5, 0, 5, 10 dB 신호대소음비(signal-to-noise ratio, SNR)에서 제시할 수 있도록 Adobe Audition CC (Adobe System Inc., San Jose, CA, USA)를 이용하여 음원을 편집하였다.

청능훈련 시 난이도가 너무 쉬운 경우 참여 아동이 지루해할 수 있고, 너무 어려운 경우 좌절감과 스트레스를 느낄 수 있다. 따라서 청능훈련 시 80% 이상의 정반응을 보일 경우 더 어려운 난이도로, 30% 이하의 정반응을 보일 경우 더 쉬운 난이도로 훈련을 진행하였다. 만약 참여 아동 중 소음 하에서 들은 목표 문장을 듣고 따라 말하는 것이 어려운 경우, 문장 내 중심 단어에 해당하는 단어를 그림판에서 선택하여 답할 수 있게 하였다. 예를 들면 “강아지가 빨간색 1을 가리킨다.”가 목표 문장이었던 경우, 그림판(Lee et al., 2017)에서 ‘강아지’, ‘1’에 해당하는 그림을 각각 선택할 수 있었다. 훈련 시 아동이 목표 문장을 듣고 오반응을 보인 경우 최대 3회까지 제시한 후 피드백을 제공하였다.

### 청능훈련 효과 확인을 위한 평가 절차

청능훈련의 효과 확인을 위해 한국어 Matrix 소음 하 문장인지 검사(Kim & Lee, 2018)와 부모 보고 설문지인 한국어 버전 일상생활 청각 행동 설문(auditory behavior in everyday life questionnaire, ABEL)을 시행하였다(Choi et al., 2017). 한국어 Matrix 소음 하 문장인지검사에서는 10 × 5 행렬(matrix)에 포함된 50개 단어 중 5개 단어(주어, 형용사, 명사, 수사, 동사)를 무작위로 조합하여 문장을 제시한다. 본 연구에 참여한 아동이 성인처럼 문장 내 5개 단어를 모두 기억하여 대답하기 어려울 수 있어 Matrix 문장을 구성하는 단어 중 주어를 제외한 4개의 단어(형용사, 명사, 수사, 동사)로 구성된 문장을 이용하여(e.g., “예쁜 풍선 일곱 개를 판다”) Matrix 소음 하 문장인지 검사를 시행하였다. 검사 시 모든 목표 문장은 보통대화레벨인 65 dB SPL에서 제시하였다. Goldsworthy & Markle(2019)은 난청 아동을 대상으로 변동 혹은 비변동 소음 하에서 어음 인지도를 확인한 결과, 비변동 소음보다 변동 소음 하에서 난청의 영향을 확인하는 데 더 유리하다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 소음 하 문장인지 평가의 배경소음으로 Jung et al.(2023)이 제작한 2, 4, 8 Hz의 변동 비율을 가진 정현파 변동 소음(sinusoidally amplitude modulated noise)과 비변동 어음 스펙트럼 소음을 문장마다 무작위 순서로 변경하여 제시하였다.

소음 하 문장인지 평가는 목표 어음과 소음의 위치가 분리된 조건과 분리되지 않은 조건, 두 가지 듣기 조건에서 진행하

였다. 첫 번째로 목표 문장은 대상 아동의 정면(0° azimuth)에서, 소음은 대상 아동의 좌측(-90° azimuth) 혹은 우측(+90° azimuth)에서 제시한 경우(spatially separated condition) 5, 10 dB SNR에서 소음 하 문장인지를 측정하였다. 두 번째로 목표 문장과 소음을 정면 스피커(0° azimuth)에서 함께 제시한 경우(spatially co-located condition) 0, 5, 10 dB SNR에서 인지를 측정하였다. 본 연구에는 훈련을 받지 않은 아동 대조군을 포함하지 않았으므로 훈련 효과와 자연스러운 언어 발달에 의한 효과를 구분할 필요가 있었다. 따라서 청능훈련 시작 전(pre-training) 6주의 간격을 두고 사전 평가를 2회 실시한 후 훈련을 진행하였다. 8주의 공간청능훈련이 끝난 후 훈련 후(post-training) 평가를 시행하여 훈련 전 결과에 비해 훈련 후 결과가 유의하게 변화하였는지 확인하였다. 마지막으로 훈련 종료 1개월 후 동일한 검사를 재평가하여 훈련 효과가 유지되는지 유지 평가(retention)를 시행하였다. 모든 평가는 국제 표준에서 권고하는 소음허용수준(International Organization for Standardization, 2010)을 만족하는 방음실에서 실시하였고, 전기음향학적 교정을 시행한 청력검사기(AD629 audiometer; Interacoustics, Middelfart, Denmark), 라우드스피커(SP85A; RadioEar Corporation, New Eagle, PA, USA)를 사용하였다.

주관적 설문 평가로 부모가 청각장애 아동의 청각 행동을 평가할 수 있도록 고안한 한국어 버전 일상생활 청각 행동 설문 평가(ABEL; Choi et al., 2017)를 청능훈련 전후 2회 시행하였다. Choi et al.(2017)은 ABEL 설문 도구가 아동의 일상생활 청각 행동뿐 아니라 아동의 청각 경험에 따른 심리사회적 영역까지 평가한다는 장점이 있다고 보고하였다. ABEL 설문 평가는 4가지 영역(1: Aural-oral 영역 9개 문항, 2: Auditory awareness 영역 8개 문항, 3: Aural-oral+auditory awareness 영역 2개 문항, 4: Social/conversation skills 영역 5개 문항)에서 아동의 일상생활 청각 행동을 질문하며, 각 24개 문항에 대해 부모가 '전혀 아니다'(0), '거의 아니다'(1), '가끔'(2), '때때로'(3), '자주 그렇다'(4), '거의 그렇다'(5), '항상'(6) 중 하나를 선택한다. 전반적으로 점수가 높을수록 긍정적인 청각 행동 혹은 태도를 가졌음을 의미하며, Choi et al.(2017)의 선행 연구에서 48명의 청각장애 아동의 ABEL 점수가 평균 4.21 (SD, 0.87)이었다.

### 통계 분석

수집된 자료는 Statistical Product and Service Solution (SPSS version 25.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. Shapiro-Wilk 정규성 검정을 통하여 데이터의 정규성을 만족함을 확인하였으므로, 반복 측정된 이원배치 분산분석을 시행하여 평가 시기와 신호대소음비에 따라 중

속변수인 소음 하 문장인지도가 유의하게 달라지는지 확인하였다. Mauchly 구형성 검정 결과 구형성 가정에 위배되는 경우 Greenhouse-Geisser의 수정된 자유도와 F값을 확인하였으며, 주효과가 유의할 경우 Bonferroni 수정된 다중 비교를 시행하여 분석하였다. 훈련 전후 ABEL 설문 결과를 비교하기 위해 윌콕슨 부호순위검정(Wilcoxon's signed rank test)을 시행하였다.

## RESULTS

### 소음 하 문장인지도 결과

본 연구에서는 훈련을 시행하기 전 6주 간격으로 소음 하 문장인지도 평가를 2회 시행하였고, 8주간의 공간청능훈련이 종료된 직후와 훈련 종료 1개월 후에 재평가를 시행하여 청능훈련의 효과를 확인하였다. Figure 1은 목표 어음과 소음의 위치가 분리된(spatially separated) 조건에서 평가 시기(pre-training 1, pre-training 2, post-training, retention)와 신호대소음비(5, 10 dB SNR)에 따른 평균 소음 하 문장인지를 보여준다. 반복 측정된 이원분산분석 결과, 평가 시기에 따른 주효과는 유의하였고( $F_{(1,32, 15.79)} = 41.89, p < 0.01$ ) 신호대소음비에 따른 주효과는 유의하지 않았다( $F_{(1, 12)} = 2.06, p = 0.18$ ). Bonferroni 수정된 다중 비교 분석 결과 두 번의 사전 평가 결과(pre-training 1, pre-training 2), 훈련 후(post-training)와 유지 평가(retention) 결과 간 차이는 유의하지 않았다. 훈련 전에 비해 훈련 후(post-training) 혹은 유지 평가(retention) 결과는 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 두 변수 간 이원상호작용은 유의하지 않았으며( $F_{(1,46, 17.48)} = 0.98, p = 0.37$ ), 5 dB SNR과 10 dB SNR 모두에서 훈련 전보다 훈련 후 소음 하 문장인지도가 약 22~25%가량 증가하였다.

Figure 2는 목표 어음과 소음을 정면 스피커(0° azimuth)에서 함께 제시하여 위치분리 없는(spatially co-located) 조건에서의 결과를 보여준다. 반복측정 이원분산분석 결과, 평가시기( $F_{(3, 36)} = 68.35, p < 0.01$ )와 신호대소음비에 따라( $F_{(1,35, 16.24)} = 43.31, p < 0.01$ ) 소음 하 문장인지도가 유의하게 달랐으며, 두 변수 간 이원상호작용은 유의하지 않았다( $F_{(6, 72)} = 0.83, p = 0.55$ ). Bonferroni 수정된 대응별 다중 비교 결과, 훈련 전에 비해 훈련 후 혹은 유지 평가에서 소음 하 인지도가 약 22~25%가량 유의하게 증가하였다( $p < 0.05$ ). 두 번의 훈련 전 평가 결과 간 유의한 차이가 없었고, 훈련 후 결과와 유지 평가 결과 또한 유의하게 다르지 않았다. 세 가지 신호대소음비 중 0 dB SNR보다 5 dB SNR에서 소음 하 인지도가 16%가량 유의하게 더 높았고, 5 dB SNR보다 10 dB SNR에서의 인지도가 약 11%가량 더 높았다( $p < 0.05$ ).

**일상생활 청각 행동 설문 결과**

본 연구에서는 청능훈련 전후 Choi et al.(2017)의 한국어 버전 ABEL 설문 평가를 시행하였고, 영역별 혹은 전체 점수를 비교하였다. Figure 3은 네 가지 영역별(1: Aural-oral, 2: Auditory awareness, 3: Aural-oral + auditory awareness, 4: Social/conversation skills) ABEL 점수와 전체 평균 점수를 보여준다. 먼저, 훈련 전 응답한 영역별 평균 점수는 위 1~4의 순서대로 평균 4.46 (SD, 0.80), 4.07 (SD, 0.65), 4.96 (SD, 1.88), 3.43 (SD, 0.58)이었고, ABEL 전체 점수는 평균 4.23 (SD, 0.54; range, 4.33~5.67)이었다. 훈련 후 측정된 영역별 평균 점수는 위 순서대로 평균 4.92 (SD, 0.40), 4.54 (SD, 0.40), 5.15 (SD, 0.75), 3.98 (SD, 0.28)이었고, ABEL 전체 점수는 평균 4.65 (SD, 0.26; range, 4.23~5.29)였다.

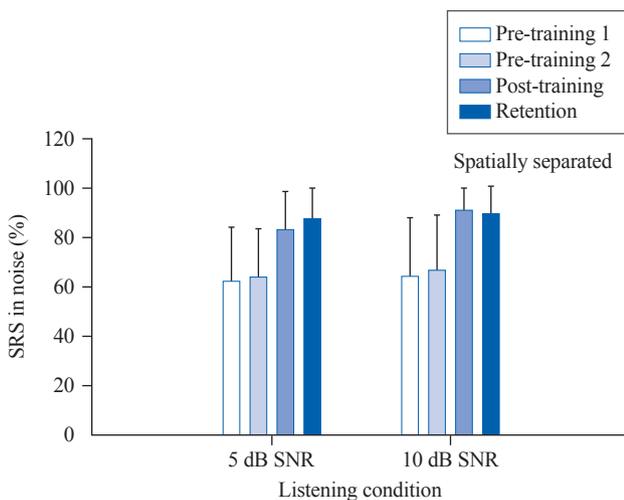
윌콕슨 부호순위 비모수 검정 결과, 네 개의 ABEL 영역 중 세 개의 영역(aural-oral, auditory awareness, social/conversation skills) 점수와 ABEL 전체 점수 모두 유의하게 증가하였다(aural-oral,  $Z = -2.23$ ; auditory awareness,  $Z = -2.56$ ; social/conversation skills,  $Z = -2.68$ ; ABEL 전체 점수,  $Z = -2.62$ ;  $p < 0.05$ ). Aural-oral + auditory awareness 영역은 유의한 변화를 보이지 않았으나 이 영역에서는 단 두 개의 문항만을 포함하고 있으므로, 공간청능훈련이 아동의 일상생활 청각 행동 전반에 긍정적인 영향을 미쳤다고 볼 수 있겠다.

**DISCUSSION**

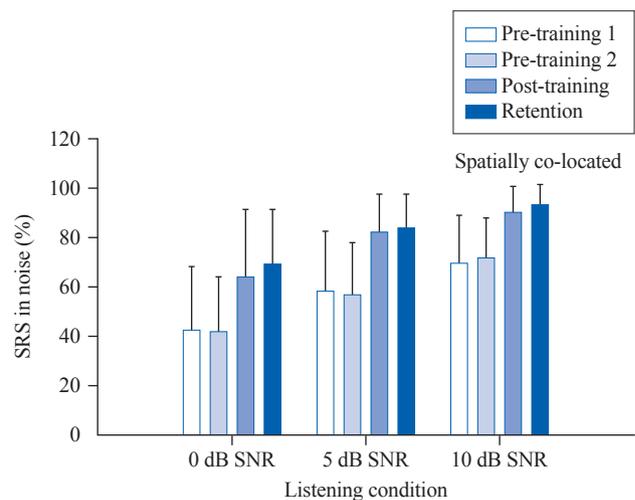
청각장애 아동의 경우 여러 방향에서 화자가 이야기하는 그룹 대화 상황이나 다양한 방향에서 소음이 제시되는 듣기 상황에

서 의사소통의 어려움을 경험한다(Holmes et al., 2017; Ward & Grieco-Calub, 2022). 보청기 혹은 인공와우 등의 청각보조기기 사용으로 가청 정도(audibility)와 조용한 상황에서의 어음인지 능력은 개선될 수 있으나 중추청각처리단계에서 처리하는 방향분별(localization), 측분별(lateralization)을 향상하는 데는 한계가 있을 수 있으므로, 이러한 경우 서로 다른 위치에서 목표 어음과 소음을 제시하는 공간청능훈련을 시행해 볼 수 있다. 본 연구에서는 13명의 난청 아동에게 실생활 소음을 활용하여 8주간 공간청능훈련을 시행하였고, 소음 하 문장인지와 ABEL 부모 보고형 설문을 통해 훈련의 효과가 있는지 확인하였다. 데이터 분석 결과, 공간청능훈련 후 목표 어음과 소음의 위치가 분리된 조건과 분리되지 않은 조건 모두에서 훈련 전보다 훈련 후 소음 하 문장인지도가 유의하게 증가하였다. 이와 같은 긍정적인 공간청능훈련의 효과는 훈련 종료 1개월 후까지 유지되었으며, 부모의 주관적 설문 응답에서도 공간청능훈련이 아동의 일상생활 청각 행동에 전반적으로 긍정적인 영향을 미쳤다. 이는 공간청능훈련 후 난청인의 양이청각정보처리 능력이 개선되어 다른 방향에서 제시된 소음은 무시하고 목표 어음에 보다 선택적으로 집중할 수 있었다고 보고한 국외 선행 연구들과 유사하다(Cameron & Dillon, 2011; Coudert et al., 2023; Jarollahi et al., 2019; Lotfi et al., 2016; Tyler et al., 2010).

Tyler et al.(2010)은 청각보조기기 사용에도 불구하고 소음 하 어음인지에 어려움을 보이는 경우 다양한 공간 청취 환경을 통해 목표 어음과 소음의 위치를 탐지 및 분리, 처리하는 과정을 포함하는 공간 청취 훈련이 양이정보처리 능력 개선에 도움이 될 수 있다고 하였다. Tyler et al.(2010)은 데이터 분석을 통해 2개의 라우드스피커만으로 공간 청취 훈련이 가능하며, 훈련 후 난



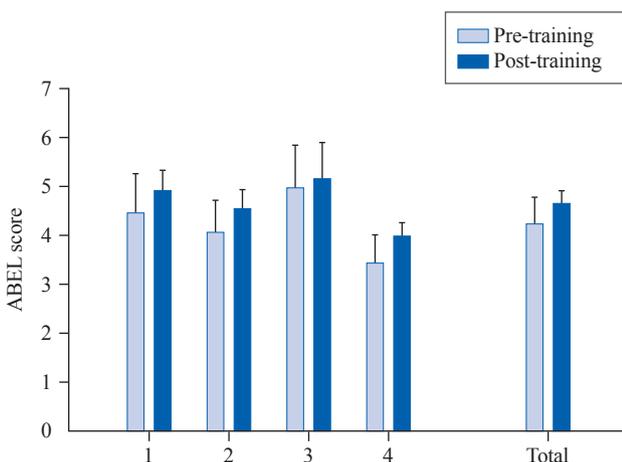
**Figure 1.** Mean sentence recognition score (SRS) in noise obtained from 1st and 2nd pre-training, post-training, and retention tests in spatially separated listening condition. SNR: signal-to-noise ratio.



**Figure 2.** Mean sentence recognition score (SRS) in noise obtained from 1st and 2nd pre-training, post-training, and retention tests in spatially co-located listening condition. SNR: signal-to-noise ratio.

청인의 소음 하 양이청취 능력이 개선되고 소리방향분별 능력이 개선되었음을 보고하였다. Cameron & Dillon(2011)은 수평면 상에서 목표 어음과 소음의 위치를 90° 분리한 가상의 공간 청취 상황에서 12주간 공간청능훈련을 시행한 결과, 목표 어음과 소음의 위치를 분리한 조건에서 아동의 소음 하 어음인지도가 향상하고 주관적 부모 보고 결과 또한 긍정적으로 변화하였다고 보고하였다. Lotfi et al.(2016)은 60명의 중추청각처리장애 아동에게 양이시간차 정보를 가진 소리들의 위치를 탐지하는 공간 청능훈련을 시행하였고, 훈련 후 공간 청취 능력과 공간 집중력이 증가하였다고 하였다. Coudert et al.(2023)은 가상현실 시스템을 통해 양이 인공와우 사용 성인에게 방향 혹은 높이가 무작위로 변하는 소리의 위치를 확인하는 공간 청취 훈련을 시행하였고, 4회와 8회의 훈련 후, 훈련 종료 1개월 후 결과를 비교하였다. 분석 결과 4회의 훈련 후 유의미한 개선을 확인하지 못하였으나, 8회의 훈련 후 위치분별 능력과 Matrix 소음 하 문장인지 모두 유의하게 향상하였고 훈련의 효과가 훈련 종료 1개월 후까지 유지되었다. Valzolgher et al.(2023)은 한쪽 귀에만 인공와우를 사용하여 비대칭 청력을 가진 난청인에게 가상현실 시스템을 통해 공간 청취 훈련을 시행하였고, 소리의 방향분별력은 증가하고 방향분별오류가 감소하였다. 따라서 기관을 방문하는 것이 어려운 아동의 경우 집에서 소프트웨어 혹은 가상현실 시스템을 통해 공간청능훈련을 시도해 볼 것을 권장하며, 국내 청각장애인에게 활용 가능한 가상현실 시스템을 통한 공간청능훈련 프로토콜을 개발하는 것이 필요하겠다.

난청 아동의 경우 건청 아동에 비해 목표 어음과 소음의 위치 분리로 인한 혜택(spatial release from masking) 정도가 작은 편이며, 난청의 정도, 형태, 편측 혹은 양측 난청 여부



**Figure 3.** Mean Auditory Behavioral in Everyday Life (ABEL) scores obtained from pre- and post-training tests (1: Aural-oral, 2: Auditory awareness, 3: Aural-oral + auditory awareness, 4: Social/conversation skills).

가 공간 청취 능력에 영향을 미칠 수 있다(Ching et al., 2011; Gorodensky et al., 2019; Johnstone & Litovsky, 2006; Litovsky, 2005; Misurelli & Litovsky, 2012; Misurelli & Litovsky, 2015). 공간청능훈련을 시행한 여러 선행 연구들의 훈련 구성과 프로토콜에 차이가 있었으나(Cameron & Dillon, 2011; Coudert et al., 2023; Jarollahi et al., 2019; Lotfi et al., 2016, Tyler et al., 2010; Valzolgher et al., 2023), 전반적으로 각 연구에서 시행한 공간청능훈련이 소리방향분별 능력, 음원 간 위치 분리가 이루어진 소음 하 어음인지 등에 긍정적인 영향을 주었다. 본 연구에서는 훈련 전후 인지도를 비교한 것뿐 아니라 훈련 종료 1개월 후에도 재평가를 하여 훈련 효과가 유지되는지 확인하였다. 분석 결과 유지 평가 결과에서도 목표 어음과 소음의 위치가 분리된 조건뿐 아니라 목표 어음과 소음이 정면에서 함께 제시되는 더 어려운 조건에서도 공간청능훈련의 효과가 유지되었다. 본 연구에서 시행한 공간청능훈련으로 아동이 서로 다른 위치에서 제시된 목표 어음과 소음을 분리하는 양이 정보처리 능력과 이를 통해 목표 어음에 보다 집중하는 선택적 집중력이 향상하였고, 이것이 음원 간 위치 분리가 없는 소음 상황에서 목표 어음 인지에 도움이 되었을 것으로 생각한다.

본 연구의 훈련에 참여한 아동의 부모들에게 본 연구에서 시행한 공간청능훈련의 실효성에 대한 주관적인 의견을 조사한 결과, 실제로 일상에서 자주 접하는 실생활 소음 속에서 청능훈련을 받을 수 있었던 것이 아동의 일상적인 듣기 생활을 개선시키는 면에서 유익하였다고 보고하였다. 예를 들어, 훈련 전에는 교실에서 목표 화자인 선생님 또는 친구들이 움직일 때, 여러 친구들이 번갈아가며 이야기하는 환경에서 큰 어려움을 경험하였으나, 훈련 후 이러한 상황에서의 어려움이 많이 개선되었다고 하였다. Iglehart(2016)은 여러 반향 조건을 포함한 교실 음향 상황에서 건청 아동과 난청 아동의 인지도를 측정된 결과, 청능사가 임상에서 주로 시행하는 음향 부스에서 고정된 방향에서 어음을 제시하고 측정한 어음인지는 교실에서의 아동의 실제 인지 능력을 반영하는 데 한계가 있다고 하였다. 이러한 점을 고려하였을 때 일상에서 목표 화자나 소음의 위치가 변화하는 상황을 자주 접하는 아동에게 공간 청취 능력(spatial hearing)의 평가 및 훈련은 매우 중요하겠다.

본 연구는 여러 제한점을 가지고 있다. 첫 번째 제한점은 두 개의 라우드스피커 공간 청취 환경을 이용하였다는 점이다. 대체적으로 연구를 목적으로 설립한 기관이 아닌 경우 임상 청각검 사실에 5~6개의 라우드스피커 공간 청취 환경을 만들기 어렵기 때문에, 임상 현장에 흔하게 설치되어 있는 두 개의 라우드스피커 환경을 이용하여 목표 어음과 소음의 위치를 무작위로 변경하는 공간청능훈련을 시행하였다. 본 연구와 Tyler et al.(2010)의 결과 모두에서 두 개의 라우드스피커를 이용한 공간청능훈련

후 소음 하 어음인지도가 증가하여 긍정적인 훈련 효과를 확인하였다. 그러나 두 개의 라우드스피커만으로 난청 아동이 실제로 경험하게 되는 입체적 청각 환경을 완벽하게 재현할 수 없었다는 한계점을 가진다. 두 번째로, 본 연구에 참여한 난청 대상 아동이 총 13명으로 참여 아동의 수가 비교적 적었다. 청능훈련에 참여하기 위해 아동은 보호자와 함께 매주 기관을 방문하여야 하였고, 아동뿐 아니라 부모의 시간적 스케줄도 가능해야 하였기에 많은 대상자를 참여시키는 데 한계가 있었다. 세 번째 제한점은 본 연구에서는 유지 평가를 훈련 종료 1개월 후에 시행하였다는 점이다 Lee et al.(2019)의 경우 보청기 착용 아동을 대상으로 소음 하 어음인지 청능훈련을 시행하였고 훈련의 효과가 훈련 종료 4개월까지도 유지됨을 확인하였다. 본 연구에는 비훈련 아동 대조군이 없었으므로 훈련에 참여한 아동을 대상으로 보다 정기적인 유지 평가를 시행하는 것이 훈련 효과를 밝히는 데 더 효과적일 수 있겠다.

**중심 단어:** 공간청능훈련, 실생활 소음, 공간 청취, 위치 분리 혜택.

### Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Hallym University of Graduate Studies (#IRB: HUGSAUD 681759).

### Acknowledgments

N/A

### Declaration of Conflicting Interests

There is no conflict of interests.

### Funding

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2022S1A5A2A01048596).

### Author Contributions

Conceptualization: Euna Choi, Jae Hee Lee. Data collection and Formal analysis: Euna Choi. Funding acquisition: Jae Hee Lee. Writing—original draft: Euna Choi. Writing—review & editing: all authors. Approval of final manuscript: all authors.

### ORCID iDs

Euna Choi <https://orcid.org/0009-0006-6691-5678>

Jae Hee Lee <https://orcid.org/0000-0002-4152-6434>

## REFERENCES

- Acoustical Society of America. (2010). *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools*. Melville, NY: Acoustical Society of America.
- Bjerg, A. P. & Larsen, J. N. (2006). Recording of natural sounds for hearing aid measurements and fitting (Master's thesis). Kongens Lyngby: Technical University of Denmark.
- Brännström, K. J., Johansson, E., Vigertsson, D., Morris, D. J., Sahlén, B., & Lyberg-Åhlander, V. (2017). How children perceive the acoustic environment of their school. *Noise and Health, 19*(87), 84-94.
- Cameron, S. & Dillon, H. (2011). Development and evaluation of the LiSN & learn auditory training software for deficit-specific remediation of binaural processing deficits in children: Preliminary findings. *Journal of the American Academy of Audiology, 22*(10), 678-696.
- Cameron, S., Glyde, H., & Dillon, H. (2012). Efficacy of the LiSN & learn auditory training software: Randomized blinded controlled study. *Audiology Research, 2*(1), e15.
- Cameron, S., Mealings, K. T., Chong-White, N., Young, T., & Dillon, H. (2020). The development of the listening in spatialised noise-universal test (LiSN-U) and preliminary evaluation in English-speaking listeners. *International Journal of Audiology, 59*(4), 263-271.
- Ching, T.Y., van Wanrooy, E., Dillon, H., & Carter, L. (2011). Spatial release from masking in normal-hearing children and children who use hearing aids. *The Journal of the Acoustical Society of America, 129*(1), 368-375.
- Choi, J., Yoon, K., & Jang, H. (2017). Validity and reliability of Korean version of the auditory behavior in everyday life questionnaire. *Audiology and Speech Research, 13*(1), 19-27.
- Coudert, A., Verdelet, G., Reilly, K. T., Truy, E., & Gaveau, V. (2023). Intensive training of spatial hearing promotes auditory abilities of bilateral cochlear implant adults: A pilot study. *Ear and Hearing, 44*(1), 61-76.
- Crandell, C. C. & Smaldino, J. J. (2000). Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools, 31*(4), 362-370.
- Fitzpatrick, E. M., Crawford, L., Ni, A., & Durieux-Smith, A. (2011). A descriptive analysis of language and speech skills in 4- to 5-yr-old children with hearing loss. *Ear and Hearing, 32*(5), 605-616.
- Fitzpatrick, E. M., Gaboury, I., Durieux-Smith, A., Coyle, D., Whittingham, J., & Nassrallah, F. (2019). Auditory and language outcomes in children with unilateral hearing loss. *Hearing Research, 372*, 42-51.
- Gohari, N., Dastgerdi, Z. H., Rouhbakhsh, N., Afshar, S., & Mobini, R. (2023). Training programs for improving speech perception in noise: A review. *Journal of Audiology and Otology, 27*(1), 1-9.
- Goldsworthy, R. L. & Markle, K. L. (2019). Pediatric hearing loss and speech recognition in quiet and in different types of background noise. *Journal of Speech Language and Hearing Research, 62*(3), 758-767.
- Gorodensky, J. H., Alemu, R. Z., Gill, S. S., Sandor, M. T., Papsin, B. C., Cushing, S. L., et al. (2019). Binaural hearing is impaired in children with hearing loss who use bilateral hearing aids. *The Journal of the Acoustical Society of America, 146*(6), 4352-4362.
- Han, Y. K. & Lee, K. (2020). A study on the Korean conversation speech level and spectrum in sound-treated environment. *Audiology and*

- Speech Research*, 16(2), 133-139.
- Hick, C. B. & Tharpe, A. M. (2002). Listening effort and fatigue in school-age children with and without hearing loss. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 45(3), 573-584.
- Holmes, E., Kitterick, P. T., & Summerfield, A. Q. (2017). Peripheral hearing loss reduces the ability of children to direct selective attention during multi-talker listening. *Hearing Research*, 350, 160-172.
- Hornsby, B. W. Y., Davis, H., & Bess, F. H. (2021). The impact and management of listening-related fatigue in children with hearing loss. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 54(6), 1231-1239.
- Iglerhart, F. (2016). Speech perception in classroom acoustics by children with cochlear implants and with typical hearing. *American Journal of Audiology*, 25(2), 100-109.
- International Organization for Standardization. (2010). *Acoustics-Audiometric Test Methods-Part 1: Pure-Tone Air and Bone Conduction Audiometry*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jarollahi, F., Amiri, M., Jalaie, S., & Sameni, S. J. (2019). The effects of auditory spatial training on informational masking release in elderly listeners: A study protocol for a randomized clinical trial. *F1000Research*, 8, 420.
- Johnstone, P. M. & Litovsky, R. Y. (2006). Effect of masker type and age on speech intelligibility and spatial release from masking in children and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(4), 2177-2189.
- Jung, J., Lim, B. D., Shin, H., & Lee, J. H. (2023). Benefits from spatial separation and fluctuating masker on sentence-in-noise recognition in normal-hearing and hearing-impaired listeners. *Audiology and Speech Research*, 19(2), 104-115.
- Kane, S. G., Dean, K. M., & Buss, E. (2021). Speech-in-speech recognition and spatially selective attention in children and adults. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 64(9), 3617-3626.
- Kim, K. H. & Lee, J. H. (2018). Evaluation of the Korean Matrix sentence test: Verification of the list equivalence and the effect of word position. *Audiology and Speech Research*, 14(2), 100-107.
- Kim, Y. T. (2000). Content and reliability analyses of the preschool receptive-expressive language scale (PRES). *Communication Sciences and Disorders*, 5(1), 1-25.
- Knecht, H. A., Nelson, P. B., Whitelaw, G. M., & Feth, L. L. (2002). Background noise levels and reverberation times in unoccupied classrooms: Predictions and measurements. *American Journal of Audiology*, 11(2), 65-71.
- Lee, J. I., Bang, J., & Lee, J. H. (2017). Development and verification of auditory training tool for children. *Audiology and Speech Research*, 13(2), 123-132.
- Lee, Y., Hwang, H., & Lee, J. H. (2019). Efficacy of auditory training on speech recognition in children wearing hearing aids. *Audiology and Speech Research*, 15(4), 249-257.
- Litovsky, R. Y. (2005). Speech intelligibility and spatial release from masking in young children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(5), 3091-3099.
- Lotfi, Y., Moosavi, A., Abdollahi, F. Z., Bakhshi, E., & Sadjedi, H. (2016). Effects of an auditory lateralization training in children suspected to central auditory processing disorder. *Journal of Audiology and Otology*, 20(2), 102-108.
- Manrique, M., Cervera-Paz, F. J., Huarte, A., & Molina, M. (2004). Advantages of cochlear implantation in prelingual deaf children before 2 years of age when compared with later implantation. *The Laryngoscope*, 114(8), 1462-1469.
- Misurelli, S. M. & Litovsky, R. Y. (2012). Spatial release from masking in children with normal hearing and with bilateral cochlear implants: Effect of interferer asymmetry. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 132(1), 380-391.
- Misurelli, S. M. & Litovsky, R. Y. (2015). Spatial release from masking in children with bilateral cochlear implants and with normal hearing: Effect of target-interferer similarity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(1), 319-331.
- Nanjundaswamy, M., Prabhu, P., Rajanna, R. K., Ningegowda, R. G., & Sharma, M. (2018). Computer-based auditory training programs for children with hearing impairment-a scoping review. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 22(1), 88-93.
- Neuman, A. C., Wroblewski, M., Hajicek, J., & Rubinstein, A. (2010). Combined effects of noise and reverberation on speech recognition performance of normal-hearing children and adults. *Ear and Hearing*, 31(3), 336-344.
- Sundaravadhanan, G., Selvarajan, H. G., & McPherson, B. (2017). Classroom listening conditions in Indian primary schools: A survey of four schools. *Noise and Health*, 19(86), 31-40.
- Tomblin, J. B., Harrison, M., Ambrose, S. E., Walker, E. A., Oleson, J. J., & Moeller, M. P. (2015). Language outcomes in young children with mild to severe hearing loss. *Ear and Hearing*, 36 Suppl 1(1), 76S-91S.
- Tyler, R. S., Witt, S. A., Dunn, C. C., & Wang, W. (2010). Initial development of a spatially separated speech-in-noise and localization training program. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21(6), 390-403.
- Valente, D. L., Plevinsky, H. M., Franco, J. M., Heinrichs-Graham, E. C., & Lewis, D. E. (2012). Experimental investigation of the effects of the acoustical conditions in a simulated classroom on speech recognition and learning in children. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 232-246.
- Valzoghger, C., Bouzaid, S., Grenouillet, S., Gatel, J., Ratenet, L., Murenu, F., et al. (2023). Training spatial hearing in unilateral cochlear implant users through reaching to sounds in virtual reality. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 280(8), 3661-3672.
- Wagener, K. C., Hansen, M., & Ludvigsen, C. (2008). Recording and classification of the acoustic environment of hearing aid users. *Journal of the American Academy of Audiology*, 19(4), 348-370.
- Ward, K. M. & Grieco-Calub, T. M. (2022). Age and hearing ability influence selective attention during childhood. *Ear and Hearing*, 43(4), 1125-1138.
- Yuen, K. C. & Yuan, M. (2014). Development of spatial release from masking in mandarin-speaking children with normal hearing. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 57(5), 2005-2023.