

감각신경성난청인의 비선형 주파수압축보청기 착용효과: 사례보고

Effects of Non-linear Frequency Compression Hearing Aids for Subjects with Sensorineural Hearing Loss: Case Report

¹한림대학교 일반대학원 언어병리청각학과, ²한림국제대학원대학교 청각학과
주연미¹ · 이경원²

Yeonmi Joo¹ and Kyoung Won Lee²

¹Department of Speech Pathology and Audiology, Graduate School, Hallym University, Chuncheon, Korea

²Department of Audiology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

ABSTRACT

The purpose of this study was to report three cases about how aided hearing threshold levels, word recognition score (WRS) and subjective responses changed when the frequency compression (FC) function was deactivated or activated in non-linear frequency compression hearing aid. Three subjects (6 ears) with sensorineural hearing loss bilaterally and with no history of wearing hearing aids before participated in this study. All the participants wore receiver-in-the canal type digital hearing aids with 20 channels. After the FC function was activated, the results showed better aided hearing threshold levels by 5 ~ 20 dB and improved WRS by 6 ~ 14% mostly in high frequency range compared to those of non-frequency compression (NFC). Their subjective responses of sound qualities showed positively better compared to those of the NFC. This study strongly suggests that in case of people whose hearing loss is severe in the high frequency range, FC hearing aids can help to result in better WRS. However, the future study to accurately evaluate an effect of FC hearing aid used for subjects with sensorineural hearing loss will need more elaborate design and to evaluate the changes of gain in both psychosocial and listening-environmental aspects by using other questionnaires.

Key words : Frequency lowering, Frequency compression, Hearing aid, Frequency compression threshold, Frequency Compression ratio, Sensorineural hearing loss

논문접수일: 2014년 12월 2일
논문수정일: 2015년 1월 16일
게재확정일: 2015년 1월 19일
교신저자: 이경원, 서울시 강남구 대치동 역삼로 427
한림국제대학원대학교 청각학과
Tel: (02) 2051-4951, Fax: (02) 3453-6618
E-mail: leekw@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

저주파수에 비해 고주파수 대역의 청력손실이 심한 난청인이 기도보청기를 착용했을 때 음향피드백으로 인해 이득을 높이기가 어려우며 음질에 나쁜 영향을 줄 수 있다(Baker et al., 2001). 또한 청력역치

(hearing threshold level) 또는 단어인지도(word recognition score)의 개선이 어려우며 이로 인해 의사소통에 많은 지장을 초래할 수 있다. 고주파수 대역에 심한 청력손실을 가진 난청인의 경우 인공와우의 시술을 생각해 볼 수 있으나 수술에 대한 부담이 있기 때문에 고주파수 대역의 정보를 잔존청력이 많이 남아있는 주파수 대역으로 압축 또는 이동하여 듣게 하는 주파수압축보청기(frequency compression hearing aid)의 착용을 고려할 수 있다. Simpson (2009)에 따르면 현재 사용하고 있는 주파수압축보청기는 고주파수의 정보를 저주파수 대역으로 이동하여 저주파수와 같이 듣게 하는 주파수전위(frequency transposition), 전주파수 대역을 일정한 비율로 압축하는 선형주파수압축(linear frequency compression), 특정 주파수 대역 이상의 주파수만 비선형적으로 압축하는 비선형주파수압축(non-linear frequency compression) 보청기 등으로 구분하고 있다. 이 외에도 주파수압축보청기는 고주파수의 정보를 복사하여 잔존청력에 붙여 넣는 주파수 이동(frequency shift), 고주파수의 필요한 정보만을 추출하여 잔존청력으로 이동하여 듣게 하는 방법 등이 있다.

주파수압축보청기와 관련하여 2000년대 이후의 연구를 살펴보면 성인의 경우 비선형압축 방식을 사용하였을 때 Simpson et al.(2005)는 6%의 음소인지도가 개선되었으며, Reed et al.(2006)은 뚜렷한 단어인지도의 개선을 나타내지 않았다고 보고하였다. 그리고 Kuk(2007), Robinson et al.(2007)의 경우는 주파수이동 방식을 이용했을 때 마찰음 등 단어인지도가 17 ~ 20% 정도 개선되었다고 보고하였다.

국내의 연구로는 주현민 외(2012)의 사례에서 고주파수의 정보를 복사하여 잔존청력에 붙여 넣는 방식(Spectral iQ)의 기능을 활성화했을 때 증폭역치(aided hearing threshold level) 및 단어인지도가 개선되었다고 보고하였다. 선행 연구에서 살펴보았듯이 주파수압축보청기에 의한 어음인지도의 개선효과는 다양하게 나타났다. 그러나 영어에 비해서 자음의 수가 적으며, 어음스펙트럼이 다른 한국어(이경원 외, 2008; Von Hapsburg & Bahng, 2006)를 사용하는 난청인의 경우 주파수압축(frequency compression, FC) 기능이 증폭역치와 단어인지도 및 음질의 개선에 어느 정도 효과가 있는지에 대한 연구는 부족한 편이다.

본 사례보고에서는 보청기를 착용한 경험이 없는 감각신경성난청인이 비선형 주파수압축보청기를 착용한 후 FC 기능을 활성화 했을 때 증폭역치, 단어인지도 및 음질에 대한 개선이 어떻게 변화하는지를 살펴보고자 하였다.

MATERIALS & METHODS

1. 연구대상

본 연구에는 육안검사 시 외이도 및 고막에 이상이 없으며, 기골도차(air-bone gap)가 10 dB 이내로 50대 연령의 감각신경성난청인 3명의 6귀를 대상으로 하였다. 모든 대상자는 과거에 보청기를 착용한 경험이 없었으며, 20개 채널의 개방형(RIC type) 디지털보청기를 양측에 착용하였다. 대상자의 순음기도 청력은 Table 1과 같다.

Table 1. 대상자의 옥타브밴드 주파수 별 순음기도청력(dB HL)

Subjects	side	Frequency (Hz)						
		250	500	1,000	2,000	3,000	4,000	8,000
S1	R	15	25	40	55	60	70	95
	L	15	30	50	75	80	110	100
S2	R	25	30	55	80	80	80	85
	L	20	30	35	65	80	85	80
S3	R	15	20	55	60	70	80	95
	L	20	20	40	65	85	80	85

2. 연구장비

보청기착용 전 순음 기도 및 골도청력 그리고 단어 인지도 검사는 Siemens 사의 Unity2와 TDH-39 헤드 폰을 사용하였다. 보청기착용 후의 증폭역치와 단어인지도는 방음실에서 보청을 실시한 스피커에서 측정하였으며, 단어인지도는 한국산업표준 성인용 단음절어표(김진숙 외, 2008; 한국산업표준, 2009)를 사용하였다.

3. 보청기적합 절차

보청기는 순음 기도 및 골도청력을 보청기적합소프트웨어에 입력한 후 제조사의 보청기적합공식용 방식(Adaptive Phonak Digital)을 사용하여 적합하였다. 1, 2회차의 보청기적합은 비주파수압축(non-frequency compression, NFC)으로 하였으며, 4주 후

3회차부터 FC 기능을 활성화 하였다. 그리고 4회차 이후부터는 피검자의 방문 시 음질에 별 다른 차이를 느끼지 못할 때 압축을 시작하는 주파수 즉, 주파수압축역치(frequency compression threshold = cut-off frequency) 그리고 비압축과 압축 시의 주파수범위의 비율을 나타내는 주파수압축비(frequency compression ratio)는 대상자가 선호하는 반응을 토대로 조절하였다. 보청기의 이득과 주파수반응곡선, 최대출력, 압축역치와 압축비율 등의 전기음향적 특성은 최초 보청기적합 시의 상태를 그대로 유지하였고 8주 동안 2주 간격의 사후조정(follow-up)을 총 5회 실시하였다. 방문 회차에 따른 보청기의 주파수압축역치 및 주파수압축비는 Table 2와 같으며, 주파수압축역치 및 주파수압축비는 보청기적합 소프트웨어에 나타난 값을 표기하였다.

Table 2. 보청기 착용 시 주파수압축비의 변화

대상자	착용귀	방문 회차			
		1, 2회차	3회차	4회차	5회차
			FCT (kHz)/FCR	FCT (kHz)/FCR	FCT (kHz)/FCR
S1	R	NFC	3.3 / 1.7:1	2.4 / 1.8:1	2.3 / 1.9:1
	L	NFC	2.7 / 1.7:1	2.3 / 1.8:1	1.7 / 1.9:1
S2	R	NFC	3.3 / 2.2:1	2.8 / 2.1:1	2.0 / 1.9:1
	L	NFC	3.3 / 2.2:1	2.8 / 2.1:1	2.4 / 2.0:1
S3	R	NFC	2.7 / 2.0:1	2.3 / 1.9:1	1.7 / 1.8:1
	L	NFC	2.7 / 2.0:1	2.3 / 1.9:1	1.7 / 1.8:1

*Note. NFC; 비주파수압축(non-frequency compression), FCT; 주파수압축역치(cut-off frequency), FCR; 주파수압축비(frequency compression ratio)

4. 보청기 착용효과의 평가

보청기착용 후 증폭역치와 단어인지도는 방음실에서 음향보청을 실시한 외부 스피커를 이용하여 한 쪽씩 각각 측정하였다. 청력역치가 비교적 좋은 저주파수의 증폭역치를 측정할 때의 비검사 귀는 협대역잡음을 이용하여 차폐하였으나 단어인지도 측정 시에는 차폐를 하지 않았다. 그리고 보청기 착용 후의 단어인지도는 CD에 기록된 성인용 단음절어표의 목록 4개를 무작위로 사용하였으며, 제시어음의 강도는 평균 대화

음의 강도인 45 dB HL (65 dB SPL)로 제시하였다. 대상자의 주관적인 반응은 조용한 곳 또는 소음이 있는 곳 등 다양한 환경에서의 음질 또는 의사소통에 대한 소감을 말하게 하여 기록한 후 정리하였다.

RESULTS

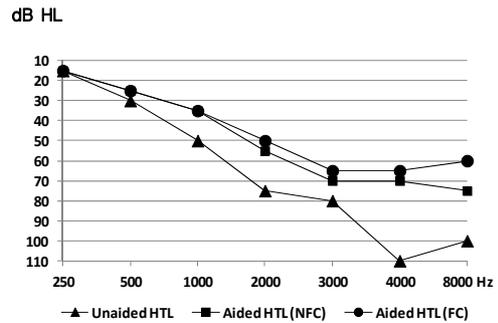
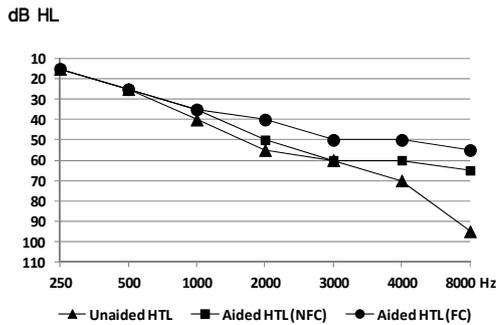
1. 증폭역치의 변화

Figure 1에서 FC 기능을 활성화 했을 때의 증폭

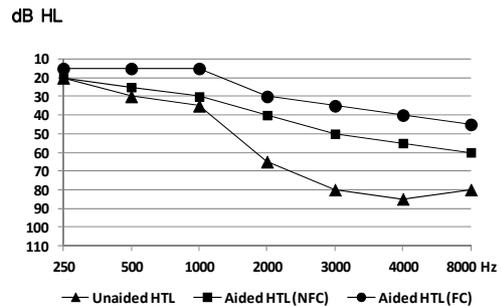
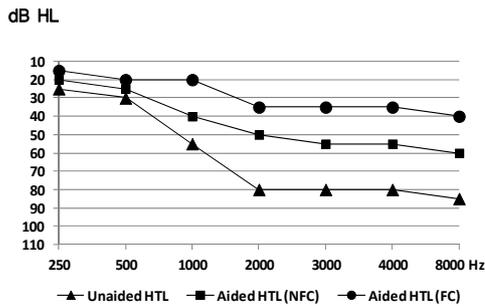
역치는 S1과 S3의 경우 2,000 Hz 이상에서, S2의 경우는 500 Hz 또는 1,000 Hz 이상에서부터 NFC에 비해 개선이 있었다. FC 기능을 활성화 했을 때 대상자 S2와 S3는 3,000 Hz 이상의 주파수에서 10 ~

20 dB의 증폭역치의 개선이 있었으나 S2의 경우는 5 ~ 10 dB로 FC의 기능을 활성화 했을 때 S2와 S3에 비해 상대적으로 증폭역치의 개선이 적은 편이었다.

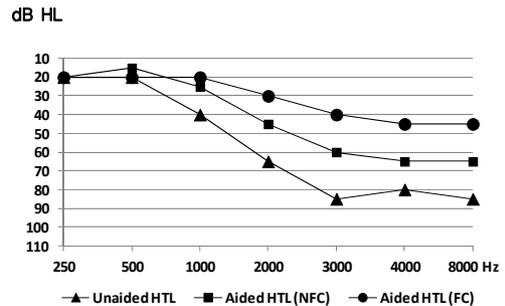
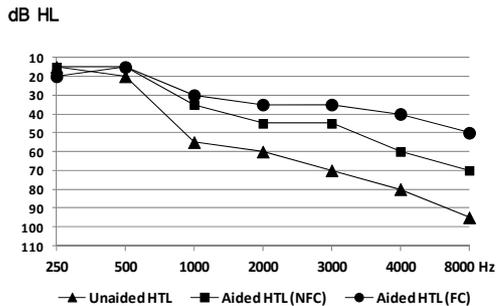
S1



S2



S3



Right

Left

Figure 1. 대상자의 보청기 미착용 청력역치 그리고 보청기착용 후 주파수압축 기능을 비활성 및 활성화 했을 때 방음실의 스피커 앞에서 측정한 증폭역치. Unaided HTL; 보청기를 착용하지 않았을 때의 청력역치, Aided HTL (NFC); 보청기를 착용한 후 주파수압축 기능을 비활성화 했을 때의 증폭역치, Aided HTL (FC); 보청기를 착용한 후 주파수압축(FC) 기능을 활성화 했을 때의 증폭역치.

2. 단어인지도의 변화

Table 3에서 FC 기능을 비활성화 했을 때(2회차)와 활성화 했을 때(5회차)의 차이 즉, 단어인지도의

개선은 14%로 대상자 S1과 S3의 우측 귀에서 나타났다. 그리고 단어인지도의 개선은 6%로 대상자 S1의 우측 귀, S2의 양측 귀에서 나타났다.

Table 3. 방음실의 스피커에서 단음절어를 45 dB HL로 제시하고 주파수압축 기능을 비활성화(NFC) 및 활성화(FC) 했을 때 회차 별로 측정된 단어인지도(%) 그리고 5회차와 2회차의 단어인지도의 차(FC-NFC)

Subjects	side	미착용	NFC		FC			FC-NFC
			1회차	2회차	3회차	4회차	5회차	
S1	R	32	54	56	58	68	70	14
	L	36	50	58	52	62	64	6
S2	R	66	68	72	68	74	78	6
	L	64	68	70	70	72	76	6
S3	R	54	58	60	62	68	74	14
	L	62	64	68	64	70	78	10

*Note. FC; frequency compression(주파수압축), NFC; non-frequency compression(비주파수압축)

3. 대상자가 보고한 주관적 반응

FC의 기능을 활성화 했을 때 피검자의 주관적인 반응은 NFC에 비해서 대부분의 긍정적인 방향으로 청취능력이 개선되었다. Table 4에서 피검자 S1은 NFC에서 소리가 퍼져서 들리거나 먼 곳의 잡음이 크게 들렸으나 FC 기능을 활성화 했을 때 가까운 곳의 말소리가 좀 더 집중적으로 잘 들린다고 하였다. S2는 NFC에서 전화통화 시 소리가 퍼져서 들리거나 주

변 잡음 때문에 말소리를 구분하기 힘들었으나 FC 기능을 활성화 했을 때 전화기의 수화기에서 나오는 소리가 무겁게 들렸으나 퍼지지 않았으며 주변 잡음이 덜 들린다고 하였다. 그리고 S3는 NFC에서 말소리가 울려서 들리거나 주변잡음으로 인해서 대화에 지장을 받았으나 FC 기능을 활성화 했을 때 말소리가 집중된 느낌을 받는다고 하였다. 그러나 말소리가 조금은 답답하다고 호소하였다.

Table 4. 대상자가 보고한 보청기의 음질 및 말소리의 명료도

Subjects	NFC	FC
S1	<ul style="list-style-type: none"> • 소리가 퍼져서 들림 • 먼 곳의 잡음이 잘 들림 	<ul style="list-style-type: none"> • 가까운 곳의 말소리가 좀 더 집중적으로 잘 들림
S2	<ul style="list-style-type: none"> • 전화통화 시 수화기의 소리가 퍼지는 느낌 • 말소리가 주변잡음과 섞어서 분간하기 힘들 	<ul style="list-style-type: none"> • 전화통화 시 수화기의 소리가 무겁고 크게 들림(퍼지는 않음) • 주변잡음이 덜 들림
S3	<ul style="list-style-type: none"> • 큰 강당에 있는 것처럼 말소리가 울려서 들림 • 주변잡음 때문에 정신이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 말소리가 모여져서 집중된 느낌 • 말소리고 조금 답답한 느낌

DISCUSSIONS & CONCLUSIONS

본고에서는 감각신경성난청인이 비선형의 주파수 압축보청기를 착용한 후 FC 기능을 비활성화 및 활성화 했을 때 증폭역치와 단어인지도의 개선 그리고 대상자의 주관적인 반응을 보고하고자 하였다.

주파수압축보청기의 FC 기능을 활성화 했을 때의 증폭역치를 NFC와 비교해 보면 대상자 S2와 S3의 경우 2,000 Hz 이상에서 10 ~ 20 dB의 개선이 있었으나 S1에서 좌측 귀의 경우 2,000 ~ 4,000 Hz에서 5 dB가 개선되어 S2와 S3에 비해 상대적으로 증폭역치의 개선이 적은 편이었다. 고주파수 대역에서 증폭역치의 개선 정도는 고주파수 대역의 정보를 압축하여 저주파수 대역으로 이동했을 때 저주파수 대역의 청력역치와 주파수압축비에 의해서 결정된다. 그러나 대상자 S1 좌측 귀의 경우 2,000 Hz와 3,000 Hz의 청력역치가 75 dB HL과 80 dB HL로 비교적 나뉘었으며, 주파수압축비는 3,000 ~ 8,000 Hz의 주파수대역을 1,700 Hz 부근으로 압축함에도 불구하고 주파수압축비가 1.9:1로 비교적 낮았기 때문이다.

본 사례에서 FC 기능을 활성화 했을 때 단어인지도는 NFC에 비해 최소 6%에서 최대 14%가 개선되었다. 이는 Reed et al.(2006)은 고음급추형의 청력손실자가 비선형의 주파수압축보청기를 3 ~ 4주 간 착용하였을 때 뚜렷한 단어인지도의 개선이 없었다고 하였으며, Simpson et al.(2005)은 중도에서 심도의 난청인이 4 ~ 5주 간 주파수압축보청기를 사용하였을 때 6%의 음소인지도가 상승하였다고 보고하여 본 사례와 비슷한 결과를 나타냈다. 고주파수의 정보를 복사하여 저주파수 대역에 붙여 넣는 방식(Spectral iQ)의 연구에서 Galster et al.(2011)과 한국어를 제시하여 단어인지도를 구한 주현민 외(2012)는 13%와 9%의 단어인지도의 개선이 있었다고 하여 본 연구와 비교할만한 가치를 가지고 있다. 본 연구의 결과에서 증폭역치의 뚜렷한 개선에도 불구하고 단어인지도는 소폭 증가하였는데 이는 청력역치 또는 역동범위(dynamic range)의 개선이 반드시 단어인지도를 개선하지 않는다는 Boike & Souza(2001), Keidser &

Grant(2001), 이경원(2014) 등의 연구결과와 관련성을 지을 수 있다.

대상자가 주관적으로 표현한 반응의 결과에서 NFC 상황에서 소리가 퍼져서 들리거나 주변의 잡음을 호소하였으나 FC 기능을 활성화 하였을 때에는 소리가 집중된 느낌 또는 잡음이 덜하다고 반응하였다. FC 기능을 활성화 한 후 잡음이 감소하고 말소리에 집중할 수 있는 이유는 NFC의 경우 고주파수의 정보가 차단됨으로 인해 저주파수 성분의 소리를 잘 듣기 때문에 잡음이 어음의 청취에 방해가 되었으며, FC 기능을 활성화 하면 고주파수의 정보를 들을 수 있기 때문에 말소리에 좀 더 집중할 수 있었던 것으로 풀이할 수 있다(Friesen et al., 2003; Glista et al., 2009).

본 사례에서 대상자의 주파수압축비치는 3회차에서 FC 기능을 활성화했을 때 2,700 Hz 또는 3,300 Hz이었으나 4회차에서 2,300 ~ 2,800 Hz, 5회차에서는 1,700 ~ 2,400 Hz로 점차 낮아지는 경향이 있었다. 이는 대상자의 청력역치가 2,000 Hz 이상에서 급격하게 증가하기 때문에 고주파수의 정보를 청력역치가 비교적 좋은 주파수대역에서 효과적으로 청취하기 위한 것으로 생각할 수 있다. 그리고 주파수압축비율은 대상자 S1의 두 귀를 제외한 S2와 S3의 경우 3회차에서 2.0 ~ 2.2:1, 5회차에서 1.8 ~ 2.0:1로 낮아지는 경향이 있었다. 이는 주파수압축비가 지나치게 상승하는 경우 와우의 음조체계(tonotopic organization)에 문제가 생기기 때문이다.

본 사례에서는 보청기적합을 실시할 때 대상자 모두 처음에 NFC를 실시하였으며 4주가 경과한 후에 FC를 실시하였다. 이로 인해 단어인지도의 개선이 순응(acclimatization)과 FC 기능 중 어떠한 요소가 영향을 많이 주었는지 확인할 수는 없었다. 따라서 순응효과를 배제하고 주파수압축보청기의 효과를 객관적으로 평가하기 위해서는 보다 세밀한 연구방법의 디자인이 필요하며, 설문지를 이용한 심리사회적 및 청취환경적인 측면에서의 이득의 변화도 살펴야 한다. 아울러 다양한 청력손실 형태에 대해서도 FC 기능이 어떠한 영향을 미치는지에 대해서도 규명하여야 난청인의 의

사소통능력의 향상에 도움을 줄 수 있다. 그리고 향후에는 한국어를 사용하는 난청인이 착용하는 주파수 압축보청기의 효과를 극대화하기 위하여 효과적인 주파수압축역치 및 주파수압축비의 산출에 대한 연구가 필요하다.

중심단어: 주파수하강, 주파수압축, 보청기, 주파수압축역치, 주파수압축비, 감각신경성난청

REFERENCES

- 김진숙, 임덕환, 홍하나, 신현욱, 이기도, 홍빛나 외. (2008). 한국표준 일반용 단음절어표 개발. *청능재활*, 4(2), 126-140.
- 이경원. (2014). 비선형 보청기의 전기음향적 조절에 따른 역동범위, 신호대잡음비 및 자모음비의 변화와 적합. *청능재활*, 10(3), 190-197.
- 이경원, 이재희, & 이정학. (2008). 한국어음을 이용한 다화자잡음의 개발 시안. *청능재활*, 4(1), 24-27.
- 주현민, 김형재, & 임덕환. (2012). 주파수이동기능 보청기 적합이 고주파수 영역 청력손실자의 한국어 단어인지도에 미치는영향에 대한 사례. *청능재활*, 8(2), 249-251.
- 한국산업표준. (2009). KS I ISO 8253-3. 음향학-청력 검사방법-제3부 : 어음청각검사. 지식경제부 기술 표준원.
- Barker, C., Dillon, H., & Newall, P. (2001). Fitting low ratio compression to people with severe and profound hearing losses. *Ear and Hearing*, 22, 130-141.
- Boike, K. T. & Souza, P. E. (2001). Effect of compression ratio on speech recognition and speech-quality ratings with wide dynamic range compression amplification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 43, 456-468.
- Friesen, L. M., Shannon, R. V., Baskent, D., & Wang, X. (2003). Speech recognition in noise as a function of the number of spectral channels: Comparison of acoustic hearing and cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110, 1150-1163.
- Galster, J. A., Valentine, S., Dundas, J. A., & Fitz, K. (2011). Spectral iQ: Audibly improving access to high-frequency sounds. Starkey Laboratories.
- Glista, D., Scollie, S., Bagatto M., Seewald, R., Parsa, V., & Johnson, A. (2009). Evaluation of non-linear frequency compression: Clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48, 632-644.
- Keidser, G. & Grant, F. (2001). The preferred number of channels (one, two, or four) in NAL-NL1 prescribed wide dynamic range compression (WDRC) devices. *Ear and Hearing*, 22, 516-527.
- Kuk, F. (2007). Critical factors in ensuring efficacy of frequency transposition. Part 1: Individualizing the start frequency. *Hearing Review*, 14, 60-67.
- Reed, C. M., Schultz, K. I., Braid, L. D., & Durlach, N. I. (1985). Discrimination and identification of frequency lowered speech in listeners with high-frequency hearing impairment. *Journal of the Acoustical Society of America*, 78, 2139-2141.
- Robinson, J. D., Baer, T., & Moore, B. C. (2007). Using transposition to improve consonant discrimination and detection for listeners with severe high-frequency hearing loss. *International Journal of Audiology*, 46, 293-308.
- Simpson, A., Hersbach, A. A., & McDermott, H. J. (2005). Improvements in speech perception with an experimental nonlinear frequency-compression hearing device. *International Journal of Audiology*, 44, 281-292.
- Von Hapsburg, D. & Bahng, J. (2006). Acceptance of background noise levels in bilingual (Korean-English) listeners. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17, 649-658.