

Comparison of Preferred Real-Ear Insertion Gain between Open- and Closed-Canal Fitting Hearing Aids

Hyeryeong Jo^{1,2}, Hyekyung Kong³, Suyeon Shin⁴, Mikyung Lee², Kwangjae Kim⁵, Hyungoo Lee⁶, Soohyun Ahn^{1,2}, Kyoungwon Lee^{1,2}

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

²HUGS Center for Hearing and Speech Research, Seoul, Korea

³Division of Speech Pathology and Audiology, College of Natural Sciences, Hallym University, Chuncheon, Korea

⁴One Hearing & Speech Care Center, Daejeon, Korea

⁵Hearing Hub, Seoul, Korea

⁶Widex Seocho, Seoul, Korea

Received: December 3, 2020

Revised: February 9, 2021

Accepted: February 21, 2021

Correspondence:

Kyoungwon Lee, PhD
Department of Audiology and
Speech-Language Pathology,
Hallym University of Graduate Studies,
427 Yeoksam-ro, Gangnam-gu,
Seoul 06197, Korea
Tel: +82-2-2051-4951
Fax: +82-2-3453-6618
E-mail: hearing1004@naver.com

Purpose: To calculate the real-ear insertion gain (REIG) according to the types of hearing aids, we evaluated the preferred REIGs of Korean hearing-impaired listeners and psychoacoustic differences between open-canal fitting (OF) and closed-canal fitting (CF). **Methods:** The subjects with sensorineural hearing loss were divided into OF group (4 monaural fittings, 15 binaural fittings with 34 ears), and CF group (8 monaural fittings, 13 binaural fittings with 34 ears). There were no statistical differences in hearing threshold level (HTL) at each octave frequencies, word recognition score (WRS) and Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids (K-IOI-HA) between the two groups. When there was no need for further electroacoustic adjustment of the hearing aid, sharpness and occlusion of amplified sound, clarity of sentence, and loudness of noise were evaluated based on the everyday experience. And REIGs with international speech test signal and WRS in sound-treated room were measured. **Results:** Preferred REIG for HTL was low for OF compared to CF in 0.5 kHz and 0.75 kHz at input SPL of 55 dB, 0.5 kHz at 60 dB SPL, 0.25 kHz and 0.5 kHz at 80 dB SPL. However, there were no differences in aided WRS and psychoacoustics between the two groups. **Conclusion:** In this study, the preferred REIG of OF and CF groups showed a difference under 0.75 kHz although there were no psychoacoustic differences between the two groups. Therefore, the results of this study should be considered when formulating Korean-type hearing aid fitting formula.

Key Words: Closed-canal fitting, Hearing aids, Open-canal fitting, Real-ear insertion gain, Sensorineural hearing loss.

INTRODUCTION

난청인이 주로 사용하는 기도보청기(air conduction hearing aid)의 일반적인 형태는 외이도내수화기(receiver-in-the-canal, RIC), 컷바퀴내수화기(receiver-in-the-ear), 귀걸이(behind-the-ear, BTE) 등 귀걸이형 보청기와, 갑개(in-the-ear, ITE), 외이도(in-the-canal, ITC), 고막(completely in-the-canal, CIC) 등의 귓속(또는 주문)형 보청기로 구분할 수 있다. 또 다른 방법으로는 보청기몸체(hearing aid shell) 또는 이어몰

드가 외이도를 폐쇄하는 정도에 따라서 개방적합(open-canal fitting, OF)과 폐쇄적합(closed-canal fitting, CF)형의 보청기로 구분할 수 있다. OF는 직경이 큰 환기구(예; contralateral routing of signal)를 설치한 귓속형, 또는 귀걸이 보청기를 비롯하여 최근에 많이 사용하고 있는 형태로 돔(dome)형의 이어팁을 사용하는 RIC가 이에 해당한다. 그리고 CF는 보청기몸체 또는 이어몰드에 직경 1.0 mm 내외의 작은 환기구를 설치한 대부분의 귓속형 보청기와 BTE가 이에 해당한다.

OF와 CF의 전기음향적 특징을 살펴보면, OF는 개방형 이어팁 또는 직경이 큰 환기구를 사용하기 때문에 고막 부근에서 생성된 저주파수 대역의 음향에너지를 보청기 외부로 배출하는 데 효과적이다. 그러나, 귀속형 보청기의 경우는 보청기몸체

© 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.

내에는 전지, 증폭기, 마이크로폰과 수화기 등의 부품이 내장되어 있으며, 이어몰드의 경우는 음도관(sound bore)으로 인해 직경이 큰 환기구를 설치할 수 없다. 따라서 최근에는 폐쇄효과(occlusion effect)를 효과적으로 줄이기 위해 RIC 보청기를 사용하고 있다(MacKenzie, 2006). RIC는 증폭음을 전선을 통해 이어팁에 내장된 수화기로 전달한 다음 음향신호로 변환하여 고막으로 전달한다. 따라서 이어팁을 사용하는 BTE보다 수화기를 고막에 더 가깝게 삽입할 수 있기 때문에 보청기 착용 후 외이도의 잔여용적은 BTE에 비해 적게 나타난다(Winkler et al., 2016). 외이도의 작은 잔여용적은 더 많은 이득을 제공할 수 있기 때문에 동일한 최대 이득에서 더 큰 환기구를 사용할 수 있다고 보고하였다(Hoen & Fabry, 2007). 그러나 RIC의 개방형 이어팁은 고막 부근에서 발생한 저주파수 대역의 에너지를 큰 직경의 환기구를 통하여 외부로 배출하기 때문에 저주파수 대역에서 제공할 수 있는 이득값은 낮아진다고 보고하였다(Winkler et al., 2016). Aazh & Moore(2007)와 Aazh et al.(2012)은 OF의 이득이 NAL-NL1의 목표이득과 64%와 71%가 10 dB 이상 차이가 났다고 보고하여, OF의 경우 현재 개발된 보청기 적합공식의 적용에 어려움이 있음을 시사하였다. 그리고 RIC에서 사용하는 직경이 큰 이어팁은 음향피드백을 쉽게 발생시킬 수 있으며, 이로 인해 OF는 음향피드백 제어시스템(anti-feedback system)의 작동이 불가피하다. 하지만 음향피드백 제어시스템의 작동은 결국 고주파수 대역의 이득을 줄이는 결과를 가져올 수 있다(Hoen & Fabry, 2007).

CF는 이어몰드 또는 보청기몸체가 외이도를 밀폐함으로 인해 음향피드백이 발생할 확률은 낮아지지만 폐쇄효과로 인해 본인의 음성이 울려서 들릴 수 있다. 그렇지만 귓속형의 CF는 외이도의 밀폐가 용이하여 적은 이득으로도 고도의 청각손실자가 사용할 수 있으며, 고주파수 대역에서의 증폭이 유리하다(Dillon, 2012). 특히 CIC는 보청기몸체가 다른 귓속형 보청기에 비해 외이도에 더욱 밀착되도록 제작되기 때문에 음향피드백을 방지하거나 보청기를 외이도 내에 안전하게 삽입하기에 용이하며, ITE는 보청기몸체가 외이도와 밀착되는 부분이 많기 때문에 음향피드백이 발생하기 전에 큰 환기구와 더 높은 이득을 얻을 수 있다고 보고하였다(Hoen & Fabry, 2007). 그리고 폐쇄효과의 문제에 있어서 귓속형의 경우는 보청기몸체를 외이도 내에 깊게(deep insert) 그리고 꼭 차게(tight fit) 삽입함으로써 해결이 가능하다(Kirkwood, 2009; Lee & Lee, 2013; Park & Lee, 2019).

OF 중에서 직경이 큰 이어팁을 사용하는 RIC는 보청기에 음향피드백 제어시스템을 적용한 2000년대 이후 상용화되었다. Kirkwood(2009)는 미국 내 전체 매출 중 65%가 BTE 형태의 보청기였으며, 이 중에서 60% 이상이 RIC (또는 쿿바퀴내수화

기), 귓속형 보청기는 36.6%로 나타났다고 보고하였다. 그리고 Winkler et al.(2016) 또한 최근의 보청기 시장에서 폐쇄효과의 감소, 향상된 편안함, 개선된 외관, 높은 소비자 만족과 즉각적인 착용의 이유로 RIC형의 보청기가 많이 보급되었다고 보고하였다. 반면에 Sim et al.(2020)은 국내의 보청기 시장에서는 귓속형 보청기의 판매가 여전히 가장 높은 비율로 나타났지만, RIC의 판매율이 점차 증가하는 것으로 보고하여 RIC에 필요한 이득 및 전기음향적 조절에 대한 연구의 필요성을 시사하였다.

선행연구에서 살펴보았듯이 OF는 환기구로 인한 저주파수 대역 음향이득의 손실을 초래하며, 음향피드백으로 인해 고주파수 대역의 이득에 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있다. 최근의 연구에서 한국 감각신경성 난청인이 선호하는 실이삽입이득(real-ear insertion gain, REIG)을 National Acoustics Laboratories-Non-Linear version 2 (NAL-NL2)와 비교하였다. 결과적으로 0.125 kHz에서 1.5 kHz까지 한국 감각신경성 난청인의 선호 REIG가 NAL-NL2에 비해서 낮게 나타나는 경향이 나타났으며, 이득의 경사도(slope)는 한국 난청인의 선호 REIG가 더 가파르게 상승하는 것으로 나타났다(Bang & Lee, 2020). 그러나 상기의 연구에서 대상자가 착용한 보청기는 OF와 CF를 구분하지 않아서 어떠한 형태의 보청기가 결과에 영향을 주었는지는 확인할 수 없었다. 그리고 청각학자들이 모인 토론에서는 OF의 경우 저주파수의 이득은 전통적인 보청기적합공식에 비해 4~6 dB 낮추는 것이 효과적이라고 보고한 경우도 있었음을 언급했지만, 이에 대해서 구체적인 결론은 내리지 않았다(Mueller, 2009).

이에 본 연구에서는 OF와 CF 형태의 보청기를 착용했을 때 난청인의 선호 REIG와, 이에 따른 단어인지도(word recognition score, WRS)와 심리음향적인 특성에 차이가 나타나는지를 확인하고자 하였다. 본 연구를 통하여 형태에 따른 보청기의 조절에 도움을 주고, 한국형 보청기적합공식을 보청기의 형태별로 산출하는 데 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구의 대상자는 서울, 경기 수원, 대전에 소재한 5곳의 보청기적합관리 전문센터(보청기센터)에서 OF 그룹 19명(단측: 4명, 양측: 15명)으로 34귀, CF 그룹 21명(단측: 8명, 양측: 13명)으로 34귀를 모집하였다. 대상자의 연령은 OF 그룹이 70.7세(표준편차: 16.7), CF 그룹이 66.1세(표준편차: 14.8)로 두 그룹 모두 육안 관찰 시 외이 및 중이에 이상 소견이 없으며, 모든 옥타브 주파수에서 기골도차(air-bone gap)가 15 dB 이내인 감각신

경성 난청인이었다. 순음 기도청력검사 시 순음역치평균(pure tone threshold average)의 평균은 OF 그룹이 58.0 dB HL(표준편차; 12.2), CF 그룹이 57.3 dB HL(표준편차; 13.8)이었다. 그리고 헤드폰 착용 시 쾌적강도레벨(most comfortable level)에서 WRS의 평균은 OF 그룹이 53.9%(표준편차; 18.7), CF 그룹이 55.5%(표준편차; 24.0)이었다. 그리고 Korean Adaptation of the International Outcome Inventory For Hearing Aids (K-IOI-HA; Chu et al., 2012)는 OF 그룹이 28.4(표준편차; 2.8), CF 그룹이 28.1(표준편차; 4.6)이었다. OF와 CF 그룹의 옥타브 주파수별 HTL, 쾌적강도레벨, 헤드폰 착용 시 WRS 그리고 K-IOI-HA에 대한 독립표본 *t*-검정을 실시했을 때 의미있는 차이는 나타나지 않았다($p > 0.05$). OF와 CF 그룹의 옥타브 주파수별 HTL과 PTA, 순음역치평균, 헤드폰 착용 시 WRS 그리고 K-IOI-HA의 평균과 표준편차는 Table 1에 나타났다.

연구 장비

순음 기도 및 골도 HTL은 청력검사기 AD629 (Interacoustics; Copenhagen, Denmark), Aurical (Madsen; Copenhagen, Denmark), Primus Pro (Auditdata; Copenhagen, Denmark)와 TDH-39 헤드폰(Telephonics; Farmingdale, NY, USA)을 사용하였다. 그리고 실이측정기는 Affinity 2.0 (Interacoustics), Freefit (GN Otometrics; Copenhagen, Denmark), Primus Pro (Auditdata)를 사용하였다. 대상자의 선정을 위한 자가설문지는 K-IOI-HA를 사용하였으며, 날카로움(sharpness), 소리의 울림(occlusion), 대화음의 선명도(clarity), 잡음의 크기(loudness of noise) 등 보청기를 착용했을 때의 음질 평가는 0에서 10점 척도로 나타난 음질평가지를 사용하였다 (Figure 1). 그리고 헤드폰과 음장에서 WRS의 측정은 한국산업 표준 일반용 단음절어[KS-MWL-A (KS I ISO 8253-3, 2012)]를 사용하였다.

보청기

대상자가 착용한 보청기의 형태로 OF 그룹은 RIC가 34개, CF 그룹은 주문형 이어몰드를 사용한 RIC가 8개, ITC가 6개, CIC가 20개 었다. 그리고 채널 수는 OF 그룹이 6~64 채널, CF 그룹이 4~64 채널로 OF는 개방형 이어팁을 사용하였으며, CF

는 보청기몸체 또는 이어몰드에 1.0~1.2 mm의 환기구를 설치 하였다. 보청기의 평균 착용 기간은 OF 그룹이 42.9개월(범위; 2~264개월, 표준편차; 61.0), CF 그룹이 35.2개월(범위; 3~103 개월, 표준편차; 32.3개월)이었다. 대상자가 착용한 보청기의 종류 및 수량 그리고 보청기의 착용 기간과 표준편차는 Table 2 에 나타났다.

연구 절차

대상자의 선정

보청기 착용을 목적으로 보청기적합관리 전문센터를 방문한 난청인에 대하여 육안 관찰 후 순음 기도 및 골도 청력검사를 통해 감각신경성 난청을 확인하였다. 그후 청능재활의 기본 절차인 보청기의 선택, 적합 및 조절, 확인(verification)과 주관적 평가(validation)를 한국표준인 보청기적합관리 절차[Korean Standards Association (KS), 2018]에 근거하여 시행하였다. 그 후 K-IOI-HA 점수가 25 이상인 보청기 착용자에게 본 연구의 목적을 설명하고, 참여를 희망하는 경우 연구참여동의서를 받은 후 대상으로 선정하고 실험을 진행하였다.

데이터의 수집

REIG와 WRS의 측정, 보청기 음질의 평가는 보청기의 전기 음향적 조절을 더 이상 할 필요가 없으며, K-IOI-HA가 25점

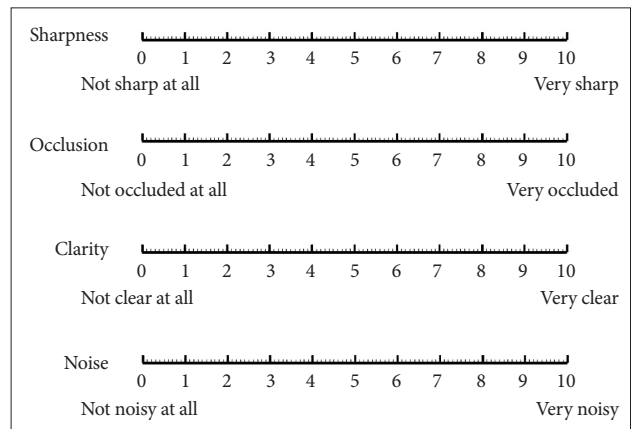


Figure 1. Rating scales of sharpness, occlusion, clarity of sentence, and loudness of noise.

Table 1. Mean and SD of HTL at each octave frequencies, PTA, WRS with headphone, K-IOI-HA for OF and CF group

Group	HTL in dB HL at each frequency (kHz)						PTA	WRS with headphone (%)	K-IOI-HA
	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0			
OF	49.6 (14.3)	53.5 (14.2)	57.9 (14.9)	62.5 (12.7)	70.3 (15.4)	81.8 (16.6)	58.0 (12.2)	53.9 (18.7)	28.4 (2.8)
CF	51.5 (19.4)	52.4 (17.4)	57.5 (13.8)	61.9 (13.8)	73.1 (13.7)	79.7 (19.2)	79.7 (13.8)	55.5 (24.0)	28.1 (4.6)

Values are presented as mean (standard deviation). SD: standard deviation, HTL: hearing threshold level, PTA: pure tone threshold average, WRS: word recognition score, K-IOI-HA: Korean Adaptation of the International Outcome Inventory for Hearing Aids, OF: open-canal fitting, CF: closed-canal fitting

Table 2. The type and quantity of hearing aids worn by the subject and the period during which hearing aids are worn

Group	RIC with open ear tip	RIC with custom earmold	ITC	CIC	Period of use
					Month [mean (SD)]
OF	34	-	-	-	42.9 (61.0)
CF	-	8	6	20	35.2 (32.3)

RIC: receiver-in-the-canal, ITC: in-the-canal, CIC: completely in-the-canal, SD: standard deviation, OF: open-canal fitting, CF: closed-canal fitting

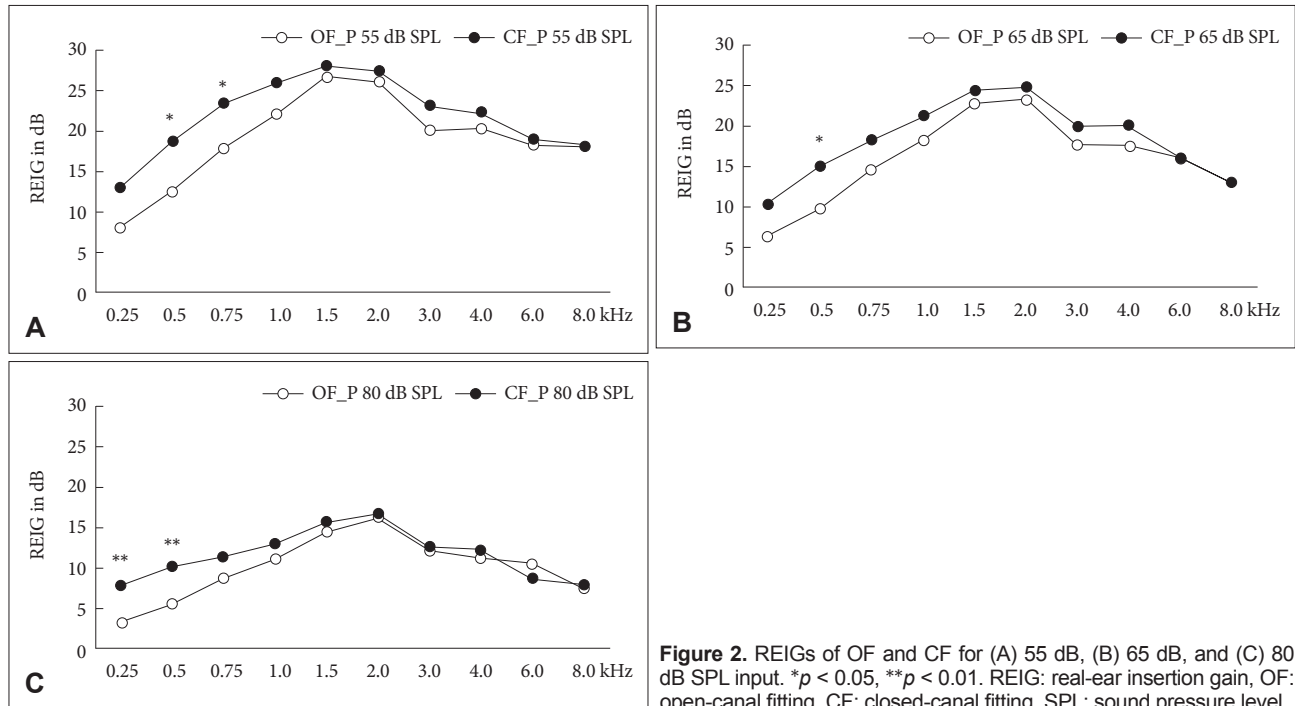


Figure 2. REIGs of OF and CF for (A) 55 dB, (B) 65 dB, and (C) 80 dB SPL input. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$. REIG: real-ear insertion gain, OF: open-canal fitting, CF: closed-canal fitting, SPL: sound pressure level.

이상인 경우에 시행하였다. 측정 절차는 첫째, REIG는 International Electrotechnical Commission [IEC (2012)]에 근거하여 실이측정기의 정면 1 m 거리에 위치한 스피커에서 국제어음 시험신호(International Speech Test Signal)를 55, 65, 80 dB SPL을 각각 제시하여 1/2 옥타브 주파수별로 확인하였다. REIG의 측정 시 환기구 그리고 잡음감소(noise reduction), 음향피드백 제어시스템 등 전기음향적 특성은 착용 시의 설정 그대로 두고 진행하였다. 둘째, 보청기를 착용한 후의 WRS는 방음실에서 단음절어를 50 dB HL로 제시하여 측정하였다. 셋째, 음질의 평가는 보청기적합관리 전문센터를 마지막으로 방문한 이후, 일상생활에서의 경험을 토대로 증폭음의 날카로움, 소리의 울림, 대화음의 선명도, 잡음의 크기를 음질평가지(Figure 2)에 직접 표시하게 하였다. REIG, WRS의 측정, 보청기의 음질 평가에 소요된 시간은 40분 이내였다.

통계 분석

대상자 OF와 CF 그룹의 1옥타브 주파수별 HTL, 헤드폰 착용 시 WRS, K-IOI-HA 그리고 1/2 옥타브 주파수별 REIG, 보

청기 착용 시 음장에서의 WRS 차이는 독립표본 *t*-검정으로 분석하였다. 그리고 증폭음의 날카로움, 소리의 울림, 대화음의 선명도, 잡음의 크기는 Mann-Whitney U 비모수 검정을 통해 OF와 CF 그룹의 차이를 확인하였다.

RESULTS

감각신경성 난청인이 OF와 CF 형태의 보청기를 착용했을 때의 선호 REIG, 보청기 착용 시 WRS, 일상생활에서 증폭음의 날카로움, 소리의 울림, 대화음의 선명도, 잡음의 크기 등 심리음향적 차이를 살펴보면 다음과 같다.

선호 REIG

Figure 2에서 OF와 CF 간 선호 REIG의 차이를 살펴보면, 입력 SPL 55 dB에서는 0.5 kHz에서 6.3 dB [$t(66) = -2.33, p < 0.05$]와 0.75 kHz에서 5.6 dB [$t(66) = -2.00, p < 0.05$], 입력 SPL 65 dB에서는 0.5 kHz에서 5.2 dB [$t(66) = -2.30, p < 0.05$], 입력 SPL 80 dB에서는 0.25 kHz에서 4.6 dB [$t(60.74) =$

-2.98, $p < 0.01$] 그리고 0.5 kHz에서 4.7 dB [$t(66) = -2.78, p < 0.01$]의 차이를 보였으며, CF 그룹에 비해 OF 그룹의 선호 REIG가 모두 낮게 나타났다. 그러나 나머지 1/2옥타브 주파수에서는 OF와 CF 그룹 간의 의미있는 차이는 나타나지 않았다 ($p > 0.05$).

WRS

헤드폰 그리고 보청기 착용 후 음장에서의 WRS는 OF 그룹이 53.5%와 50.59%, CF 그룹이 55.5%와 58.3%로 나타났다 (Figure 3). 독립표본 t -검정을 실시했을 때 헤드폰과 음장 WRS는 OF 그룹 [$t(66) = 0.77, p > 0.05$]과 CF 그룹 [$t(66) = -0.526, p > 0.05$] 모두 의미있는 차이가 나타나지 않았다. 그리고 보청기 착용 후 음장에서 OF와 CF 그룹의 의미있는 차이 또한 나타나지 않았다 [$t(66) = -1.74, p > 0.05$].

심리음향

보청기 착용 후 일상생활에서의 경험을 토대로 측정된 심리음향 척도는 증폭음의 날카로움 (Mann-Whitney $U = 171.00, p > 0.05$), 소리의 울림 (Mann-Whitney $U = 195.00, p > 0.05$), 대화음의 선명도 (Mann-Whitney $U = 174.00, p > 0.05$), 잡음

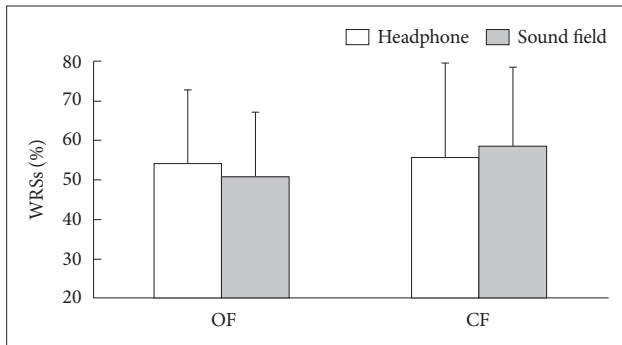


Figure 3. WRSs with headphone and in sound field after wearing hearing aid of OF and CF group. OF: open-canal fitting, CF: closed-canal fitting, WRS: word recognition score.

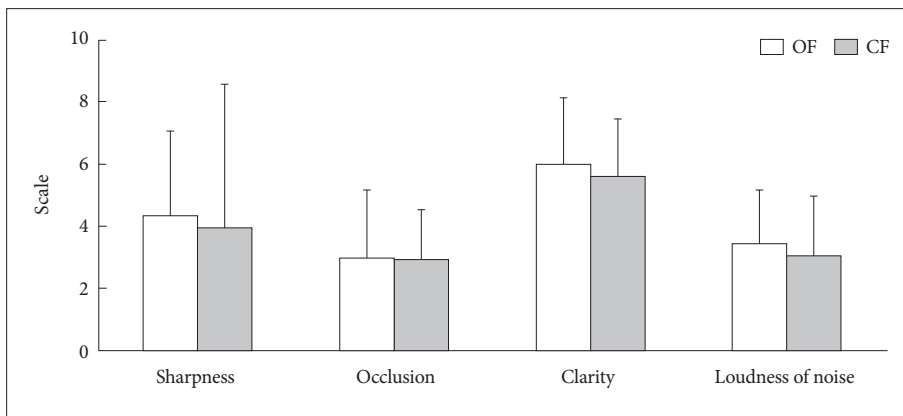


Figure 4. Scales of sharpness, occlusion, clarity of sentence, and loudness of noise of OF and CF. OF: open-canal fitting, CF: closed-canal fitting.

의 크기 (Mann-Whitney $U = 178.50, p > 0.05$)에서 OF와 CF 그룹의 차이는 나타나지 않았다 (Figure 4).

DISCUSSIONS

본 연구에서는 감각신경성 난청인이 보청기를 착용했을 때의 선호 REIG, 방음실에서의 WRS, 그리고 소리의 날카로움과 울림, 대화음의 선명도, 잡음 크기 등 심리음향적인 차이를 OF와 CF 그룹으로 구분하여 확인하고자 하였다.

본 연구에서 HTL에 따른 선호 REIG는 입력 SPL 55 dB에서는 0.5 kHz와 0.75 kHz, 65 dB SPL에서는 0.5 kHz, 80 dB SPL에서는 0.25 kHz와 0.5 kHz에서 CF 그룹에 비해 OF 그룹의 REIG가 낮게 나타났다. Winkler et al.(2016)은 개방형의 이어팁을 사용하는 RIC의 경우, 고막 부근에서 발생한 저주파수 대역의 에너지를 외부로 배출하기 때문에 250 Hz 또는 500 Hz의 이득을 제공하는 데 어려움이 있다고 보고하여 본 연구와 비슷한 경향을 나타냈다. 그러나 NAL-NL2 (ver. 2.15)의 경우, 본 연구 대상자와 같은 평균 HTL을 입력한 후 보청기의 형태를 RIC (개방 이어팁) 그리고 컷속형(1 mm의 환기구)을 선택했을 때, 전 주파수에서 55 dB의 입력 SPL에서 OF의 REIG가 CF에 비해 2~3 dB 높지만, 나머지 65 dB 및 80 dB의 입력 SPL에 대한 REIG는 차이가 없었다. 이 결과는 NAL-NL2의 경우, 65 dB 및 80 dB의 입력 SPL에 대한 REIG는 환기구의 형태에 따른 주파수별 이득은 고려하지 않은 것으로 보인다.

그리고 HTL이 고주파수로 갈수록 증가함에도 불구하고 OF와 CF의 선호 REIG는 모두 1.5 kHz에서 가장 높게 나타났으며, 그 이상의 주파수에서는 8.0 kHz까지 감소하는 형태를 나타냈다. 이 결과는 Bang & Lee(2020)의 한국 감각신경성 난청인 선호이득의 결과와 일치성을 나타냈다. 하지만 Sanders et al.(2015)의 연구에서 제조사의 55 dB 및 65 dB 입력 SPL에 대한 REIG가 3.0 kHz 이상에서 NAL-NL2에 비해 낮게 나타나는 현상에 대해 실이측정 등의 적합확인(verification)이 필요하

다고 하여, 본 연구 또한 실이측정, 방음실에서 잡음의 유무에 따른 어음인지도의 변화 등을 통한 검증이 필요할 것이다.

보청기 착용 후 음장에서 WRS 또한 OF와 CF 간의 차이가 나타나지 않았는데, 이는 헤드폰 착용 시 쾌적강도레벨에서의 WRS가 두 그룹 간에 차이가 나타나지 않았기 때문이다. 하지만 음장에서 보청기 착용 후의 WRS 또한 차이가 나타나지 않아서 OF와 CF에 다른 이점을 확인할 수는 없었다. 그리고 보청기 착용 후 일상생활에서의 경험을 토대로 측정된 심리음향 척도는 증폭음의 날카로움, 소리의 울림, 대화음의 선명도, 잡음의 크기 모두 OF와 CF 간의 차이는 나타나지 않았다. Gnewikow & Moss(2006)는 International Outcome Inventory for Hearing Aids (IOI-HA), 증폭음의 울림, 음향피드백, 전화사용, 전체적인 음질의 차이를 보고하였는데, OF와 CF 간의 차이가 나타나지 않아서 본 연구와 일치성을 나타냈다.

본 연구에서는, 일상생활에서의 의사소통 능력을 개선하기 위해 보청기를 착용한 난청인을 대상으로 보청기 착용 후 선호 REIG, WRS 및 음질을 확인하였다. 본 연구의 한계점을 살펴 보면, 첫째, HTL의 정도(degree) 및 형태는 연구 결과에 영향을 줄 수 있음(Johnson & Dillon, 2011)에도 본 연구에서는 이를 구분하지 않았다. 둘째, 보청기의 착용 기간은 소리의 청취 능력에 영향을 줄 수 있다(Keidser et al., 2008). 본 연구에서 OF와 CF 그룹의 보청기 착용 기간의 표준편차는 각각 61.0과 32.3개월로 그룹 간 및 그룹 내에서의 착용기간을 통제하지 못했다. 셋째, 보청기의 조절에 있어서는 대상자의 주관적인 반응을 토대로 조절하여 고주파수 대역의 REIG가 감소하는 형태를 나타냈다(Bang & Lee, 2020). 그러나 보청기의 효과적인 전기음향적 조절을 위해서는 신뢰할 수 있는 보청기적합공식의 사용과 실이측정 등 보청기적합확인을 통해 조절하는 것이 효과적이라 할 수 있다(Sanders et al., 2015). 마지막으로 보청기 착용 후의 WRS는 방음실의 조용한 환경에서 단음절어를 50 dB HL로 제시하여 측정하였다. 그러나 실생활에서의 보청기 착용효과를 확인하기 위해서 WRS 및 문장인지도(sentence recognition score)를 다양한 신호대잡음비(signal-to-noise ratio)에서 측정하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구의 결과에서 증폭음의 날카로움, 소리의 울림 등 음질, 대화음의 선명도, 잡음의 크기 등, 심리음향적인 차이가 나타나지 않았음에도 OF와 CF 그룹의 선호 REIG는 0.75 kHz 이하에서 차이를 나타냈다. 이 결과는 한국형 보청기적합공식을 산출할 때 영향을 줄 수 있으므로 고려해야 할 사항으로 생각된다. 그리고 2.0 kHz 이상의 주파수에서는 HTL이 증가함에도 불구하고 REIG가 감소하는 형태를 나타냈다. 이 결과는 Sanders et al.(2015)이 지적하였듯이 보청기의 조절 시 실이측정 등을 통한 보청기적합확인이 필요하며, 향후의 연구에서는

고주파수의 이득 변화에 따른 조용한 곳 및 소음 상황에서의 단어인지도, 음질, 일상생활에서의 보청기 착용 만족도 등에 대한 연구가 필요할 것이다.

중심 단어 : 폐쇄적합·보청기·개방적합·실이삽입이득·감각신경성난청.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Hallym University of Graduate Studies (IRB # HUGSAUD 674235).

Acknowledgments

N/A

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict of interests.

Funding

This research was completed while being supported by National Research Foundation of Korea (2018R1A2B6001986).

Author Contributions

Conceptualization: Hyeryeong Jo, Kyoungwon Lee. Data curation: Kyoungwon Lee, Hyeryeong Jo. Formal analysis: Kyoungwon Lee. Funding acquisition: Kyoungwon Lee. Investigation: Hyekeyung Kong, Hyungoo Lee, Kwangjae Kim, Mikyung Lee, Suyeon Shin. Methodology: Kyoungwon Lee. Project administration: Kyoungwon Lee. Writing—original draft: Hyeryeong Jo, Kyoungwon Lee, Soohyun Ahn. Writing—review & editing: Kyoungwon Lee. Approval of final manuscript: all authors.

ORCID iDs

Hyeryeong Jo	https://orcid.org/0000-0002-6631-7815
Kyoungwon Lee	https://orcid.org/0000-0002-1297-6436
Hyekeyung Kong	https://orcid.org/0000-0002-7104-2692
Suyeon Shin	https://orcid.org/0000-0002-0780-4963
Mikyung Lee	https://orcid.org/0000-0002-2716-5169
Kwangjae Kim	https://orcid.org/0000-0002-9378-1277
Hyungoo Lee	https://orcid.org/0000-0002-4259-8915
Soohyun Ahn	https://orcid.org/0000-0002-7117-2331

REFERENCES

- Aazh, H. & Moore, B. C. J. (2007). The value of routine real ear measurement of the gain of digital hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology*, 18(8), 653-664.
- Aazh, H., Moore, B. C. J., & Prasher, D. (2012). The accuracy of matching target insertion gains with open-fit hearing aids. *American Journal of Audiology*, 21(2), 175-180.
- Bang, E. & Lee, K. (2020). A study on the preferred real-ear insertion gain of multi-channel hearing aid for the Korean with sensorineural hearing loss. *Audiology and Speech Research*, 16(2), 85-94.
- Chu, H., Cho, Y. S., Park, S. N., Byun, J. Y., Shin, J. E., Han, G. C., et al. (2012). Standardization for a Korean adaptation of the international outcome inventory for hearing aids: Study of validity and reliability. *Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery*, 55(1), 20-25.
- Dillon, H. (2012). *Hearing Aids*. (2nd ed.). Turramurra: Boomerang Press.
- Gnewikow, D. & Moss, M. (2006). Hearing aid outcomes with open- and closed-canal fittings. *The Hearing Journal*, 59(11), 66, 68-70, 72.
- Hoen, M. & Fabry, D. (2007). Hearing aids with external receivers: Can they offer power and cosmetics? *The Hearing Journal*, 60(1), 28-34.

- International Electrotechnical Commission. (2012). *Electroacoustics-Hearing Aids-Part 15: Methods for Characterising Signal Processing in Hearing Aids with a Speech-Like Signal*. IEC 60118-15. Geneva: International Electrotechnical Commission.
- Johnson, E. E. & Dillon, H. (2011). A comparison of gain for adults from generic hearing aid prescriptive methods: Impacts on predicted loudness, frequency bandwidth, and speech intelligibility. *Journal of the American Academy of Audiology*, 22(7), 441-459.
- Keidser, G., O'Brien, A., Carter, L., McLelland, M., & Yeend, I. (2008). Variation in preferred gain with experience for hearing-aid users. *International Journal of Audiology*, 47(10), 621-635.
- Kirkwood, D. H. (2009). Resilient hearing aid industry records rising sales despite a troubled economy. *The Hearing Journal*, 62(12), 11-14, 16.
- Korean Standards Association. (2018). *Acoustics-Hearing aid Fitting Management*. KS I 0562. Seoul: Korean Standards Association.
- Korean Agency for Technology and Standards. (2012). *Acoustics-Audiometric test methods-Part 3: Speech audiometry*. KS I ISO 8253-3. Seoul: Korean Agency for Technology and Standards.
- Lee, S. H. & Lee, K. W. (2013). The acoustic and psychoacoustic changes of occlusion effect as a function of bony part length in CIC hearing aid. *Audiology*, 9(2), 157-164.
- MacKenzie, D. J. (2006). Open-canal fittings and the hearing aid occlusion effect. *The Hearing Journal*, 59(11), 50, 52, 54, 56.
- Mueller, H. G. (2009). A candid round table discussion on open-canal hearing aid fittings. *The Hearing Journal*, 62(4), 19-22, 24-26.
- Park, J. & Lee, K. (2019). Comparison of occlusion effect between ear-tip type of receiver-in-canal hearing aids and completely-in-the-canal. *Audiology and Speech Research*, 15(2), 95-100.
- Sanders, J., Stoodly, T., Weber, J., & Mueller, H. G. (2015). Manufacturers' NAL-NL2 fittings fail real ear verification. *Hearing Review*, 21(3), 24.
- Sim, S., Lee, J., & Kim, J. (2020). A study of Korean hearing aid satisfaction survey based on MarkeTrak VIII. *Audiology and Speech Research*, 16(1), 48-57.
- Winkler, A., Latzel, M., & Holube, I. (2016). Open versus closed hearing-aid fittings: A literature review of both fitting approaches. *Trends in Hearing*, 20, 2331216516631741.