

A Case of Electric Acoustic Stimulation Cochlear Implantation in Partial Deafness with Residual Low-Frequency Hearing

Sera Park and Jae Young Choi

Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

저주파수의 잔존청력이 보존된 부분농 환자에서의 전기 청각 자극 인공와우 1예

박 세 라 · 최 재 영

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실

Received April 24, 2012

Revised July 24, 2012

Accepted July 24, 2012

Address for correspondence

Jae Young Choi, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology,

Yonsei University

College of Medicine,

50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu,

Seoul 120-752, Korea

Tel +82-2-2228-3603

Fax +82-2-393-0580

E-mail jychoi@yuhs.ac

Electric acoustic stimulation (EAS) is the combination of acoustic stimulation via hearing aid and electric stimulation via cochlear implant in the implanted ear. EAS is indicated for patients with residual hearing at low frequencies and severe or profound hearing loss at high frequencies. These patients have no indication for conventional cochlear implant and have difficulties in adapting to individual sound amplification devices. Preservation of hearing is vital in this process and the surgical technique must be based on this concept. We report for the first time in Korea a case with EAS cochlear implantation, for which hearing preservation was successful and hearing results were excellent at postoperative 3 months.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2012;55:712-6

Key Words Cochlear implantation · Electric acoustic stimulation.

서 론

저주파수의 청력은 언어의 인식과 생성, 환경 음, 감정의 인식에 중요하며 저주파수 청력이 보존된 난청 환자들은 특히 자음 분별과 소음 환경에서의 대화에 어려움을 겪는다고 알려져 있다.¹⁾ 이러한 환자의 경우 보청기나 인공와우 단독으로는 도움을 받기 힘들며 이에 저주파수 잔청이 있는 부분농 환자에서 이를 보존하여 저주파수는 보청기로 증폭하고, 고주파수는 인공와우로 자극하는 전기 청각 자극(electric acoustic stimulation, EAS) 인공와우가 개발되어 좋은 청력 결과가 보고되고 있다.²⁾ 성공적으로 EAS 인공와우를 사용하기 위해서는 수술 과정에서 잔존 청력의 보존이 핵심적이다.³⁻⁸⁾ 본 저자들은 국내에서 최초로 EAS 인공 와우의 증례 보고를 통해 수술 방법과 술 후 결과를 보고하는 바이다.

증 례

52세 남자 환자가 5년간의 양측 난청을 주소로 내원하였다. 과거력상 우측은 청신경 초종으로 2009년 6월에 미로절제술을 통한 중양 제거술을 시행하여 내원시 중양 재발 및 잔청이 없는 상태였으며 좌측은 2007년 5월에 발생한 돌발성 난청 이후 청력이 저하된 상태였다. 환자는 좌측에 보청기를 착용하고 있었으며 구화와 독순술로 대화하였다. 순음 청력 검사상 우측은 잔여 청력이 없었으며 좌측은 250 Hz와 500 Hz에서 기도 청력이 각각 30, 40 dB이나 이후 주파수에서 스키-슬로프 형태의 청력 감소 소견을 보였다(Fig. 1). 좌측 보청기 착용시 충분한 이득을 얻을 수 없었고, 어음 명료도 또한 28%로 측정되었다. 언어 평가에서는 보청기 미착용시 categories of auditory performance(CAP score) 4, auditory only(AO) 조건에서 문장 확인 32%의 수행 능력을 보였으며, 착용시 CAP score

5, 문장 확인은 48% 가능하였다. 수술 전 촬영한 측두골 전산화단층촬영과 자기공명영상에서 좌측 중이 및 내이 구조는 정상 소견을 보였다.

위의 결과를 토대로 본 의료진은 환자 및 보호자와 상의 후 저주파수 잔청을 보존할 수 있는 EAS 인공와우 수술을 계획하였다.

수술은 MED-EL SONATA TI100(MED-EL, Innsbruck, Austria) 인공와우로 Flex EAS 전극을 사용하였고 음성 처리기는 OPUS2+DUET2를 이용하였다. Flex EAS는 EAS 인공와우를 위해 고안된 전극으로 전극 내 백금이리듬이 지그재그 형으로 설계되어 유연성이 높고 tip 전면부의 직경이 0.5 mm로 얇으며, 전면부 5개의 전극을 한 쪽에만 배열하여 삽입시 외상을 줄이도록 고안, 청력 보존율이 90% 이상으로 알려져 있다.⁹⁾ 또한 SONATA TI100은 1.5 Tesla의 MRI 촬영이 가능하여 우측 청신경 종양의 추적 관찰도 가능할 것으로 생각되었다. 술식은 일반 인공와우 이식과 동일하나 잔청을 보존하기 위해 안면신경와를 크게 열고 정원창 소와를 저속도 드릴을 이용하여 정원창막을 노출, crystalline triamcinolone 용액을 정원창막 주변에 도포하였으며 전극을 삽입하기 직전과 후에 텍사메타손 10 mg을 정주하였다. Hook를 이용하여 정원창막을 천공, 절개하여 넓히고 모든 전극을 삽입, 근막을 이용하여 고정하였다. 술 후 modified Stenver's view에서 12개의 전극이 와우 고실계에 삽입되었음을 확인하였다(Fig. 2).

술 후 1일에 시행한 순음 청력 검사에서 250 및 500 Hz의 기도 청력이 평균 25 dB 감소하였으며, 32 dB의 기도-골도 차를 보였다(Fig. 3). 기도-골도 차의 원인은 중이 내 혈중에 의

한 것으로 생각되었다. 술 후 1달째 전극 활성화 및 1차 매핑을 하였으며 임피던스 검사 결과 12개 전극 모두 정상 소견을 보였고 500 Hz 이하는 청각 자극, 그 이상의 주파수는 전기 자극(교차 주파수-591 Hz)으로 자극하였다. 인공와우의 M level은 15에서 19 qu로, T Level은 M level의 10%로 설정하였으며(Table 1, Fig. 4A), 보청기로 27 dB의 이득을 주었다(Fig. 4B). 와우 착용 언어평가상 AO 조건에서 ling 6 sounds 중 4가지 소리의 확인이 가능하였고 1음절 단어 및 2음절 단어 확인율이 30%, 50%로 수술 전 보청기를 착용했을 때의 수행력인 20%, 30%와 비교시 각각 10%, 20%씩 향상, 문장의 경우 100% 확인 가능하였다. 문장뿐 아니라 독화 없이 주제가 드러난 대화는 가능하였다(CAP 5-6)(Table 2). 순음 청력도에서 저주파수의 기도 청력은 수술 직후보다 평균 15 dB 호전, 기도-골도 차이도 감소 추세를 보였다(Fig. 5A). 환자는 저음(보청기)과

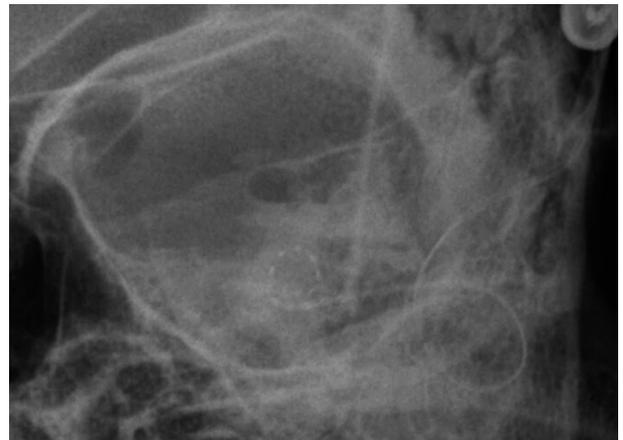


Fig. 2. Modified Stenver's view shows well-inserted electrodes around the cochlea.

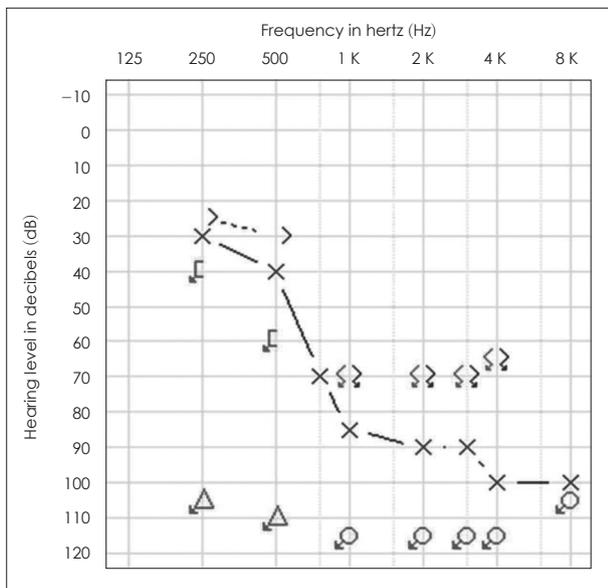


Fig. 1. Preoperative unaided pure tone audiogram showed partial deafness of the left ear, total deafness of the right ear.

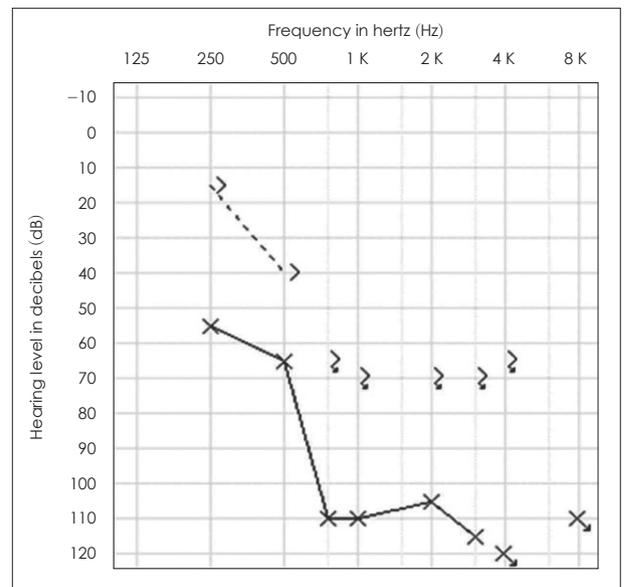


Fig. 3. Unaided pure tone audiogram immediately after operation.

Table 1. Electrical mapping data

Channel number	MCL (qu)	THR (qu)	Effective Duration (μs)	Center frequency (Hz)	Stimulation rate (Hz)	Compression limit (cu)
1	15.72	1.57	19.17	639	1635	639
2	14.73	1.47	19.17	799	1635	574
3	15.17	1.52	19.17	994	1635	601
4	17.00	1.70	19.17	1246	1635	700
5	15.23	1.52	22.92	1564	1635	506
6	17.43	1.74	22.92	1935	1635	616
7	19.59	1.96	22.92	2451	1635	631
8	18.80	1.88	19.17	3064	1635	720
9	18.04	1.80	19.17	3870	1635	655
10	15.46	1.55	15.42	4595	1635	700
11	16.11	1.61	15.42	6127	1635	730
12	19.59	1.96	26.67	7352	1635	574

MCL: most comfortable level, THR: threshold level

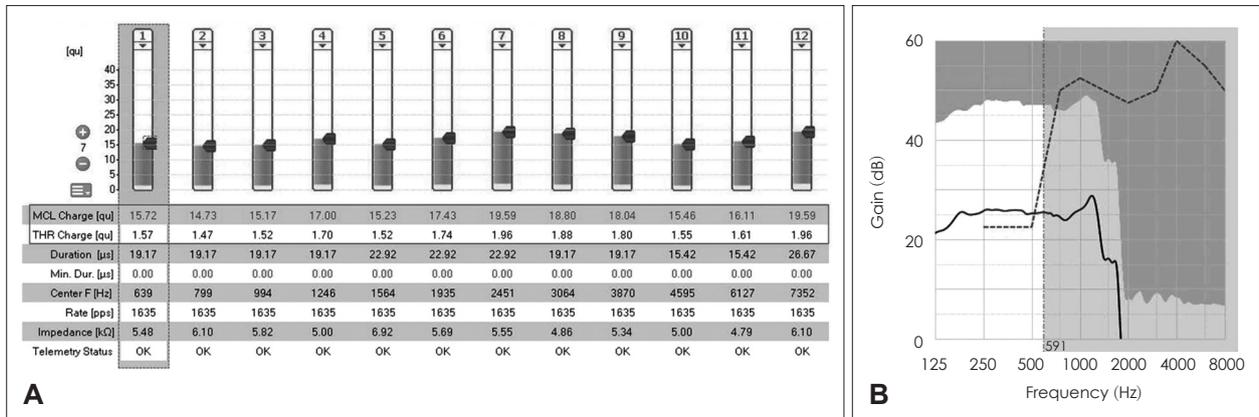


Fig. 4. Initial mapping data with EAS cochlear implantation at high frequencies (A). Initial acoustic fitting data. Twenty seven decibel gain was achieved at low-frequencies (B). EAS: electric acoustic stimulation.

Table 2. Results of synergistic effect of combination of electric and acoustic stimulation producing high levels of speech recognition

Device	CAP	Discrimination (%)		Ling 6 sounds						Word (%)		Sentence (%)	
		Vowel	Consonant	a	i	u	m	s	sh	Monosyllable	Disyllable		
None	4	AV	85	72	+	+	+	+	+	+	70	90	100
		AO	14	33	-	-	-	+	-	-	10	20	32
HA (L)	5	AV	100	83	+	+	+	+	+	+	80	90	100
		AO	57	44	+	+	+	+	-	+	20	30	48
EAS CI (L)	5-6	AV	100	194	+	+	+	+	+	+	90	100	100
		AO	71	44	+	+	-	-	+	+	30	50	100

HA: hearing aid, EAS: electric acoustic stimulation, CI: cochlear implant, AV: auditory-verbal, AO: auditory-only

고음(인공와우)의 두 가지 소리가 들리는데 보청기만 착용했을 때는 소리만 들리고 변별이 안 되었는데, EAS 인공와우 착용 후 변별력이 더 좋아졌다고 하였다.

현재 술 후 3달 경과하였으며 와우 착용 상태의 음장(sound field) 순음 역치는 250 Hz에서 8 KHz 사이에서 30 dB이고 미 착용 순음 검사상에 저주파수는 변동 없이 보존되고 있으며 (Fig. 5B), 보청기와 인공와우를 통한 재활 및 추적 관찰 중이다.

고찰

같은 쪽 귀의 전기청각자극의 개념은 1999년 인공와우 수술 중 잔청을 보존한 Christoph von Ilberg에 의해 처음 제시 되었으며,^{3,9)} 현재 EAS의 적응증은 고주파수에서 심도도의 난청이 있으나 저주파에서 잔청이 남아 있는 환자로, 일반적 인공와우 이식의 적응이 되지 않으나 보청기 등에 의한 소리 증폭

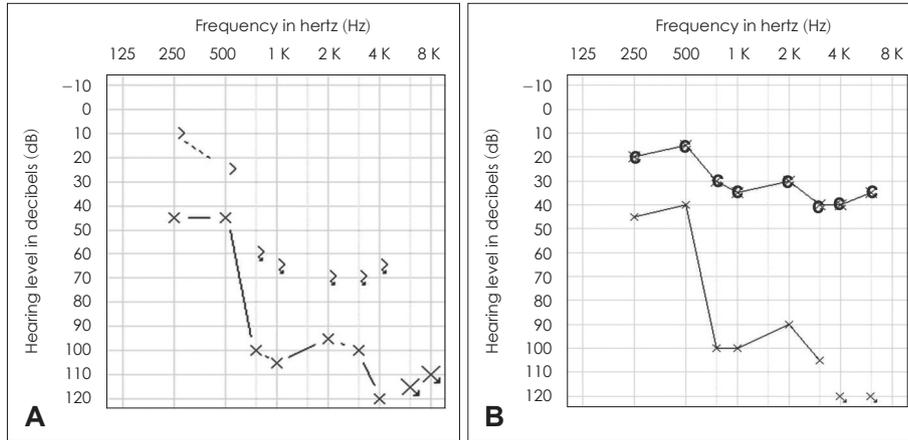


Fig. 5. Unaided pure tone audiogram (PTA) at 4 weeks after surgery. Low frequencies were preserved, and the airborne gap at low frequencies decreased compared to the immediate post-operative PTA (A). Unaided pure tone audiogram and sound field pure tone audiogram at postoperative 3 months. Average aided-threshold is thirty decibel (B).

에 한계가 있는 경우로서⁹⁾ 순음 청력도에서 500 Hz 이하의 주파수에서 양이 모두 60 dB HL보다 높아야 하며 2 kHz 이상에서는 60 dB HL 이하, 단음절 단어 인식이 보청기 미착용시 80~100 dB SPL에서 50% 미만, 착용시 65 dB SPL에서 50% 이상인 경우이다.⁹⁾ EAS의 성공을 위해서는 수술 중 잔청의 보존이 필수적으로, 집도되는 전극을 삽입할 때 와우 미세구조에 가능한 최소의 힘이 가해지도록 시술을 해야 한다. 수술 시 유의할 점으로 기존 인공와우 수술보다 안면신경와를 크게 열고 와우 근처에서는 음향 외상을 피하기 위해 저속도의 다이아몬드 드릴을 사용해야 하며 전극 삽입 전 crystalline triamcinolone과 히알루론산 용액을 정원창막 위에 도포하는 것이 좋으며 cochleostomy 또는 round window 기법으로 와우 개방 후 바로 전극을 삽입, 와우 주변에서 흡입을 하여서는 안되고 삽입 방향은 후상방에서 전하방으로 knob가 와우축을 마주하는 방향으로 삽입한다.³⁻⁷⁾ 전극의 길이와 특징 또한 중요한 관련이 있으며 초기 EAS 전극의 길이는 6~10 mm로 짧게 삽입하였으나 전극을 외상없이 삽입할 수 있는 기술의 고안으로 현재는 18~22 mm 길이의 전극도 사용하는 추세이다. 또한 깊이 삽입한 경우 청력 결과가 더 우수하고 술 중 잔청이 보존되지 못하거나 술 후 이물 반응, 와우 내 섬유화 또는 자연 경과에 따라 잔청이 악화되는 경우에도 긴 전극을 넣기 위해 재수술을 할 필요가 없다는 장점이 있다.⁹⁾ 본 환자에서 사용된 FLB-X^{EAS} 전극의 길이는 24 mm, 전극 접촉 면적은 20.9 mm로 기저 회전과 일부 중간 회전에 삽입되며 삽입 외상을 줄이기 위해 유연하게 설계되어 저주파수의 보존에 유리하다.¹⁰⁾ 본 증례의 경우 수술 직후 순음 청력도에서 저주파수 기도 청력이 술 전에 비해 25 dB 정도 감소하였는데 이는 전극 삽입시의 물리적 외상, 외림프 내 충격과 생성, 드릴에 의한 음향 외상, 내이 항상성 파괴, 감염, 이차적 와우 내 섬유화 등을 원인으로 생각할 수 있으며, 수술 중 스테로이드의 사용이 전극 삽입 외상에 의한 청력 손실을 줄이고 염증이나 이물반응 등으로 인한 점

진적인 청력 감소를 예방할 수 있다고 보고되었으며 술 후 3개월 이후에도 효과가 있음이 보고되었다.⁹⁾ EAS 피팅시 청각/전기 교차 주파수 설정이 중요하며, 순음 청력도상 65 dB HL를 기준으로 이보다 청력이 낮은 주파수를 기준으로 한다. 그러나 저주파수 청력이 거의 정상이거나 고주파수 영역에 기능하는 유모세포가 있는 경우에는 교차 자극이나 음향 반사에 의해 불편감을 느낄 수 있으며 따라서 순음 청력도만을 기준으로 삼는 것보다 음향 심리 평가(psychoacoustic pitch matching)를 추가하는 것이 좋을 것으로 생각된다.⁹⁾ 또한 부분농의 기간이 오래된 환자들은 적응 및 대뇌 피질 재편성(cortical reorganization)을 위한 재활 기간이 길므로 수술 전 충분한 상담과 설명이 필요하며 술 후 잔청을 지속적으로 모니터링 해야 한다. EAS는 음의 고저인식에 유리하고¹¹⁾ 음성의 기본주파수 분석을 용이하게 하며,^{12,13)} 배경 소음환경에서 입력을 각각 처리하여 한 쪽은 인공와우, 다른쪽은 보청기인 경우보다 소리와 언어 인지에 효과적임이 보고되고 있다.¹⁴⁾ 또한 소리의 질적 향상과 음악의 멜로디 및 악기 구분에도 도움이 된다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 반면 세밀한 주파수 해상도에는 한계가 있는 단점이 있다.¹⁸⁾

본 증례에서는 종래의 보청기나 인공와우로 도움을 받기 어려운 부분농 환자에서 EAS 인공와우를 이용하여 잔청을 보존하면서 저주파와 고주파 청력을 동시에 활용하여 좋은 결과를 보고하는 바이며 이러한 새로운 기계의 도입으로 향후 난청의 정도와 양상에 따른 맞춤형 치료에 도움이 될 것으로 생각한다.

REFERENCES

- 1) Gstoeftner WK, van de Heyning P, O'Connor AF, Morera C, Sainz M, Vermeire K, et al. Electric acoustic stimulation of the auditory system: results of a multi-centre investigation. *Acta Otolaryngol* 2008;128(9):968-75.
- 2) Mukherjee P, Uzun-Coruhlu H, Wong CC, Curthoys IS, Jones AS, Gibson WP. Assessment of intracochlear trauma caused by the insertion of a new straight research array. *Cochlear Implants Int* 2012;

- 13(3):156-62.
- 3) Kiefer J, Gstoettner W, Baumgartner W, Pok SM, Tillein J, Ye Q, et al. Conservation of low-frequency hearing in cochlear implantation. *Acta Otolaryngol* 2004;124(3):272-80.
 - 4) Roland PS, Gstöttner W, Adunka O. Method for hearing preservation in cochlear implant surgery. *Operat Tech Otolaryngol* 2005;16(2):93-100.
 - 5) Skarzynski H, Lorens A, Piotrowska A, Anderson I. Preservation of low frequency hearing in partial deafness cochlear implantation (PDCI) using the round window surgical approach. *Acta Otolaryngol* 2007;127(1):41-8.
 - 6) Roland PS, Wright CG, Isaacson B. Cochlear implant electrode insertion: the round window revisited. *Laryngoscope* 2007;117(8):1397-402.
 - 7) Adunka OF, Radeloff A, Gstoettner WK, Pillsbury HC, Buchman CA. Scala tympani cochleostomy II: topography and histology. *Laryngoscope* 2007;117(12):2195-200.
 - 8) Carvalho GM, Valente JP, Duarte AS, Muranaka EB, Guimarães AC, Soki MN, et al. Electro acoustic stimulation of the auditory system: UNICAMP's surgical approach. *Braz J Otorhinolaryngol* 2012;78(1):43-50.
 - 9) von Ilberg CA, Baumann U, Kiefer J, Tillein J, Adunka OF. Electric-acoustic stimulation of the auditory system: a review of the first decade. *Audiol Neurootol* 2011;16 Suppl 2:1-30.
 - 10) Arnoldner C, Helbig S, Wagenblast J, Baumgartner WD, Hamzavi JS, Riss D, et al. Electric acoustic stimulation in patients with postlingual severe high-frequency hearing loss: clinical experience. *Adv Otorhinolaryngol* 2010;67:116-24.
 - 11) Golub JS, Won JH, Drennan WR, Worman TD, Rubinstein JT. Spectral and temporal measures in hybrid cochlear implant users: on the mechanism of electroacoustic hearing benefits. *Otol Neurotol* 2012;33(2):147-53.
 - 12) Souza P, Arehart K, Miller CW, Muralimanohar RK. Effects of age on F0 discrimination and intonation perception in simulated electric and electroacoustic hearing. *Ear Hear* 2011;32(1):75-83.
 - 13) Wilson BS, Dorman MF. Cochlear implants: current designs and future possibilities. *J Rehabil Res Dev* 2008;45(5):695-730.
 - 14) Fraysse B, Macías AR, Sterkers O, Burdo S, Ramsden R, Deguine O, et al. Residual hearing conservation and electroacoustic stimulation with the nucleus 24 contour advance cochlear implant. *Otol Neurotol* 2006;27(5):624-33.
 - 15) Woodson EA, Reiss LA, Turner CW, Gfeller K, Gantz BJ. The Hybrid cochlear implant: a review. *Adv Otorhinolaryngol* 2010;67:125-34.
 - 16) Podskarbi-Fayette R, Pilka A, Skarzynski H. Electric stimulation complements functional residual hearing in partial deafness. *Acta Otolaryngol* 2010;130(8):888-96.
 - 17) McDermott HJ. Music perception with cochlear implants: a review. *Trends Amplif* 2004;8(2):49-82.
 - 18) Kiefer J, Pok M, Adunka O, Stürzebecher E, Baumgartner W, Schmidt M, et al. Combined electric and acoustic stimulation of the auditory system: results of a clinical study. *Audiol Neurootol* 2005;10(3):134-44.