



# Short-Term Clinical Outcome of Neuro One<sup>®</sup> System Cochlear Implantation in Korean Adults

Yong Woo Lee, Min-Beom Kim, and Sun O Chang

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Kangbuk Samsung Hospital, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

## 한국 성인에서의 Neuro One<sup>®</sup> System을 이용한 인공와우이식의 단기 임상결과

이용우 · 김민범 · 장선오

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실

**Background and Objectives** This study analyzed short-term clinical outcome and safety of Neuro One<sup>®</sup> (Oticon Medical) cochlear implantation on postlingually deafened Korean adults.

**Subjects and Method** A prospective study was performed on five postlingually deafened Korean adults who underwent Neuro One<sup>®</sup> cochlear implantation between April and June, 2016. All cases were successfully implanted via round window approach. Preoperative pure tone audiometry and speech perception score [phonetically balanced (PB) words, bi-syllable words, Korean version-central institute for the deaf (K-CID)], intraoperative evoked compound action potential (ECAP), postoperative audiometry, aided warble-tone thresholds and speech perception scores after 6 months were evaluated. Residual hearing group was defined as patients with below 40 dB of average audiometric threshold in low frequency (250 and 500 Hz). Preservation of residual hearing and postoperative complication were also evaluated.

**Results** The mean age of five patients (3 men, 2 women) was 37.6 years. All of the recipients were unsatisfied about the conventional hearing aid. Two patients met the criteria for belonging to a residual hearing group. The audiometric threshold on the implanted side was 102.8 dB, and the opposite side was 89.6 dB. The speech perception score with hearing aid resulted in the PB word score of 35.5%, bi-syllable word score of 50%, and the open set sentence test of 62.5% on the average. The mean operation time was 87 minutes. Three patients showed normal ECAP response throughout the entire electrode intraoperatively, but the other two patients could not detect ECAP response intraoperatively. However, we could eventually identify ECAP responses in all cases postoperatively. All patients of residual hearing group could preserve their residual hearing without deteriorating more than 10 dB on audiometry. At 6 months after implantation, there was significant improvement of speech perception scores (PB word score was 54.1%; bi-syllable word score was 68.1% and K-CID was 86.2%).

**Conclusion** Neuro One<sup>®</sup> cochlear implant system was able to preserve residual hearing with relative short operation time. Short-term clinical outcome showed no significant difference with other cochlear implant devices. However, intraoperative ECAP measurement was not consistent. Further investigation was necessary.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2018;61(6):281-6

**Key Words** Cochlear implantation · Hearing aids · Speech perception.

**Received** June 22, 2017

**Revised** July 19, 2017

**Accepted** July 28, 2017

**Address for correspondence**

Min-Beom Kim, MD, PhD  
Department of Otolaryngology-  
Head and Neck Surgery,  
Kangbuk Samsung Hospital,  
Sungkyunkwan University  
School of Medicine,  
29 Saemunan-ro, Jongno-gu,  
Seoul 03181, Korea  
**Tel** +82-2-2001-2264  
**Fax** +82-2-2001-2273  
**E-mail** minbeom.kim@gmail.com

## 서론

와우이식술(cochlear implantation)은 1984년 3 M/House 단채널 인공와우가 최초로 임상에서 사용된 이후로 현재까지 비약적으로 발전해왔다. 현재 전 세계적으로 300000건 이상의 와우이식이 시술되고 있고 고도에서 심도 난청 환자들의 표준적인 치료법으로 인정받고 있다. 와우이식은 언어 습득 이후의 난청 환자에서 의사소통 능력을 유지 혹은 회복시키고, 사회적 상호작용과 삶의 질에도 긍정적인 영향이 알려져 있다.<sup>1,2)</sup>

인공와우의 음향처리기술과 수술 방법론적인 발달로 이식술의 결과에 많은 향상을 가져오게 되었고, 수술 적용 범위의 확장도 가능하도록 하였다. 음향처리기는 청각 능력 향상을 통해 의사소통에서의 질을 높이는 것을 목표로 하여 기술상의 발전을 거듭해오고 있으며 이식수술 자체는 ‘soft surgery’의 개념을 도입하는 방향으로 향상되고 있다. ‘Soft surgery’는 drilling 등을 줄여서 와우 내의 손상을 최소화하는 개념으로 정원창(round-window)을 통한 접근법이 기존의 와우개창술(cochleostomy)을 통한 전극삽입과 비교하여 와우의 손상을 줄일 수 있는 수술법으로 근래 선호되고 있다.<sup>1,2)</sup> 또한 dexamethasone과 hyaluronic acid 등의 적절한 약물화학적 보조를 통해서 전극삽입 과정 중에 발생할 수 있는 손상과 이식 후 염증 반응을 감소시킬 수 있다는 사실이 알려져 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 개선들은 환자의 수술 전 잔청(residual hearing)을 보존할 수 있게 함으로써 인공와우가 전기적인 자극과 음향적인 자극의 조합을 제공할 수 있게 함으로써 다양한 상황에서 언어이해 능력이 향상되는 것이 기준에 알려져 있다.<sup>5,6)</sup>

Neuro system은 Oticon Medical에서 제작된 새로운 인공와우로, 2015년부터 임상에서 사용되어 현재까지 300건 이상 이식이 시행되었다. 현재 전 세계적으로 15개국에서 사용되어 임상적인 효과가 보고되고 있으며, 본원에서도 ‘soft surgery’를 통한 이식술을 시행하여 새로운 인공와우의 의사소통 능력의 향상을 객관적인 측정법을 통해 확인하고자 하였다. 유럽과 캐나다에서는 새로운 장치에 대한 임상결과가 보고되어

있으나, 한국을 비롯하여 아시아에서는 아직까지 그 임상결과가 보고되어 있지 않다. 이에 저자들은 최근에 Neuro One<sup>®</sup> (Oticon Medical, Vallauris, France) 장치를 이용하여 아시아에서 최초로 인공와우이식을 시행하였고 새로운 장치의 단기적인 임상결과와 그 안전성과 효율성 여부를 확인하고 문헌고찰과 함께 보고하는 바이다.

## 대상 및 방법

### 환자군

2016년 4월부터 2016년 6월까지 강북삼성병원 이비인후과에서 언어 습득 후, 양측 감각신경성 난청으로 진단된 5명의 성인(남성 3명, 여성 2명)이 본 연구에 포함되었다. 선정된 환자들은 평균적으로 16.5년( $\pm 15.9$ )의 기간 동안 보청기를 사용하였고, 보청기를 착용하여도 술 전에 시행한 언어평가상 speech perception이 만족스럽지 못했거나 주관적으로 효과가 없어 환자 스스로 보청기를 사용하지 않는 자들이었다. 대상 환자들은 특이 주산기 병력은 확인되지 않았고, 과거 만성 중이염에 이환된 경험이 없는 자들로 측두골 전산화단층 촬영과 자기공명영상(internal auditory canal MRI)에서 해부학적인 이상을 확인할 수 없었고 수술 전에 시행된 evaluation 상에서 난청의 명확한 원인을 확인할 수 없어 특발성 감각신경성 난청으로 진단된 자들이다. 평균 연령은 37.8년( $\pm 16.5$ , 19~50세), deaf duration은 환자가 보청기를 사용하여도 효과를 느끼지 못한 시점을 기준으로 하여 평균 13.6년( $\pm 14.2$ , 1~35년)으로 관찰되었다. 수술 측 청력 역치는 평균 102.6 dB ( $\pm 10.1$ , 90~116 dB)이었다(Table 1). 대상 환자들 중 수술 전 순음청력검사상 250 Hz와 500 Hz 주파수의 평균 역치가 40 dB 이내인 경우, 잔청(residual hearing)군으로 분류하였다.

본 연구는 강북삼성병원 임상시험심사위원회의 검토와 승인을 받았고(승인번호: KBSMC2015-05-008) 모든 환자들에 기술과 연구의 세부적 사항을 충분히 설명한 이후 자발적 동의하에 진행되었다. 또한 다른 인공와우와의 임상결과 및 수술 시간을 비교, 분석하기 위해 대조군을 의무기록을 통해

**Table 1.** Demographic data of subjects

Patient no.	Sex	Age	Op ear PTA (dB)	Non-OP ear PTA (dB)	Duration of deafness (yr)	Period of hearing aid use (yr)	Residual hearing
1	F	41	107	89	2	2.5	+
2	M	23	95	98	1	1.8	+
3	F	58	116	119	20	26	-
4	M	19	105	64	10	13	-
5	M	48	90	90	35	39	-
Average		37.8	102.6	92.0	13.6	16.5	

OP: operation, PTA: pure tone audiometry, yr: year, F: female, M: male

후향적으로 선정하였다. 연구가 진행된 같은 년도에 다른 제조사의 인공와우를 사용하여 일측 인공와우수술만을 받은 환자들 7명을 대조군으로 선정하였고, 평균연령은 63.4년( $\pm 5.2$ , 56~72세)으로 해당환자들은 중이염의 과거력이나 해부학적인 이상이 없는 자들이다.

### Neuro implant system

Neuro Zti Evo® (Oticon Medical) receiver/stimulator는 경피적으로 이식하는 인공와우 장치로서, 삽입되는 전극은 20개의 전극이 25 mm 길이로 나열되어 있고, 외과적으로 와우 내 고실계로 위치시킨다. Neuro Zti Evo®는 두께 4.5 mm, 가로와 세로가 각각 30.5, 40.8 mm의 길이를 보여주며, 측두골의 표면에 자동-태핑 나사를 이용하여 고정할 수 있다(Fig. 1).

### 수술 전후의 평가

수술 전의 모든 검사는 술 전 1달 이내에 시행하였다. 청각에 대한 평가는 방음이 이루어진 부스에서 청각 보조장치를 사용하지 않은 상태에서 순음청력검사가 이루어졌고 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz의 주파수를 측정하였다. 모든 환자서 순음청력검사에 대한 신뢰도는 청성뇌간반응검사(auditory brainstem response)와 청성지속반응검사(auditory steady-state response, ASSR)를 시행하여 확인하였다. 언어평가는 동일음압단어[phonetically balanced(PB) word], 이음절어(bisyllable word), Korean version-central institute for the deaf(K-CID) 3가지 항목을 측정하였다. 언어평가 항목들은 auditory-only(AO) condition 하에서 측정된 결과를 사용하여 수술 전후로 분석하였다. 대상 환자들의 수술 전후의 청각검사는 모두 동일한 청각사에 의해 이루어졌고, 언어평가 또한 동일한 환경에서 한 명의 언어치료사가 시행하였다.

수술 중에는 장치를 이식한 후 전기유발복합활동전위(evoked compound action potential, ECAP)를 확인하였고 수술에 소요된 시간을 마취기록을 통해 확인하였다. 수술 후

임상결과에 대한 평가는 3개월과 6개월째에 이루어졌고 음장착용청력검사(aided sound-field audiometry)와 PB word, bisyllable word, K-CID sentence 항목을 검사하였다. 검사를 통하여 잔청의 보존 여부를 확인하고 수술에 대한 합병증 발생 유무는 술 후 1달간은 주 1회씩 외래 통원하여 확인하였고, 그 이후로는 3개월과 6개월째 경과관찰 시 확인하였다.

통계학적 검정은 수술 전후의 검사결과에 대해서는 Wilcoxon signed ranks test를 사용하였다. 단, 수술 시간에 대한 대상 환자와 대조군 사이의 통계학적인 검정은 Mann-Whitney U test를 사용하였다. 통계프로그램은 SPSS version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다.  $p$ -value 값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의한 것으로 판정하였다.

## 결 과

수술 후 인공와우 장치를 착용한 상태에서 시행한 음장착용청력검사의 평균 역치는 3개월째 46( $\pm 10.8$ ) dB HL, 6개월째에 40.7( $\pm 6.0$ ) dB HL로 관찰되었다. 수술 전 순음청력검사의 평균 역치 102.6( $\pm 10.1$ ) dB HL와 비교하였을 때 통계학적으로 유의한 청력 호전이 있음을 확인하였다( $p < 0.001$ ) (Table 2). 수술 전에 잔청이 있는 것으로 확인된 환자 두 명은 술 후 6개월째 시행한 순음청력검사를 술 전과 비교하였을 때 250 Hz( $p = 0.317$ ), 500 Hz( $p = 0.317$ ) 두 주파수에서 의미 있는 역치 변화는 관찰되지 않았다. 따라서 환자들의 잔청은 비교적 잘 보존되었음을 확인할 수 있었다(Table 3).

AO condition 하에서 시행한 언어평가에서 PB word에서 술 전에 34.4( $\pm 20.5$ ), 3개월째 53.4( $\pm 18.1$ ), 6개월째 57.8( $\pm 26.0$ )으로 측정되었고 bisyllable word에서 술 전 49.5%

**Table 2.** Pre- and post-OP threshold of audiometry

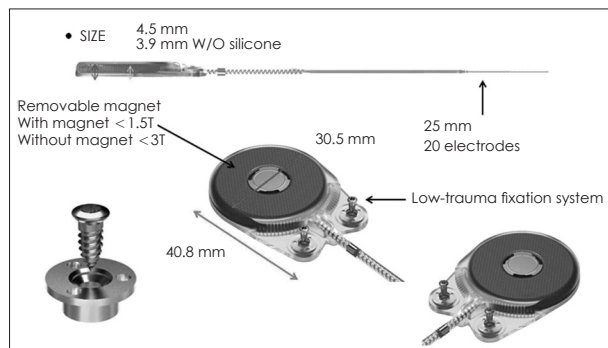
Patient no.	Pre-OP (dB)	3 mon (dB)	6 mon (dB)
1	107	45	40
2	95	65	50
3	116	40	40
4	105	40	40
5	90	40	33.3
Average	102.6	46*	40.7*

\*wilcoxon signed ranks test,  $p < 0.001$ . OP: operation

**Table 3.** Pre- and post-OP threshold of low-tone audiometry

Patient no.	Pre-OP (dB)		6 mon (dB)	
	250 Hz	500 Hz	250 Hz	500 Hz
1	15	65	20	65
2	20	40	20	60
Average	17.5	52.5	20*	62.5*

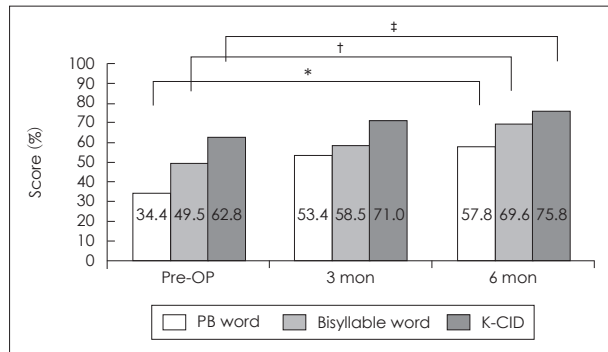
\*wilcoxon signed ranks test,  $p = 0.317$ . OP: operation



**Fig. 1.** Overview of Neuro Zti Evo® (Oticon Medical) receiver/stimulator. W/O: without.

( $\pm 33.6$ ), 3개월째 58.5%( $\pm 18.5$ ), 6개월째 69.6%( $\pm 24.2$ )로 관찰되었다. K-CID에서는 술 전에 62.8%( $\pm 36.8$ ), 3개월째 71.0%( $\pm 34.9$ ), 6개월째 75.8%( $\pm 26.1$ )로 관찰되었다. 수술 전과 비교하여 술 후 6개월째에 PB word( $p=0.043$ ), bisyllable word( $p=0.042$ ), K-CID( $p=0.043$ ) 세 가지 언어평가 항목서 모두 통계적으로 의미 있는 향상을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

5명의 환자 모두에서 정원장을 통한 접근법으로 soft surgery

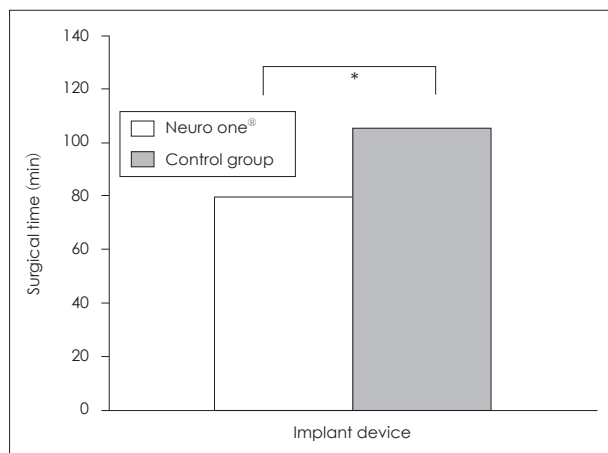


**Fig. 2.** Post-OP change of speech perception score. \*wilcoxon signed ranks test,  $p=0.043$ , †wilcoxon signed ranks test,  $p=0.042$ , ‡wilcoxon signed ranks test,  $p=0.043$ . OP: operation, PB: phonetically balanced, K-CID: Korean version-Central institute for the deaf.

**Table 4.** Result of intra-OP variables

Patient no.	OP time (min)	ECAP response	Electrode resistance
1	80	+	-
2	95	+	-
3	65	+	-
4	120	-	-
5	75	-	-
Average	87	2 cases missing*	All fully inserted

\*after 1 month, normal ECAP response observed in all cases. ECAP: evoked compound action potential, OP: operation



**Fig. 3.** Difference in surgical time between Neuro one® (Oticon Medical) and control groups. \*Mann-Whitney U test,  $p=0.045$ .

가 성공적으로 시행 가능하였고 전극을 삽입하는 과정에서 저항은 확인되지 않았다. 술 중에 ECAP response는 5명 중 3명에서는 확인 가능하였고 2명은 관찰되지 않았다. 하지만 술 중에 ECAP response가 없었던 2명의 환자도 술 후 1달 이내에는 ECAP response를 정상적으로 관찰 가능하였다. 모든 환자는 수술을 2시간 이내에 마무리할 수 있었으며 평균적으로 87분( $\pm 21.4$ )이 소요되었다(Table 4). 수술과 관련된 합병증은 모든 환자에서 6개월째까지 관찰되지 않았다.

## 고 찰

본 연구는 Neuro One® system 인공와우의 임상결과와 안전성 여부를 6개월의 기간 동안 확인한 국내를 비롯한 아시아에서 최초로 시행된 임상시험이다. 와우이식 후 3개월째와 6개월째의 음장착용청력검사(aided sound-field audiometry)와 PB word, bisyllable word, K-CID를 통해서 청력과 의사소통 능력의 향상을 평가하였고, 합병증 발생 유무와 저주파수 음역의 청력 보존 여부를 통하여 이식 후의 안전성을 확인하였다. 그리고 결과적으로 선별된 조건하의 환자들에서 임상적인 효과가 있음을 관찰하였고, 특정 protocol 하에서 이식술이 시행되었을 때, 안전하게 시술될 수 있음을 확인하였다.

단, 언어 습득 후 청력을 상실한 성인만을 대상으로 하였고, 제한된 수의 환자를 통해서 도출된 결과임을 생각해보았을 때, 전체 난청 환자에 대해 일반화할 수는 없지만 향후 더 많은 수의 환자들을 대상으로 하는 임상시험이 시행 가능하도록 하였다. 수술 후에 시행된 음장착용청력검사는 술 후 3개월째 평균 역치 46 dB로 급격한 호전을 보였고 통계적으로도 유의미한 증가 정도( $p<0.001$ )로 관찰되었으며 이후 6개월째는 평균 역치 42 dB로 완만하게 증가되는 것이 관찰되었다. 또한 단기간의 경과관찰 동안 관찰된 청력 역치는 기존에 문헌을 통해서 보고된 기존 인공와우와 유사한 것으로 확인하였다.<sup>7)</sup> AO condition 하에서 시행한 세 가지 항목의 언어평가에서는 청력 역치와는 다르게 3개월째 PB word 19%( $p=0.043$ ), bisyllable word 9%( $p=0.343$ ), K-CID 8.2%( $p=0.225$ )의 증가를 보여 두 가지 검사에서는 통계적으로 의미 있는 향상이 나타나지 않았으나 6개월째에 이르러 세 가지 검사에서 모두 통계적으로 유의미한 향상이 관찰되어 완만하게 증가하는 것을 확인하였다. 다만 6개월째에 관찰된 절대적인 언어평가상의 수치도 다른 장치를 사용한 임상결과를 보고한 기존 문헌들과 유사하게 확인된다.<sup>7-9)</sup> 강북삼성병원에서도 다른 인공와우를 사용하여 수술을 시행한 7명의 환자 중, 술후 6개월 시점의 평가가 아직 되지 않은 1명을 제외하고 6명에서 술 후 청력 역치( $p=0.926$ )와 PB word( $p=0.200$ ), bisyllable



word( $p=0.200$ ), K-CID( $p=0.144$ )를 비교하였을 때, Neuro One® 인공와우 이식을 받은 환자들과 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 따라서 언어 습득이 이루어진 성인에서 기존의 장치들만큼의 청력이나 의사소통 능력의 향상을 기대할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서 비록 적은 수이지만 residual hearing이 있는 것으로 확인된 환자에서는 직선형의 전극(25 mm 길이)을 완전히 삽입하였음에도 청력이 보존되었음을 확인할 수 있었다. 정원창을 통한 수술적 접근법으로 이식술을 시행하였을 때 본 인공와우에서 청력이 보존되는 것은 기존의 문헌에서도 보고된 바가 있다.<sup>7)</sup> 그리고 전극의 삽입 과정에서도 모든 환자에서 저항 없이 완전한 삽입이 가능하여 본 장치에서 와우 내의 최소한의 손상으로 전극 삽입이 가능함을 확인할 수 있었다. 따라서 잔청이 있는 환자에서 청력을 보존하면서 이식할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었고, 이는 향후 더 많은 수의 환자를 포함한 임상시험을 통해서 밝혀져야 할 부분으로 사료된다. 청력 보존 이외에도, 모든 대상 환자들에서 경과 관찰 중에 안면신경 손상, 현훈, 삼출성 중이염, 미각 변화와 같은 이식 후 합병증이 확인되지 않아 청각기관과 주변 구조물에 손상을 유발하지 않는 것으로 판단할 수 있었다. 결론적으로, 제한된 환자군에서 안전하게 이식할 수 있는 장치로 평가를 내릴 수 있었다.

수술 시간은 평균 87분( $\pm 21.4$ )으로 확인되어 인공와우 수술이 기존에 2시간가량 소요되는 것으로 알려져 있는 것을 생각해봤을 때, 비교적 단축된 것을 확인하였다. 수술은 대상 환자와 대조군 모두 동일한 술자들에 의해서 이루어졌다. 대조군에 해당하는 환자들은 7명이었고 수술에 소요된 시간은 평균 117분( $\pm 13.1$ )으로 확인되었다. 분석 결과를 살펴보면, Neuro One® system으로 수술한 환자군에서는 수술 시간이 평균 87분( $\pm 21.4$ )으로 통계적으로 의미 있는 시간 단축이 있음을 확인하였다(Mann-Whitney U test,  $p=0.045$ )(Fig. 3). Neuro Zti Evo® receiver/stimulator는 자동-태핑 나사를 통해서 측두골에 고정된다는 점에서 기존의 장치와는 차이점을 보인다. 수술 시에 subperiosteal pocket을 만든 이후에 receiver에 부착되어 있는 나사를 조이는 것만으로 고정이 끝나게 된다. 이는 receiver/stimulator를 위치시키기 위해 기존에 시행하던 bone-bed drilling이나 suture를 필요로 하지 않아 수술 시간의 의미 있는 단축을 가능하도록 하였고, 본 연구에서 관찰된 결과도 이러한 점에 기인하는 것으로 판단된다.

본 저자들은 수술 중에 대상 환자 5명 중 2명에서는 20개의 모든 전극에서 임피던스가 측정되었음에도 ECAP은 확인되지 않는 것을 관찰할 수 있었다. 이 2명은 술 후 1달째 장치를 switch on 하는 시점에서는 ECAP이 정상적으로 관찰되었

지만, receiver/stimulator의 전극에 특별한 문제가 없음에도 술 중에 ECAP이 측정되지 않는 현상에 대해서 향후 보완이 필요하다. 또한 환자 중 한 명에서는 speech processor가 scalp에 잘 부착되지 않는 현상이 관찰되었다. 이 환자는 추가적으로 scalp의 volume reduction을 시행하였고 이후로는 상기의 문제가 발생하지 않았다. 이처럼 scalp가 두꺼운 환자들에서 speech processor 고정에 문제를 보이는 부분 또한 향후 개선이 필요한 부분이다. 본 연구는 언어 습득 이후 청력을 소실한 5명의 성인을 대상으로 진행된 것으로 임상결과 상의 향상과 함께 수술의 안전성을 확인하였다. 단, 대상으로 선정된 환자가 소수이고, 특정 조건하의 환자들만을 포함하고 있는 점을 고려한다면 전체 난청 환자에 대해서 일반화할 수 없다는 점에서 한계가 있다. 따라서 향후 더 많은 수의 환자를 포함한 randomized study를 통하여 본 저자들이 관찰한 부분들에 대한 확인이 필요할 것이다.

결론적으로 Neuro One® system(Oticon Medical)은 새로운 고정 시스템으로 인해 외상은 줄이면서 비교적 빠른 시간 내에 수술이 가능한 것으로 관찰되었다. 또한, 잔청이 술 후에도 보존되고 다른 합병증을 동반하지 않아 안전하면서 임상결과상으로도 기존의 인공와우와 큰 차이는 없는 것으로 관찰되었다. 하지만 전극상의 결함이 없음에도 수술 중 ECAP이 관찰되지 않는 경우가 있고 scalp의 두께에 따라 speech processor의 부착에 문제를 보이는 부분에 대한 보완이 필요할 것으로 사료된다.

## Acknowledgments

The subjects of this study was supported for fee of the surgery and cochlear implant device by 'Oticon medical'. Surgeons and researchers of the study have no other possible conflicts of interest, including financial, consultant, institutional and other relationships that might lead to bias.

## REFERENCES

- 1) Semenov YR, Martinez-Monedero R, Niparko JK. Cochlear implants: clinical and societal outcomes. *Otolaryngol Clin North Am* 2012; 45(5):959-81.
- 2) Gaylor JM, Raman G, Chung M, Lee J, Rao M, Lau J, et al. Cochlear implantation in adults: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 2013;139(3):265-72.
- 3) Géléoc GS, Holt JR. Sound strategies for hearing restoration. *Science* 2014;344(6184):1241062.
- 4) Di Lella F, Bacciu A, Pasanisi E, Vincenti V, Guida M, Bacciu S. Main peak interleaved sampling (MPIS) strategy: effect of stimulation rate variations on speech perception in adult cochlear implant recipients using the Digisonic SP cochlear implant. *Acta Otolaryngol* 2010;130(1):102-7.
- 5) Shannon RV. Advances in auditory prostheses. *Curr Opin Neurol* 2012;25(1):61-6.
- 6) Svirsky MA, Robbins AM, Kirk KI, Pisoni DB, Miyamoto RT. Language development in profoundly deaf children with cochlear implants. *Psychol Sci* 2000;11(2):153-8.

- 7) Bento RF, Danieli F, Magalhães AT, Gnansia D, Hoen M. Residual Hearing Preservation with the Evo® Cochlear Implant Electrode Array: Preliminary Results. *Int Arch Otorhinolaryngol* 2016;20(4): 353-8.
- 8) Han JJ, Shin MS, Song JJ, Pai I, Oh S, Kim B, et al. Prognostic value of psychological state in cochlear implantation. *Acta Otolaryngol* 2016;136(2):154-8.
- 9) Moon IJ, Kim EY, Jeong JO, Chung WH, Cho YS, Hong SH. The influence of various factors on the performance of repetition tests in adults with cochlear implants. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2012; 269(3):739-45.