

# Electrical Stimulation for the Treatment of Tinnitus

Ji Hyun Jung and Jae Yong Byun

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Kyung Hee University School of Medicine, Seoul, Korea

## 이명의 전기자극치료

정 지 현 · 변 재 용

경희대학교 의학전문대학원 이비인후-두경부외과학교실

Received July 3, 2014

Accepted November 13, 2014

Address for correspondence

Jae Yong Byun, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology-

Head and Neck Surgery,

Kyung Hee University

School of Medicine,

892 Dongnam-ro, Gangdong-gu,

Seoul 134-727, Korea

Tel +82-2-440-6180

Fax +82-2-440-6073

E-mail otorhino512@naver.com

Tinnitus is a phantom sensation of sound in the absence of external stimulation. Since the mechanism of tinnitus is not clearly discovered, no currently available treatments are ideal. There have been many published studies which report that electrical stimulation has a suppressive effect on tinnitus. Although there is no consensus stimulation method and regimen, electrical stimulation has emerged as an interesting and promising modality for tinnitus relief. In this review, authors collected and analyzed articles on electrical stimulation and outlined various methods of noninvasive and invasive stimulation.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2015;58(2):73-8

**Key Words** Therapeutic electrical stimulation · Tinnitus.

## 서론

이명은 외부의 자극 없이 머리와 귀에서 음을 느끼는 현상으로 라틴어의 ring을 뜻하는 tinnire에서 유래되었다. 전인구의 약 10~15%의 높은 유병률을 보이고 연령이 증가될수록 많이 발생하나 소아를 포함하여 전 연령대에서 발생할 수 있다.<sup>1)</sup> 이명의 발생은 청각계뿐만 아니라 중추신경계 및 정서와도 깊은 연관성을 가지고 있는 것으로 알려져 있지만<sup>2)</sup> 아직까지 뚜렷한 원인과 기전에 대해 확실히 밝혀지지 않아 정확한 진단과 치료가 어려운 실정이다. 일반적으로 이명의 치료에는 약물치료, 이명재훈련치료, 소리치료, 인지치료 등이 시도되고 있으나 아직 누구나 인정하는 근본적인 치료는 없다.<sup>3)</sup>

전기자극치료는 일반적으로 통증을 완화하는 목적이나 골절의 회복을 돕는 치료로 많이 이용되고 있으며, 이명의 치료에 있어서도 최근에 새로 시도되는 치료는 아니고 오래 전부터 사용되어 왔지만 그 기전이나 효과에 대해서는 아직 명확하지 않으며 논란이 많다. 이명치료 목적의 전기자극치료는 1800년대 Volta가 자신의 내이에 직류전류로 자극을 시도한

이래<sup>4)</sup> 1976년 House 등<sup>5)</sup>이 인공 와우 이식 후 부수적인 효과로 이명의 감소를 보고하였고, 1979년 Portmann 등<sup>6)</sup>이 직류 전류 자극을 고실감각에 주어 이명을 치료하고자 하였으며 1981년 Chouard 등<sup>7)</sup>이 경피적 자극을 이용한 치료를 처음 보고하였다. 이외에도 Graham과 Hazell 등<sup>8)</sup>에 의해 전기자극 치료의 이명 억제 효과가 보고되었으며, Shulman<sup>9)</sup>이 경피적으로 유양돌기에 전기자극을 가하는 기기인 Audimax Theraband의 적용시도 등 이명의 치료의 한 축으로 다양한 방법이 시도되어 왔다.

그 외에도 뇌 자극, 와우 자극 등 다양한 자극방법이 연구되었으나, 전기자극에 의한 이명 억제 효과는 자극조건과 자극경로에 따라 연구자들마다 80%의 이명감소결과부터 효과 없음까지 다양하고 이명감소의 지속기간에 대하여도 다양한 결과가 보고되어 아직까지 치료효과에 대해서는 명확하지 않다.<sup>10)</sup> 하지만 이명을 억제할 수 있는 작은 단서도 이명치료의 큰 시작이 될 수 있고 최근 전기공학의 발달은 이명에서 전기자극치료를 보다 효과적으로 적용할 수 있게 되어 최근 전기자극치료에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 이명치료로

씨의 전기자극치료에 대해 문헌고찰과 함께 정리해보고자 한다.

## 본 론

### 전기자극의 이명억제 효과 기전에 대한 가설

이명의 발생기전에 대해서는 논란의 여지가 있으나 와우를 포함한 하부 청각계의 손상이 상부로 이어지며 변화를 유도하여 이명이 발생한다는 의견이 널리 받아들여지고 있다.<sup>11)</sup> 이러한 말초기관의 비정상적인 입력정보(input)는 말초기관에서의 이명을 야기하고 이는 결국 중추신경계의 구심성 정보(afferent input)의 감소를 야기하며 이에 대한 보상이나 변화된 신호 또는 감소한 정보에 대한 적응(adaptation)을 위해 중추신경계에서의 주변부 억제기능의 하향조절과 휴면상태의 글루타메이트 신경연접(glutamate synapses)의 활성변화 등 다양한 변화를 야기할 것이다. 이러한 신경의 가소성(neural plasticity)에 따른 자발전위의 발생에 의한 과흥분과 흥분성 확산(spread of activity)의 결과에 따라 이명이 발생한다고 생각된다.<sup>11)</sup> 이명 환자에서 기능적 뇌영상 검사인 single photon emission computed tomography와 positron emission tomography 검사에서 청각중추(auditory cortex)와 변연계(limbic structure) 등에서 활성도가 증가되어 있음은 이 가설을 뒷받침한다.<sup>12,13)</sup> 따라서 이 활성도를 조절한다면 이명을 억제 또는 치료할 수 있을 것이라는 가설이 성립한다.

전기자극은 신경섬유에 과분극을 일으키고 기저막 전위를 변화시켜 신경의 자발적 활동을 억제 또는 감소시키게 된다. 전기자극에 의한 신경흥분이 배측와우핵으로 연결되는 척수 후주 핵과 삼차신경 핵을 활성화시킴으로써 비전형적 청각경로를 통해 청각신경계에 억제성 영향을 미쳐 이명을 호전시킬 수 있다고 알려져 있다.<sup>14)</sup>

### 전기자극치료

전기자극의 효과는 전기자극의 물리적 특성과 자극위치에 따라 결정되며 그에 따른 다양한 결과가 보고되고 있다. 전기자극의 특성은 직류와 교류의 극성과 주파수, 파형, 강도로 특징 지워진다. 일반적으로 양극(positive polarity) 전류자극은 이명 등 소리 발생을 억제하고 음극(negative polarity) 전류자극은 소리를 발생시키는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup>

실험적으로는 직류전기자극이 유리하나 내이 손상의 우려가 있어 주로 교류자극이 환자에게 사용된다. 아울러 자극위치에 따라 나누어 보면 경피적 자극을 이용한 방법, 인공와우이식에 따른 감소 효과, 와우 자극, 자기장을 이용한 방법 등이 있다.

### 경피적 자극(Transcutaneous electrical stimulation)

이명은 만성통증과 자주 비견되어 왔으며 이명이 통증과 유사하게 전기자극에 의해 억제되는 것이 인지에 있어 통증과 유사한 관문(gate)을 가지며 통증에 대한 관문 통제이론(gate control theory)은 통증의 인지가 large diameter와 fine diameter의 말초신경섬유에 의해 조절되는데 이는 중추전달세포(central transmission cell)에 의해서도 조절될 수 있다는 것이다. 이와 유사하게 이명도 이개 주변의 cutaneous sensory fiber에 의해 조절될 수 있다는 이론을 근거로 한다.<sup>15)</sup> 그 외에도 전기자극이 청신경에서 자발적인 신경흥분의 동조화(synchronization)를 억제하여 이명감소를 일으킨다고 하였고 혹자는 전기자극이 반사궁을 자극하여 말초 혈액순환을 증가시켜서 이명을 억제시킨다는 등 다양한 가설이 있다. 기전에 대해서 정확히 밝혀진 것은 없으며 보다 많은 연구가 다양한 방법으로 이루어져야 할 것이다.

전술한 바와 같이 경피적 자극은 급성 및 만성 통증의 치료에 많이 사용되어 왔으며,<sup>15)</sup> 정중신경의 경피적 자극이 몇몇 환자에서 이명의 자극에 영향을 줄 수 있는 것으로 처음 발견되었다.<sup>16)</sup> 그 후로 많은 연구에서 측두하악 관절,<sup>17)</sup> 이개의 전, 후 피부 등을 자극하여 이명이 감소함을 보고하였으며,<sup>18)</sup> Engelberg와 Bauer<sup>19)</sup>는 이명 완화에 대한 효과적인 이개 주변의 자극점을 보고하였으나(Fig. 1), 아직 가장 효과적인 자극위치나 조건은 밝혀지지 않았다.

이개 주위의 피부는 제2 경추신경(C2)과 삼차신경의 제1 분지(V1)에 의해 지배를 받으므로, 이 부위에 전기자극을 가하면 비전형적 청각경로를 통해 청각신경계에 억제성 영향을 미쳐 이명을 호전시킬 수 있다고 알려져 있다.<sup>12)</sup>

전기자극치료에 사용되는 전류의 종류, 자극시간, 자극부

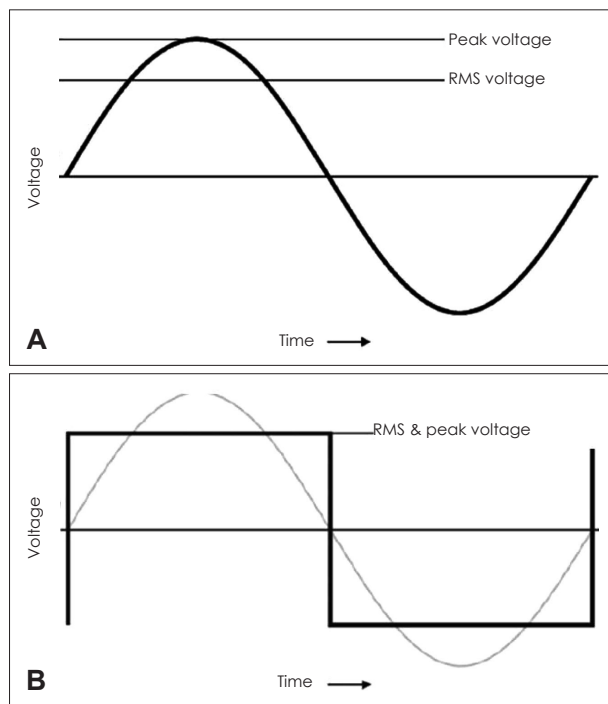


Fig. 1. Empirically suggested points on the external pinna and tragus.

위는 확립되어 있지 않으나, 소구의 신경세포가 50 Hz의 주파수 자극에 잘 반응한다는 결과가 있으며<sup>12)</sup> 이명억제 효과가 좋은 전기자극의 파형과 주파수는 Square 파형과 100 Hz 미만의 저주파수라는 보고가 있어<sup>20)</sup> 이러한 조건의 방법이 가장 많이 사용된다(Fig. 2). 경피적 전기 자극술의 이명 억제 효과는 보고자에 따라 다양하며 전기자극에 의한 이명 억제 기간도 수시간에서 수주까지 다양하게 보고되고 있다.<sup>21)</sup> 또한 이명 환자의 특성 중 저주파수 이명인 경우와 경도의 난청을 동반한 경우 경피적 자극의 효과가 더 좋다고 보고된 바 있다(Table 1).

#### 경두개 자기 자극(Transcranial magnetic stimulation)

경두개 자기 자극(Transcranial magnetic stimulation, TMS)은 전자기학에 기초하여 전장(electrical field)을 대뇌 피질로 전달하는 방법으로 대뇌 청각 피질의 활성도를 변화시켜 이명을 감소시키는 방법이다.<sup>25)</sup> 2003년 Hoffman 등<sup>26)</sup>이 정신



**Fig. 2.** Transmagnetic stimulation for tinnitus therapy. Sine wave (A) and square wave (B) electricity. RMS: repetitive magnetic stimulation.

분열증환자에서 환청을 감소시킬 수 있음을 보고한 뒤, 이명의 치료를 위한 시도가 이루어지고 있다.

목표로 정한 부위의 두피 위에 8자모양의 코일을 위치시킨 후(Fig. 3), 처음에 강한 전류(primary current)를 주면 감쇄 없이 자기장이 두피와 두개골을 지나 대뇌피질에 수밀리미터를 통과하여 전류강도를 변화시키면 자기장의 변동이 일어나고 이차 전류(secondary current)가 대뇌피질의 표면에서 형성된다. TMS의 효과는 일차 청각 피질을 직접 자극해서 나타나기 보다는, 얇게 위치한 이차 청각 피질 자극을 통해 나타난다고 알려져 있다.<sup>26)</sup>

일반적으로 고주파(예, 5~20 Hz) 경두개 자기장 치료는 대뇌 피질의 흥분도를 증가시키며, 저주파(예, 1 Hz) 경두개 자기장 치료는 대뇌 피질의 흥분도를 감소시키는 것으로 알려져 있다.<sup>26)</sup> 여러 연구들에서 측두-두정엽(temporoparietal) 영역에 시행한 고주파의 경두개 자기장 치료에서 약 50%의 이명 억제 효과가 보고되었으며,<sup>27-30)</sup> 저주파 경두개 자기장 치료에서는 8명 중 6명의 환자에서 이명이 감소한 것으로 나타나<sup>30)</sup>



**Fig. 3.** Transmagnetic stimulation for tinnitus therapy.

**Table 1.** The result of transcutaneous electrical stimulation for tinnitus

Study	Current	Site	Success rate (%)
Vernon and Fenwick <sup>21)</sup>	AC	Preauricular skin	28
Shulman <sup>22)</sup>	AC	Mastoid	60
Thedinger, et al. <sup>23)</sup>	AC	Mastoid	7
Steenerson and Cronin <sup>10)</sup>	Positive DC	Preauricular skin	53
Lee, et al. <sup>24)</sup>	AC	Preauricular skin	42.8

AC: alternating current, DC: direct current

효과적인 치료 주파수에는 논란의 여지가 있다.

기존의 연구들이 주로 tonic형 TMS의 치료 결과였던 것에 비하여, 최근에는 burst형 TMS가 더 일관되고 오래 지속되며 강력한 효과를 가지는 새로운 자극방법으로 알려졌다.<sup>31)</sup> Tonic과 burst의 차이를 보면, 예를들어 5 Hz burst의 경우 초당 5개의 TMS pulse로 구성되는데 각각의 burst는 5개의 빠른 TMS pulse로 구성된다. 반면 5 Hz의 tonic형 pulse는 초당 5개의 tonic pulse만으로 자극을 주게된다. Burst형 TMS는 운동 피질을 자극하기 위해 개발되었으나 이명 억제를 위한 청각 피질 자극에도 효과가 있는 것으로 보고되었으며, tonic형 TMS가 순음형 이명을 주로 억제하는 것에 비해 burst형 TMS는 순음형과 소폭 잡음형 이명 모두에 효과가 있는 것으로 나타났다.<sup>32,33)</sup>

많은 연구에서 측두-두정엽 부위에 1200~2000회의 저주파 자극을 5~10일에 걸쳐 반복적으로 주는 조건에서 장기적인 이명의 억제 효과를 증명하였으며,<sup>34-36)</sup> 1회의 경두개 자기장 치료에서도 일시적인 효과를 나타내는 것으로 보고되었다.<sup>37)</sup>

치료 시행 후 경련(<1%)이나 두통(<10%)이 발생할 수 있고 심박동기를 사용하는 사람이나 간질 발작의 병력이 있는 사람에는 금기이다.<sup>35)</sup> 자극부위는 이명의 위치에 따라 이명이 있는 쪽의 측두두정엽을 위주로 자극하였으나 일부에서는 이명의 위치에 관계없이 좌측을 자극하는 것이 효과적이라는 보고가 있어 많은 연구에서 좌측 측두두정엽을 자극하였다. 하지만 최근 De Ridder 등<sup>27)</sup>이 functional MRI를 이용하여 활성화된 부위를 찾아 자극부위를 정하는 navigation system을 채용하였고 보다 향상된 이명감소 결과를 보고하였다. 하지만 아직 최적의 자극조건과 부위에 대해 많은 연구가 필요하며 고가의 장비와 전문가가 요구되는 상황이라는 제약이 있다. 아울러 이명 환자의 많은 수가 우울증(depressive disorder)이 동반됨을 고려할 때 감정을 담당하는 전전두엽(prefrontal cortex)이 효과적인 부위로 생각되나 측두엽(parietal lobe) 자극도 항우울효과(antidepressant effect)가 있어 효과적인 자극 부위로서의 보다 많은 연구가 필요하다.

#### 경두개 직류 전기자극(Transcranial direct current stimulation, tDCS)

경두개 직류 전기자극(Transcranial direct current stimulation, tDCS)은 직류 자극에 대한 신경 조절 기전을 이용한 비침습적 뇌 자극 방법으로, 1998년 Priori 등<sup>38)</sup>은 0.5 mA의 약한 직류 전기자극을 통해 인간의 뇌 활성도를 조절할 수 있는 tDCS 방법을 처음으로 보고하였다. 일정 시간 동안 1~2 mA의 약한 직류 전기자극을 비침습적으로 두피에 적용하면 신경세포의 안정막 전압(resting membrane potential)을 조절하여

신경세포의 자발성 방전율(spontaneous discharge rate) 및 N-methyl-D-aspartic acid 수용체 활성화를 변화시키는 것으로 알려져 있다.<sup>39)</sup>

tDCS는 2개의 표면전극(surface electrode)을 이용하게 되며, 양극 자극(anodal stimulation)은 대뇌피질의 활성도를 증가시키고, 음극 자극(cathodal stimulation)은 대뇌피질의 흥분성을 억제시키는 것으로 알려져 있다.<sup>40)</sup>

이명 환자를 대상으로 한 연구에서 우측 배외측 전전두피질(dorsolateral prefrontal cortex)에 양극 자극, 좌측 배외측 전전두피질에 음극 자극을 위치시킨 양측 전두부 자극 결과 이명 및 이명 관련 고통을 줄여줄 수 있는 것으로 보고되었다.<sup>41)</sup>

tDCS는 이동이 간편하고 장비가격이 상대적으로 저렴한 장점이 있는 반면 자극 부위가 넓어 국소적 자극이 어렵다는 단점을 가지고 있다.<sup>42)</sup>

#### 인공와우 이식

인공와우 이식술에 의한 이명 감소는 House 등<sup>5)</sup>이 1976년에 처음으로 단채널 인공와우 이식술 후 절반 이상의 환자에서 부수적 효과로 이명이 줄어들었음을 보고한 이래, 와우 이식의 건수가 증가하며 이에 따른 이명의 감소가 보고되고 있다.

와우 이식 후 이명 감소의 기전은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았으나, 보청기 등을 이용한 경우와 유사하게 청능을 활성화시키는 음향 차폐 효과에 기인할 것이라고 제안되기도 하며, 인공와우의 전기자극에 의한 중추신경계의 재구성 또한 기여할 것이라고 추론되고 있다.<sup>43)</sup> 초기의 단채널 인공와우 기기의 경우 약 54% 정도, 다중 채널의 경우 72~92%까지의 감소율을 보고하였다.<sup>44)</sup> 인공와우 이식술을 받은 모든 환자에서 이명이 줄어드는 것은 아니어서 약 4~5% 정도에서는 이명이 악화되는 현상이 나타나기도 하며<sup>20)</sup> 이식기 수술 후 이명이 새로 발생하기도 한다.<sup>45)</sup>

#### 와우 자극

와우에 전기자극을 가할 경우 청신경의 과분극을 촉진하여 기저막 전위를 변화시켜 이명의 감소를 초래하거나, 전기자극이 청각자극을 유발하여 차폐 효과로 인해 이명이 감소하는 것으로 생각되고 있다. Portmann 등<sup>6)</sup>과 Rubinstein 등<sup>46)</sup>은 round window를 자극하여 각각 66%, 45%의 성공률을 보였으며, Konopka 등<sup>47)</sup>과 Matsushima 등<sup>48)</sup>은 promontory를 자극하여 이명이 감소함을 보고하였다.

#### 청각피질 자극(Auditory cortex stimulation)

이차 청각피질의 경막 외측에 전극을 삽입하여 영구적으로



대뇌 피질의 흥분도를 감소시킬 수 있는 방법으로, 복부 피하에 삽입된 박동기에 의해 전극을 활성화시킬 수 있다. 이명을 최소화시키는 적절한 자극의 빈도와 크기를 술 후 조절할 수 있으며 지속적 자극은 간질을 유발할 수 있어 대부분의 경우 순환식 자극을 사용한다.<sup>49)</sup>

De Ridder 등<sup>50)</sup>은 불인성 이명 환자에서 청각 중추 부위의 경막에 전극을 부착하여 전기자극 효과를 관찰하였으며, 97%의 순음형 이명 환자에서 효과를 나타냈으나 잡음형 이명에서는 24%에서만 효과가 있는 것으로 보고되었다. 최근의 연구에서는 burst형 자극을 통해 잡음형 이명도 효과적으로 억제할 수 있는 것으로 나타났다.<sup>51)</sup>

### 심부뇌자극술(Deep brain stimulation)

1990년대에 도입된 심부뇌자극술은 만성 통증, 파킨슨 병, 근육긴장이상 등의 치료에 사용되어 왔다. 이명을 동반한 운동 이상증 환자에서 시상의 복측 핵에 전극을 위치시켰을 때, 7명 중 3명은 이명이 감소하였으며, 2명은 잔존 억제가 연장되는 효과를 보였다.<sup>52)</sup>

### 피하 후두신경 자극(Subcutaneous occipital nerve stimulation)

경피적 자극의 확장된 개념으로, 제2 경추신경(C2)의 지배를 받는 피부분절의 피하에 전극을 삽입할 수 있다. 후두신경 자극은 원발성 두통의 수술적 치료로 사용되어 왔는데, 두통 뿐만 아니라 동반된 기분 장애에도 효과가 있으며, 여섯 명의 이명 환자에서는 62.89%의 이명 억제 효과가 있는 것으로 나타났다.<sup>53)</sup>

## 결 론

전기자극치료는 이명의 개선 효과를 보이지만 그 정도는 보고자에 따라 큰 차이가 있으며, 자극의 방법 및 치료 대상이 명확하지 않은 실정이다. 전기자극치료의 원리에 대한 과학적 규명이 개선되고 치료 방법이 명확히 확립된다면 전기자극 치료는 상대적으로 안전하고 효과적인 이명의 치료 방법으로 자리 잡을 수 있을 것이다.

## REFERENCES

- 1) Zeng FG, Tang Q, Dimitrijevic A, Starr A, Larky J, Blevins NH. Tinnitus suppression by low-rate electric stimulation and its electrophysiological mechanisms. *Hear Res* 2011;277(1-2):61-6.
- 2) Kaada B, Hognestad S, Havstad J. Transcutaneous nerve stimulation (TNS) in tinnitus. *Scand Audiol* 1989;18(4):211-7.
- 3) Goodey R. Tinnitus treatment: state of the art. *Prog Brain Res* 2007;166:237-46.
- 4) Cazals Y, Negrevergne M, Aran JM. Electrical stimulation of the cochlea in man: hearing induction and tinnitus suppression. *J Am Audiol Soc* 1978;3(5):209-13.
- 5) House WF, Berliner KI, Crary WG. Cochlear implants. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1976;85 Suppl 27(3pt2):1-93.
- 6) Portmann M, Cazals Y, Negrevergne M, Aran JM. Temporary tinnitus suppression in man through electrical stimulation of the cochlea. *Acta Otolaryngol* 1979;87(3-4):294-9.
- 7) Chouard CH, Meyer B, Maridat D. Transcutaneous electrotherapy for severe tinnitus. *Acta Otolaryngol* 1981;91(5-6):415-22.
- 8) Graham JM, Hazell JW. Electrical stimulation of the human cochlea using a transtympanic electrode. *Br J Audiol* 1977;11(2):59-62.
- 9) Shulman A. External electrical stimulation—tinnitus suppression—hearing preliminary results. *J Laryngol Otol* 1984;98:141-4.
- 10) Steenerson RL, Cronin GW. Treatment of tinnitus with electrical stimulation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1999;121(5):511-3.
- 11) Eggermont JJ, Roberts LE. The neuroscience of tinnitus. *Trends Neurosci* 2004;27(11):676-82.
- 12) Arnold W, Bartenstein P, Oestreicher E, Römer W, Schwaiger M. Focal metabolic activation in the predominant left auditory cortex in patients suffering from tinnitus: a PET study with [18F]deoxyglucose. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1996;58(4):195-9.
- 13) Seydell-Greenwald A, Leaver AM, Turesky TK, Morgan S, Kim HJ, Rauschecker JP. Functional MRI evidence for a role of ventral prefrontal cortex in tinnitus. *Brain Res* 2012;1485:22-39.
- 14) Levine RA, Nam EC, Oron Y, Melcher JR. Evidence for a tinnitus subgroup responsive to somatosensory based treatment modalities. *Prog Brain Res* 2007;166:195-207.
- 15) Haldeman S, Carroll L, Cassidy JD, Schubert J, Nygren A; Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. The Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders: executive summary. *Spine (Phila Pa 1976)* 2008;33(4 Suppl):S5-7.
- 16) Möller AR, Möller MB, Yokota M. Some forms of tinnitus may involve the extralemniscal auditory pathway. *Laryngoscope* 1992;102(10):1165-71.
- 17) Herraiz C, Toledano A, Diges I. Trans-electrical nerve stimulation (TENS) for somatic tinnitus. *Prog Brain Res* 2007;166:389-94.
- 18) Steenerson RL, Cronin GW. Tinnitus reduction using transcutaneous electrical stimulation. *Otolaryngol Clin North Am* 2003;36(2):337-44.
- 19) Engelberg M, Bauer W. Transcutaneous electrical stimulation for tinnitus. *Laryngoscope* 1985;95(10):1167-73.
- 20) Miyamoto RT, Wynne MK, McKnight C, Bichey B. Electrical Suppression of Tinnitus via Cochlear Implants. *Int Tinnitus J* 1997;3(1):35-8.
- 21) Vernon JA, Fenwick JA. Attempts to suppress tinnitus with transcutaneous electrical stimulation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1985;93(3):385-9.
- 22) Shulman A. External electrical stimulation in tinnitus control. *Am J Otol* 1985;6(1):110-5.
- 23) Thedinger BS, Karlsen E, Schack SH. Treatment of tinnitus with electrical stimulation: an evaluation of the Audimax Theraband. *Laryngoscope* 1987;97(1):33-7.
- 24) Lee SK, Chung H, Chung JH, Yeo SG, Park MS, Byun JY. Effectiveness of transcutaneous electrical stimulation for chronic tinnitus. *Acta Otolaryngol* 2014;134(2):159-67.
- 25) Douek E. Electrical stimulation of the inner ear-auditory; tinnitus suppression results and speech discrimination. *J Laryngol Otol* 1984;98(Suppl 9):137-8.
- 26) Hoffman RE, Hawkins KA, Gueorguieva R, Boutros NN, Rachid F, Carroll K, et al. Transcranial magnetic stimulation of left temporoparietal cortex and medication-resistant auditory hallucinations. *Arch Gen Psychiatry* 2003;60(1):49-56.
- 27) De Ridder D, Verstraeten E, Van der Kelen K, De Mulder G, Sanaert

- S, Verlooy J, et al. Transcranial magnetic stimulation for tinnitus: influence of tinnitus duration on stimulation parameter choice and maximal tinnitus suppression. *Otol Neurotol* 2005;26(4):616-9.
- 28) Bohning DE, Shastri A, McGavin L, McConnell KA, Nahas Z, Lorberbaum JP, et al. Motor cortex brain activity induced by 1-Hz transcranial magnetic stimulation is similar in location and level to that for volitional movement. *Invest Radiol* 2000;35(11):676-83.
- 29) Plewnia C, Bartels M, Gerloff C. Transient suppression of tinnitus by transcranial magnetic stimulation. *Ann Neurol* 2003;53(2):263-6.
- 30) Cacace AT. Expanding the biological basis of tinnitus: crossmodal origins and the role of neuroplasticity. *Hear Res* 2003;175(1-2):112-32.
- 31) Fregni F, Marcondes R, Boggio PS, Marcolin MA, Rigonatti SP, Sanchez TG, et al. Transient tinnitus suppression induced by repetitive transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation. *Eur J Neurol* 2006;13(9):996-1001.
- 32) Folmer RL, Carroll JR, Rahim A, Shi Y, Hal Martin W. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) on chronic tinnitus. *Acta Otolaryngol Suppl* 2006;(556):96-101.
- 33) Plewnia C, Reimold M, Najib A, Brehm B, Reischl G, Plontke SK, et al. Dose-dependent attenuation of auditory phantom perception (tinnitus) by PET-guided repetitive transcranial magnetic stimulation. *Hum Brain Mapp* 2007;28(3):238-46.
- 34) De Ridder D, van der Loo E, Van der Kelen K, Menovsky T, van de Heyning P, Moller A. Do tonic and burst TMS modulate the lemniscal and extralemniscal system differentially? *Int J Med Sci* 2007;4(5):242-6.
- 35) De Ridder D, van der Loo E, Van der Kelen K, Menovsky T, van de Heyning P, Moller A. Theta, alpha and beta burst transcranial magnetic stimulation: brain modulation in tinnitus. *Int J Med Sci* 2007;4(5):237-41.
- 36) Rossi S, De Capua A, Olivelli M, Bartalini S, Falzarano V, Filippone G, et al. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on chronic tinnitus: a randomised, crossover, double blind, placebo controlled study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2007;78(8):857-63.
- 37) Kang HM, Park MS, Lee HY, Lee SK, Byun JY, Yeo SG. Short-term effect of single session repetitive transcranial magnetic stimulation in chronic unilateral tinnitus. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2012;55(4):216-21.
- 38) Priori A, Berardelli A, Rona S, Accornero N, Manfredi M. Polarization of the human motor cortex through the scalp. *Neuroreport* 1998;9(10):2257-60.
- 39) De Ridder D, De Mulder G, Verstraeten E, Van der Kelen K, Sunaert S, Smits M, et al. Primary and secondary auditory cortex stimulation for intractable tinnitus. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2006;68(1):48-54; discussion 54-5.
- 40) Kim DY, Park CI, Jung KJ, Ohn SH, Park KD, Park JB, et al. Improvement of chronic post-stroke hemiparetic upper limb function after 2 week transcranial direct current stimulation. *J Korean Acad Rehabil Med* 2009;33(1):5-11.
- 41) Vanneste S, Plazier M, Ost J, van der Loo E, Van de Heyning P, De Ridder D. Bilateral dorsolateral prefrontal cortex modulation for tinnitus by transcranial direct current stimulation: a preliminary clinical study. *Exp Brain Res* 2010;202(4):779-85.
- 42) Jo JM, Kim YH, Ko MH, Ohn SH, Joen B, Lee KH. Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. *Am J Phys Med Rehabil* 2009;88(5):404-9.
- 43) Møller AR. The role of neural plasticity in tinnitus. *Prog Brain Res* 2007;166:37-45.
- 44) Battmer RD, Heermann R, Laszig R. [Suppression of tinnitus by electric stimulation in cochlear implant patients]. *HNO* 1989;37(4):148-52.
- 45) Akdogan O, Ozcan I, Ozbek C, Dere H. Tinnitus after cochlear implantation. *Auris Nasus Larynx* 2009;36(2):210-2.
- 46) Rubinstein JT, Tyler RS, Johnson A, Brown CJ. Electrical suppression of tinnitus with high-rate pulse trains. *Otol Neurotol* 2003;24(3):478-85.
- 47) Konopka W, Zalewski P, Olszewski J, Olszewska-Ziaber A, Pietkiewicz P. Tinnitus suppression by electrical promontory stimulation (EPS) in patients with sensorineural hearing loss. *Auris Nasus Larynx* 2001;28(1):35-40.
- 48) Matsushima JJ, Fujimura H, Sakai N, Suganuma T, Hayashi M, Ifukube T, et al. A study of electrical promontory stimulation in tinnitus patients. *Auris Nasus Larynx* 1994;21(1):17-24.
- 49) Vanneste S, De Ridder D. Noninvasive and invasive neuromodulation for the treatment of tinnitus: an overview. *Neuromodulation* 2012;15(4):350-60.
- 50) De Ridder D, De Mulder G, Walsh V, Muggleton N, Sunaert S, Møller A. Magnetic and electrical stimulation of the auditory cortex for intractable tinnitus. Case report. *J Neurosurg* 2004;100(3):560-4.
- 51) De Ridder D, Vanneste S, van der Loo E, Plazier M, Menovsky T, van de Heyning P. Burst stimulation of the auditory cortex: a new form of neurostimulation for noise-like tinnitus suppression. *J Neurosurg* 2010;112(6):1289-94.
- 52) Shi Y, Burchiel KJ, Anderson VC, Martin WH. Deep brain stimulation effects in patients with tinnitus. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;141(2):285-7.
- 53) Jasper JF, Hayek SM. Implanted occipital nerve stimulators. *Pain Physician* 2008;11(2):187-200.

## 정답 및 해설

답 ①

해설

CT와 MRI를 보면 상악동의 상벽과 구분되는 상악동 내 낭성병변을 관찰할 수 있고 상악동의 alveolar process에 미란성 변화를 일으키고 있는 치성각화낭(odontogenic keratocyst, OKC)으로 진단된 환자이다. OKC는 재발률이 15~58% 정도로 높은 편이므로 수술은 단순히 낭 적출술보다는 치성 종양에 준한 광범위한 수술을 시행하여야 한다.