

# 소음과 난청

장 선 오\*

소음이 청기에 미치는 영향에 대해서는 서기 1세기 경부터 그 기록을 더듬을 수 있다. 1713년 Ramazini는 구리 세공자에게 소음을 방지하기 위한 귀 보호기 사용을 권하였으며, 이후 18세기 중엽 산업 혁명을 거쳐 1, 2차 세계대전과 함께 20세기의 폭발적인 산업 발달에 맞추어 소음은 문명의 필연적 산물이 되면서 이에 대한 관심이 높아졌다. 우리나라도 경제 발전과 동시에 공장 소음, 자동차 소음 등이 날로 심각해지면서 이에 대한 연구가 활발해지고 있으나, 국내외 모두 소음성난청의 치료 면에서는 뚜렷한 방법을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 소음에 의한 난청은 일단 한번 발생하면 형태 및 기능이 불가역적이므로 예방만이 유일한 해결책이라고 하겠다.

## 1. 귀의 구조 및 기능

청기는 이개(귓바퀴)와 외이도로 이루어진 외이, 고막과 이소골로 이루어진 중이, 그리고 와우, 전정, 반규관으로 이루어진 내이로 나뉘어진다. 전정과 반규관은 몸의 평형 및 운동감각의 기능을 하여 기능적으로는 별개의 단위이지만, 청각 기능을 하는 와우와 연결되어 서로 통하는 하나의 낭형구조로 되어 있다. 와우는 여러 가지의 막성 구조와 그 사이를 채우고 있는 외림프 및 내림프, Corti기 등으로 구성되어 있으며 Corti기에는 감각세포인 유모세포들이 있다. 외이도를 통해 들어온 음파는 고막을 진동시키고 이 진동은 세개의 이소골의 진동으로, 그리고 마지막 이소골인 등골의 piston같은 움직임에 의해 난원창을 통해 내이액의 진동으로 전파된다. 내이액의 파동은 basilar membrane을 변형시키고 Corti기의 유모세포들을 자극하여 유모세포에서 전기적인 신호로 변환되어 청신경을 통해 대뇌의 감각중추에 도달한다 (그림 1, 2).

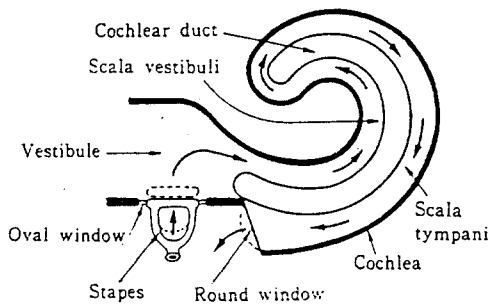


그림 1. 내-외림프에서의 음전달

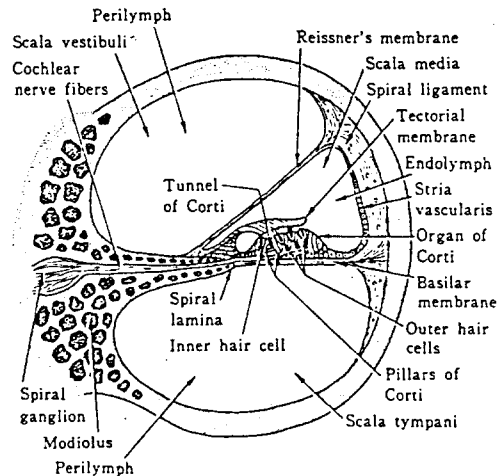


그림 2. 와우의 단면도

\*서울대학교 의과대학 이비인후과학교실

## 2. 청각에 대한 소음의 영향

### 1) Masking

Signal to noise ratio가 어느 한계 이상 작으면 signal을 잘 듣지 못하는 현상으로 흔히 청력검사시 응용된다. 병적인 상태에서는 Willis 착청 (paracusis Willisii)이라고 하여 고요한 곳보다는 소음이 있는 곳에서 더 잘 들리는 경우도 있다.

### 2) Temporary threshold shift (TTS)

소음 노출후 일시적으로 청력이 떨어지거나, 혹은 드물게 청력이 좋아지는 현상으로, 그 기간이 1초 이내인 것에서부터 수분, 수시간, 수일에 걸쳐 일어나는 것까지 있다.

#### a) Residual masking

청신경이 소음의 신호를 중추로 전달하고 나서 발생한 신경섬유의 불응기 (refractory period)로 인해 생기는 현상으로 진정한 의미의 masking은 아니며 1초 이내에 소실된다. Threshold shift의 크기는 70 dB SPL까지는 소음의 크기에 비례하여 커지고, 소음과 같은 주파수의 청력 역치가 가장 크게 변위된다. 메니에르병과 같은 상태에서는 정상보다 residual masking이 커서 이를 임상적으로 이용하기도 한다.

#### b) Low level adaptation

중등도 크기의 순음 (pure tone)에 노출 후 나타나는 TTS인데, 예를 들어 1분 이상 지속된 85 dB SPL의 순음 후에는 수분간 청력이 떨어지는 것이 관찰된다. Residual masking과 마찬가지로 소음과 같은 주파수의 청력이 가장 많이 떨어지지만, 이례적으로 소음의 크기에는 무관하다.

#### c) Sensitization and Rushing noise tinnitus

90 dB SPL 이상의 저음 (low frequency pure tone)으로 1-3분간 자극 후 일시적으로 청력이 좋아지는 현상이 나타나는데, 이 시기에는 물이 흐르는 듯한 이명이 나타났다가 이명이 없어짐과 동시에 청력도 원상태로 떨어진다.

#### d) Ordinary TTS: physiological fatigue

2분 이상 역치의 상승이 있을 때 진정한 의미의 피로 현상이 있다고 할 수 있으며, 1930년에 Peysner는 공장 근로자들을 관찰하여 소음에 의한 청력 감소가 다음날 일을 시작할 때까지 회복이 되는가 되지 못하는가에 따라 "생리적"과 "병적"인 상태로 구분하였다. 만일 이같은 생각이 옳다면 16시간 안에 회복이 되는 TTS는 생리적인 상태, 즉 정상으로 판정할 수 있을 것이다. 일반적으로 TTS<sub>2</sub> (소음 노출을 중단하고 2분 후의 TTS)가 25-30 dB이내일 때 "정상"이라고 한다. TTS<sub>2</sub>의 크기는 소음의 크기가 어느 기저치이상만 되면 소음의 크기에 비례해서 커지는데, 이 기저치는 "effective quiet"라고 부르고 octave band noise의 경우 대개 70-75 dB가 된다. 예를 들어, effective quiet이하의 소음은 아무리 오래 주어도 TTS<sub>2</sub>를 유발하지 못하고, 105 dB의 소음은 90 dB가 만드는 것보다 2배나 큰 TTS<sub>2</sub>를 유발한다. 실제로 TTS의 발생 속도는 소음의 노출 시간과 주파수에 따라 다른데, 고음이 저음에 비해 훨씬 빨리 TTS를 발생시킨다. TTS<sub>2</sub>는 소음이 순음일 경우엔 그 음보다 반 옥타브 높은 주파수에서 최대이고,

band noise의 경우엔 upper cutoff frequency보다 반 옥타브 높은 주파수에서 최대로 나타난다. 간헐적인 소음 자극은 지속적인 자극에 비해 중간에 회복될 시간이 있기 때문에 TTS가 작는데, 예를 들어 100 dB의 소음을 어느 시간의 반만 준다면 그 에너지는 97 dB를 지속적으로 준 것과 같지만, 청력에 대한 영향은 85 dB를 지속적으로 준 상황과 같다. 총소리와 같은 impulse noise에서도 일종의 effective quiet가 존재하여 총에너지로 TTS를 예측하는 것이 맞지 않는데, peak level이 150 dB SPL인 총을 30번 쬐었을 때는 TTS<sub>2</sub>가 20 dB 생기지만, 140 dB SPL로 300번 (같은 총에너지) 쬐었을 때는 대개 TTS<sub>2</sub>가 전혀 생기지 않는다.

#### e) Pathological TTS

자극 시간이 너무 길거나 세기가 강해서 40 dB이상의 TTS<sub>2</sub>가 생기면 회복되는 속도가 늦어서 16시간 내에 회복되지 못하고 수일 내지는 수주에 걸쳐 서서히 회복된다. 완전히 회복되지 못한 상태에서 다시 자극을 받을 때 영구 손상의 위험성이 증가될 것이므로, 소음에 의한 유해성의 척도로는 TTS<sub>2</sub> 자체보다 16시간 동안 회복후 남은 TTS가 더 타당하다.

### 3) Permanent threshold shift (PTS)

발생 빈도는 차치하고 귀가 고도의 TTS를 일으키는 소음에 반복적으로 노출되면 결국 영구적인 청력 역치의 상승 (PTS)을 가져온다는 사실을 우리는 경험적으로 알고 있다. 그러나, 그것이 어떻게 일어나는가에 대해서는 아직도 논란이 있다. Total energy theory를 주장하는 사람들은 보통 "microtrauma" theory로 PTS를 설명하려 하는데, 오늘 한 개의 유모세포가 손상을 받고, 내일은 또 한 개, 다음날 또 한 개, 이런 식으로 손상이 누적되면 청력검사서 하루의 청력 변화 0.01 dB는 측정될 수 없지만 몇년후에는 누적된 변화를 보게 된다는 것이다. 그렇지만 이러한 점진적인 변화를 확실히 증명한 연구 결과는 없고, 일반적으로 보다 타당하다고 여겨지는 생각은 몇 년간에 발생한 청력 변화는 한두 번의 극심한 소음 노출에 의해서 생긴다는 이른바 "critical incident" view이다. 개개인이 아닌 대상군 전체의 평균을 추적하면 점진적인 평균의 하락이 관찰되는데 이것은 물론 양쪽 논리로 모두 설명이 가능하다.

## 3. 소음성난청의 병태생리

소음의 특성은 충격성 (impulsive)일수도, 간헐성 (intermittent)일수도, 혹은 연속성 (continuous)일수도 있고 저음, 고음, 혹은 저음과 고음이 혼합되는 등 매우 다양하다. 소음에 의해 생기는 내이 손상의 과정과 범위는 소음 노출의 특성, 소음의 강도와 기간에 따라 역시 다양하지만, 소음의 유형이 어떠한 소음이 청각기관에서 일으키는 변화의 기본적인 기전은 물리적, 물리화학적 혹은 대사 과정에서의 stress이다. 그 최종 결과로서 감각세포의 손상이 생기고 심하면 Corti기 전체의 소실을 가져오며 이에 따른 청력 소실이 초래된다.

#### 1) 유모세포

소음성난청에서 보이는 가장 뚜렷한 소견은 유모세포, 특히 외유모세포 (그림 3, 4)의 손상 및 변성이다. 손상은 stereocilia가 경직성이 없어지고, 서로 합쳐지며 심하면 완전히 파괴되는 것으로부터 시작된다. 경직성이 없어진 stereocilia는 일과성의 청력저하와 관계 있다고 생각되며 청력이 회복될 때엔 stereocilia도 경직성을 회복한다. Bohne 등 (1973)<sup>6</sup>은 TTS

시 유모세포 내의 smooth endoplasmic reticulum이 증가된다고 하였고, 손상이 심해지면 endoplasmic reticulum에 낭포가 생기며 동시에 미토콘드리아도 종창 된다는 사실이 알려졌다. Endoplasmic reticulum의 증가는 외유모세포내 대사가 항진된 상태를 반영하며, 낭포화는 화학적 항상성의 불균형 혹은 이온의 수송에 관여하는 효소의 고갈을 의미한다. 손상이 더욱 진행하면 세포핵이 농축되고, 세포가 종창 되면서 내부의 낭포가 터지고 더 나아가 세포막이 터지게 된다. 소음 노출시 나타나는 이같은 세포의 변화는 저산소증의 결과로 생각되며 그 증거로 Misrahy 등 (1958)<sup>16</sup>은 소음 노출후 내림프의 산소분압이 처음엔 증가했다가 급격히 떨어지는 것을 관찰하였고 Vosteen (1961)<sup>24</sup>은 소음과 저산소증 상황에서 호흡 효소의 농도가 외유모세포에서 감소했으나 내유모세포에서는 감소하지 않음을 관찰한 바 있다. 감각세포의 손상에는 세포 내부와 외부의 이온 환경도 중요한 역할을 한다고 생각되는데 그 이유는 첫째, 내림프 이온의 조절은 stria vascularis와 Reissner막에서 이루어지며 소음에 의해 stria vascularis가 손상된다는 형태학적인 증거가 있고, 둘째, 소음 자극에 의해 막투과성이 변화하면서 그 결과로서 내림프와 외림프의 전해질 구성이 달라져 감각세포에 손상을 준다는 것이다. 실제로 Nakashima 등 (1970)<sup>18</sup>은 내림프에서  $Na^+$ 는 증가,  $K^+$ 는 감소하며 외림프에서는 반대 현상이 일어남을 관찰하였고 Bohne (1973)<sup>6</sup>은 소음에 의해 손상된 유모세포는 reticular membrane에 작은 구멍을 만들고 이곳을 통해 내림프와 외림프가 섞여서 처음에 기계적으로나 대사 이상으로 손상되지 않은 영역까지 손상이 확산된다고 하였다.

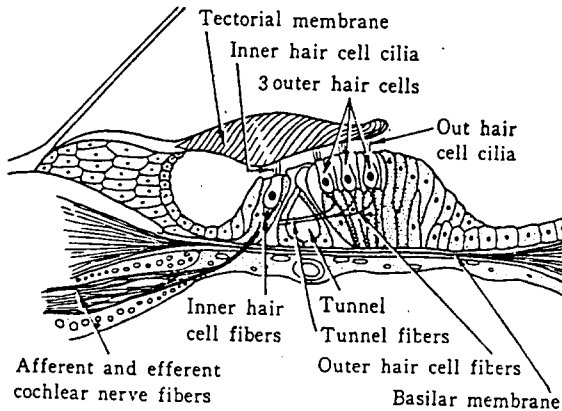


그림 3. Corti기의 해부

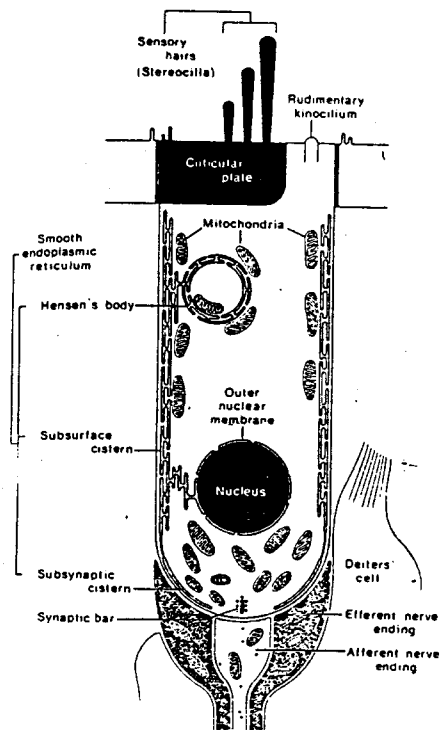


그림 4. 외유모세포의 구조

## 2) 신경 말단부와 신경섬유

신경 말단부와 신경섬유가 소음에 의해 직접적으로 손상되는지에 대해서는 논란이 있다. 일반적으로는 유모세포에 이은 2차적 변화로서 구심성 신경섬유의 변성이 생긴다고 생각되며 유모세포에서와 같이 외림프와 내림프가 섞이면서 신경 손상도 확산된다고 한다.

## 3) Stria vascularis

고도의 음자극이 내이의 혈류량에 영향을 준다는 것은 이미 알려진 사실로 소음성난청시 stria vascularis중에서도 특히 intermediate cell이 많이 손상된다. 기전은 확실히 알려지지 않았으나, 소음에 의해 모세혈관의 내막세포가 종창 되면서 저혈증이 발생하고 이에 가장 취약한 intermediate cell이 손상 받는다는 의견이 있다<sup>1)</sup>.

## 4) 와우의 물리적 손상

소음 노출의 결과로 Deiters-Hensen 세포 접합부의 파괴, pillar cell 두부의 미란, basilar membrane으로부터 Corti기의 해리, Reissner막의 파열 및 와우내 출혈 등 물리적 외상에 의한 형태학적 변화들이 관찰되는데 소음이 감각세포에 기계적 손상을 일으키는 기전으로 몇 가지 가설이 제시되었다. 첫째, 와우내 액체의 격렬한 움직임에 의해 Reissner막이 찢어지고 내림프와 외림프가 섞임으로써 감각세포가 손상된다. 둘째, 격렬한 basilar membrane 움직임 때문에 Corti기가 떨어지고 마찬가지로 내림프와 외림프가 섞임으로써 감각세포가 손상된다. 셋째, 와우내 액체의 격렬한 움직임이 직접 감각세포에 손상을 준다. 넷째, tectorial membrane이 감각세포의 섬모로부터 떨어져서 청력 역치의 상승을 초래한다.

## 5) "4 kHz notch"

원인이 되는 소음의 주파수 범위와는 관계없이 4 kHz notch는 소음성난청의 전형적인 청력 검사 소견으로 생각되는 수가 많으나 실제로 이른바 4 kHz notch는 3에서 6 kHz의 범위에서 나타난다. 이것의 발생 기전으로 여러 주장이 다수의 저자들에게 의해 제시되었다. 첫째, 와우의 4 kHz 부위의 독특한 혈관 구조 때문에 이 부위에 혈관 부전이 잘 발생한다. 둘째, 4 kHz 부위는 traveling wave의 전파 속도가 아직 충분히 빠르면서 변위의 진폭이 생기기 시작하는 곳이다. 셋째, 와우는 해부학적 구조상 기저회전의 중간인 4 kHz 부위에서 액체의 impinging을 초래한다. 넷째, 외이도의 공명 특성이 4 kHz notch를 만든다. 현재까지 위의 4가지 가설에 대해 많은 연구가 있어 왔는데 4번째 주장이 가장 타당한 것으로 받아들여지고 있다.

## 6) 소음에 대한 감수성

개인에 따라 소음에 대한 감수성의 차이가 있는 것은 분명하나 그 동안의 활발한 연구에 비해 알려진 것은 없는 상태이다. 여러 연구자들 사이에 대체로 일치되는 결과는 연령이 많을 때, 남성, 내이 손상의 병력이 있을 때, 동골반사의 효율이 떨어질 때, 흡연, 고콜레스테롤혈증이나 당뇨병, 심장병 같은 기존 질환이 있을 때 소음성난청의 발생이 많다는 것이며, 최근 각광받는 주제로 와우 구심성신경의 퇴행성작용에 의한 방어기능이 있다.

## 4. 소음에 의한 전신반응

소음이 청력 이외의 신체에 미치는 영향은 수많은 연구에도 불구하고 확실하지 않다. 소음

노출은 혈압을 상승시키고 뇌하수체에서 중요한 호르몬 분비의 변화를 일으킨다고 알려져 있다. 그러나 정확히 그 효과가 무엇인지, 또 장기적인 영향은 어떠한지는 실험을 통해 더 많은 연구 자료가 수집되어야 할 것으로 보인다.

소리가 귀로부터 대뇌 피질로 전달되는 과정중 뇌간에서는 신호의 전달이 매우 복잡하게 일어난다. 이중 청각신경핵으로부터 일부의 신호가 뇌간망상체를 거쳐 시상하부로 전달되는 경로가 있을 수 있으며 시상하부에서는 다시 뇌하수체로 자극 물질을 분비하여 내분비계에 영향을 줌으로써 청각-시상하부-뇌하수체-내분비로 이르는 경로가 완성된다.

1956년에 Selye<sup>22</sup>는 일반적인 stress에 대한 반응으로 "general adaptation syndrome"을 기술하였다. 즉, 더위, 추위, 외상(소음 포함), 감염, 수술 등의 stress가 있을 때 시상하부가 자극되고 때문에 뇌하수체 전엽으로부터 ACTH가 분비되며 ACTH는 부신피질에서 코티솔의 분비를 촉진하여 신체에서 각종 이화 작용을 촉진하여 stress에 대처하도록 한다는 것이다. 소음에 노출된 후 코티솔이 증가하고, 혈중 콜레스테롤이 증가하였으며, 임신한 쥐에서는 선천성 기형의 빈도가 증가하고, 심장은 비후되고 체중이나 기타 장기의 무게는 감소하는 등 동물실험에서 Selye의 주장을 뒷받침하는 보고가 많이 있었다. 비슷한 증거가 사람에서도 발견되었고 Davis 등 (1964)<sup>7</sup>은 다음 일련의 소음에 대한 반응들을 "N-response"라고 명명하였다.

- 1) 말초혈관의 수축, 심박수의 작은 변화, 뇌혈류량의 증가 등 혈관계 반응
- 2) 느리고 깊은 숨
- 3) 피부 전기 저항의 변화 (galvanic skin response)
- 4) 골격근 긴장도의 변화

소음은 일반적으로 자율신경계 중 교감신경계를 자극하여 고혈압<sup>10,19</sup>, 위궤양<sup>8</sup>, 감정적 불안정<sup>14</sup> 등을 유발한다고 하나 이를 부정하는 임상 연구 결과<sup>21</sup>도 있다.

Molvaer 등 (1981)<sup>17</sup>은 물속에서 큰 소음을 들으며 일한 잠수부들이 어지러움을 호소하는 것을 보고 전정계에 대한 소음성 손상의 가능성을 제시하였으나 관계가 확실히 밝혀진 것은 아니다.

소음에 대한 인체의 반응은 심리 상태에 의해서도 영향받는다 주장이 Hormann 등 (1970)<sup>9</sup>에 의해 제시되었는데 원치 않는 소음을 들을 때 원하는 소음을 들을 때보다 더 TTS의 크기가 크고 소음에 의한 전신 작용도 심하다고 하였다.

신체의 생리적 적응 현상은 다른 자극과 마찬가지로 소음에 대하여도 일어나는데, Bartoshuk (1962)<sup>5</sup>는 85 dB의 클릭음을 듣고 심박수가 빨라지는 태아에서 이를 40회 반복한 후에 이런 현상이 없어짐을 관찰한 바 있다.

## 5. 소음성난청의 역할

노동부 통계에 따르면 1992년에 전체 직업병 유소견자중 소음성난청자가 차지하는 비율은 56.3%로 점차 증가하는 추세에 있고 업종별로는 제조업, 광업, 건설업 순으로 소음성난청자가 많다고 한다. 소음성난청의 발생률은 직종별, 작업장의 소음 환경 및 조사 대상의 특성에 따라 다르므로 근로자 전체의 발생률을 안다고 해도 어떤 개인의 소음성난청의 위험성을 예측하는데 도움을 주지는 못한다.

이 (1971)<sup>3</sup>는 방직공장 근로자 2235명을 대상으로 한 연구에서 전체중 12.2%가 소음성난청자이고 40대에 최고의 발생률을 보이며 대체로 연령과 근무 기간에 비례하고 남자가 여자에

비해 유의하게 발생이 많다고 하였고, 김 (1974)<sup>1</sup>은 부산시에서 소음이 85 dB 이상인 환경에서 근무하는 1603명을 대상으로 연구를 시행하여 29.1%가 소음성난청자이며 근무 연수가 많을수록 발생률이 높으나 10년이후에는 서서히 진행한다고 하였다. 정 등 (1976)<sup>4</sup>은 대전시에 소재하는 한 방직공장 근로자 193명중 39.7%가 소음성난청자이고 첫 1-2년 동안에 급속히 발생률이 증가한다고 하였다. 박 등 (1984)<sup>2</sup>은 141명의 군항공장교를 대상으로 연구하여 36.7%에서 소음성난청을 진단하고 이환률은 비행시간에 비례하여 높아지나 소음성난청의 청력 소실 정도는 연령이나 비행시간과 무관하였다고 하였다. 반면, Taylor 등 (1984)<sup>23</sup>은 근무 기간에 비례하여 난청이 심하다고 하였는데, 망치와 프레스 일을 하는 근로자들이 첫 1-2년 사이에는 10-20 dB의 고음역 난청이 있다가 3년 가량 되면 3-6 kHz에 20 dB 이상의 청력 감소가 생기고 8년 이상 지나면 40 dB 이상의 심한 난청이 생긴다고 하였으며, 지속적인 소음인 프레스보다 충격성 소음인 망치일을 하는 사람이 더욱 심한 손상을 받는다고 하였다.

농업이 기계화된 미국에서는 우리나라와 달리 농부에서도 직업성난청이 발생한다고 하는데 Marvel 등 (1991)<sup>14</sup>에 따르면 낙농업을 하는 농부 49명 중 65%가 고음역에, 37%가 중음역에 난청을 가지고 있어 역시 시골에 살면서 성과 연령이 match된 대조군에 비해 유의하게 난청의 빈도가 높다고 한다.

Royster 등 (1991)<sup>20</sup>은 Chicago Symphony Orchestra 연주자를 대상으로 연구를 시행하여, 평균 청력은 대조군에 비해 나쁘지 않지만 52.5%에서 소음성난청의 소견인 notched audiogram이 나타났으며, 특히 바이올린과 비올라 주자의 좌이가 우이에 비해 청력이 떨어진다고 보고하였다.

청력의 변화가 반드시 직장에서의 소음에 의한 것이라고는 단정하는 데는 주의가 필요하다. 고용 전의 청력검사 자료가 있다고 해도 소음으로부터 벗어난 후 16시간 내지는 주말을 지낸 후에 검사를 시행하여 TTS를 배제해야 하고 검사 환경을 충분히 조용하게 하여 masking이 되지 않도록 해야 한다. 연령의 영향, benzene, carbon disulfide, carbon monoxide, aniline dye같은 산업 화학 물질의 영향, streptomycin이나 neomycin같은 이득성 약물의 투여여부, 중이염이나 가족성 감각신경성난청같은 기존의 귀질환, 과거에 머리에 외상을 입은 일이 있는가, 작업장 밖에서는 소음에 노출되지 않는가 등의 고려가 필요하다. 이러한 직장 소음 외적인 요소를 모두 배제하는 데는 초인적인 노력이 요구되고 실제로는 거의 불가능하므로 PTS를 직장 소음과 직장 외에서의 소음 (sociacusis), 노화에 따른 청력 변화 (presbycusis), 기타 소음 외적인 요소에 의한 청력 변화 (nosoacusis)가 복합된 하나의 함수로 인식하게 된다. 연구 수행시 직장 소음으로 인한 청력 변화만을 평가하는 방법으로는 첫째로 socioacusis, presbycusis, nosoacusis가 있는 사람들을 연구 대상에서 제외하는 방법이 있으나 거의 대부분의 사람들이 직장 소음 이외의 가능한 원인이 있어 sample 크기가 너무 작아질 우려가 있다. 두번째 방법으로 socioacusis, presbycusis, nosoacusis가 비슷하되 직장에서 소음 노출이 없는 사람을 대조군으로서 일대일 matching시키는 수가 있으나, 대조군 선정에 많은 노력이 필요하고, 연구 비용이 많이 들며, 원인들 간에 상호 영향이 없다는 전제조건을 필요로 한다는 단점이 있다.

## 6. 소음성난청의 예방

- 1) 음원에서의 소음 조절
  - a) 조용한 기계로 교체

b) 기계의 위치를 재조정 : 작동자가 굳이 기계옆에 있지 않아도 생산에 차질이 없을 때는 기계와 작동자를 분리시킨다. 기계가 문에 의해서 차단되어 있을 때는 6 dB까지 소음이 감소되며, 같은 공간 안에서 거리를 띄우는 것으로는 한계가 있다.

c) 흡음재의 사용 : 작업장의 벽과 천정에 흡음재를 설치함으로써 기계와 작동자 간의 거리에 따라 다르지만 10-12 dB까지 소음을 줄일 수 있다.

d) 진동의 분리 : 기계나 재료의 일부가 진동을 하면서 소음이 발생할 경우 서로 부딪히는 부분 사이에 완충재를 넣는다든지, 가능하면 분리를 하여 소음을 줄인다.

e) 장벽의 설치 : 소음 장벽은 근로자와 기계 사이의 거리가 가깝고 장벽이 소음의 파장에 비해 크며, 천정과 그 밖의 근처 반사면이 흡음재로 처리되었을 때 효과적이다.

f) 기계의 밀폐

g) Mufflers : 관형의 음원에서 관의 구멍을 통해 소음이 나올 때 소음을 줄이기 위해 사용된다.

## 2) Hearing protectors

모든 경우에 적합한 한가지의 protector는 없으며, 착용자에게 편하면서 잘 맞으며, 소음의 특성에 맞게 감음 특성을 갖고 있는 protector를 선정하여야 한다. 일반적으로 earplug는 중이에 도달하는 소음을 15-30 dB 감소시키며 고음에 더 많이 작용하는 특성이 있고, earmuff는 earplug보다 감음 능력이 더 크고 특히 500 Hz에서 1k Hz 영역에서 효과가 크다 (그림 5)<sup>13</sup>. 소리는 외이도뿐 아니라 뼈나 연부조직을 통해서도 내이로 전달되므로 실제로는 뼈와 연부조직을 통한 청력의 역치가 protector의 감음 능력의 한계가 된다. Hearing protector는 반드시 소음에 노출되는 동안 항상 착용해야 하는데 잠시라도 착용하지 않을 경우 그 효과가 크게 반감되기 때문이다 (그림 6)<sup>13</sup>.

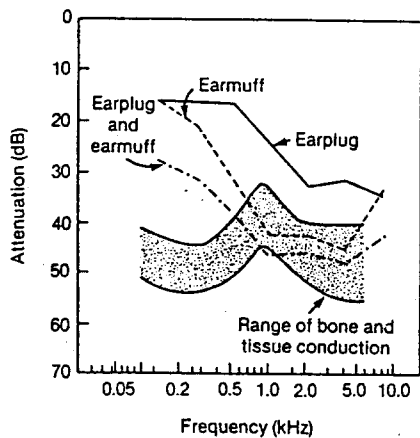


그림 5. Earmuff와 Earplug의 감음특성

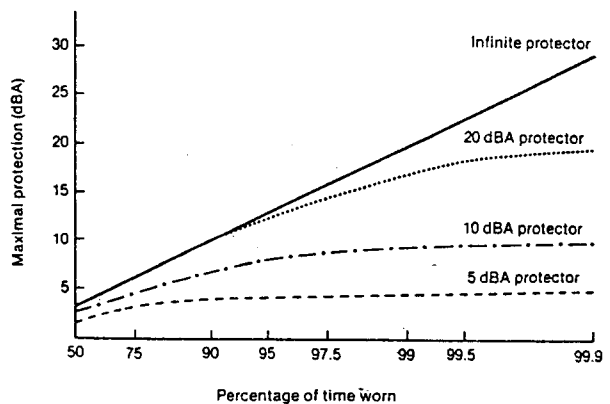


그림 6. 착용 시간 퍼센트에 따른 Protector의 효과

## 3) Damage risk criteria

Damage risk criteria라는 용어는 일정한 소음 노출의 결과로 일정한 정도의 난청이 발생



할 위험성 또는 산업 표준 등에서 나타나는 소음의 한계라는 의미로 쓰인다. 현재 전 세계적으로 무수히 많은 damage risk criteria가 있는데 그 이유는 이 기준을 적용하는 집단의 필요성에 따라 달라지기 때문이다. 1969년 ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienists)에서는 대화에 필요한 500, 1000, 2000 Hz에서의 장애 만을 난청으로 생각하고 이들 세 주파수에서의 청력 평균이 25 dB를 초과하지 않도록 기준을 정한 반면, 미국 환경보호국에서는 소음 노출의 결과로 어떠한 난청도 있어서는 안되며 기준에 4000 Hz도 포함하여야 한다고 하였다 (1974). 미국 노동부의 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)는 ACGIH의 방침에 따라 소음 노출로 인해 500, 1000, 2000 Hz 청력 평균이 25 dB를 초과할 확률을 발표하였는데, 하루 평균 80 dBA의 소음에 노출된 근로자는 0-5%, 85 dBA는 10-15%, 90 dBA는 21-29%가 여기에 속한다고 하여, 소음이 하루 평균 80 dBA 이하인 직장에서 일하는 근로자는 비교적 안전하며, 85 dBA가 넘으면 위험성이 급격히 높아진다고 하였다 (1981). 국제 표준화 기구는 보다 융통성있는 방법을 택하여, 하루 8시간 주 5일 근무하는 사람이 10년간 95 dB의 소음에 노출되었을 때 4000 Hz에서의 청력이 20 dB라면 50 percentile에 해당한다는 식의 기준을 제시하였다 (1990).

현재까지 가장 널리 알려져 있는 소음 허용 한계는 표 1과 같으며, 1969년 ACGIH에서 개발되어 사용되고 있다. 이것은 일정 level의 소음이 허용되는 최대시간 혹은 일정시간 동안 허용되는 평균 소음의 의미를 가지며 하루 중 소음 level이 일정하지 않은 실제 작업 환경과는 차이가 있다. 따라서 이런 경우에는 "noise rating"이라고 하여 실제 소음 노출 시간 ( $C_n$ ) 과 해당 level 소음의 법적 허용 시간 ( $T_n$ )의 비를 합산하는

$$\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_n}{T_n} = \text{noise rating}$$

식으로 소음 노출 정도를 표현하며 이것이 1보다 큰 경우 소음성난청의 위험성이 증가하였다고 평가한다 (미국 노동부, 1983). 소음 노출을 기술하는 또 다른 방법으로 noise dose와 TWA (time-weighted average sound level)가 있는데 noise dose는 noise rating에 100을 곱하면 간단히 얻어지고, TWA는 측정된 noise dose가 8시간 동안 일정하게 노출될 경우의 소음의 level로 다음식으로 얻을 수 있다 (미국 노동부, 1983).

$$TWA = 16.61 \text{Log}_{10}(\text{dose}/100) + 90$$

표 1. 허용되는 소음 노출

Duration per day (Hr)	Sound level dBA
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 or less	115

#### 4) 조기 진단

소음에 대한 청력 역치를 보는 검사는 정밀하게 한다고 하더라도 10 dB 이내의 변화는 감지할 수 없어 청력 저하를 알게 되었을 때는 이미 와우에 영구적인 손상이 발생한 후이다. 몇가지의 심리 청각 검사 (psychoacoustic test)는 정밀도가 일반적으로 사용할 만큼 증명되지 못하였고 방법적으로 실제로 사용하기에 어려운 점이 있다. 이음향방사 (otoacoustic emission)는 외유모세포의 기능을 평가하는 방법으로 최근에 소음성난청 환자에서의 유용성에 대하여 다수의 연구가 이루어졌는데 손상영역을 조기에 정확히 알 수 있어 앞으로 소음성난청의 진단 및 추적 관찰에 유용할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 김봉희: 소음성난청의 청각학적 연구. 한이인지 17:305, 1974
2. 박기현 등: ○군항공장교의 소음성난청에 대한 임상청각학적 고찰. 한이인지 27(1):20, 1984
3. 이희용: 소음성난청의 임상청각학적 고찰. 한이인지 14:301, 1971
4. 정동규: 소음성난청에 대한 청각학적 고찰. 한이인지 25:259, 1976
5. Bartoshuk AK: Response decrement with repeated elicitation of human neonatal cardiac acceleration to sound. J Comp Physiol Psychol 55:9-13, 1962
6. Bohne BA: Anatomical correlates of a temporary shift in the threshold of hearing. J Acoust Soc Am 53:292, 1973
7. Davis RC et al: Gastrointestinal reactions to response-contingent stimulation. Psychol Rep 15:95-115, 1964
8. Doring HJ et al: Effects of high-intensity sound on the contractile function of the isolated ileum of guinea pigs and rabbits. In: Tobias JV et al eds. Noise as a public health problem: Proceedings of Third International Congress, American Speech-Language-Hearing Association, 1980
9. Hormann H et al: Psychological and physiological reactions to noise of different subjective valence. Psychol Forsch 33:289-309, 1970
10. Jonsson A, Hansson L: Prolonged exposure to a stressful stimulus (noise) as a cause of raised blood pressure in man. Lancet 1:86-7, 1977
11. Lim DJ et al: Anatomic correlates of noise induced hearing loss. Otolaryngol Clin North Am 12(3):493, 1979
12. Lonsbury-Martin BL et al: Auditory dysfunction from excessive sound stimulation. In: Cummings CW, ed. Otolaryngology-Head and Neck Surgery. Vol 4:2885-2990, St. Louis, Mosby Year Book, 1993
13. Martin AM: Hearing conservation and noise reduction. In: Hinchcliff R et al eds. Scientific foundations of otolaryngology, Chicago, Mosby Year Book, 1976
14. Marvel ME et al: Occupational hearing loss in New York dairy farmers. Am J Ind Med, 20(4):517-31, 1991

15. Mason RK: The influence of noise on emotional states. *J Psychosom Res* 13:275, 1969
16. Misrahy GA et al: Changes in cochlear endolymphatic oxygen availability, action potential and microphonics during and following asphyxia, hypoxia and exposure to loud sounds. *J Acoust Soc Am*, 30:701-4, 1958
17. Molvaer OI et al: Hearing damage risk to diverse operating noisy tools under water. *Scand J Work Environ Health* 7:263, 1981
18. Nakashima T et al: Sodium and potassium changes in inner ear fluid. *Arch Otolaryngol*, 92:1-6, 1970
19. Peterson 1981 et al: Noise raises blood pressure without impairing auditory sensitivity. *Science*, 211:1450, 1981
20. Royster JD et al: Sound exposures and hearing thresholds of symphony orchestra musicians. *J Acoust Soc Am*, 89(6):2793-803, 1991
21. Sanden A, Axelsson A: Comparison of cardiovascular responses in noise-resistant and noise-sensitive workers. *Acta Otolaryngol (Stockh)(suppl)* 377: 75-100, 1981
22. Selye H: *The stress of life*. New York, McGraw-Hill Book Co, 1956
23. Taylor W et al: Noise levels and hearing thresholds in drop forging industry. *J Acoust Soc Am* 76:807, 1984
24. Vosteen SH: Neue aspekte zur biologie und pathologie des innenohres. *Arch Klin Exp Ohren- Nasen- Kehlk Heilk*, 178:1, 1961
25. Ward WD: General auditory effects of noise. *Otolaryngol Clin North Am*, 12(3):473, 1979