

정상 성인에서 청성유발 피부전위*

Auditory Evoked Skin Potential in Normal Subjects

허승덕**, ***, **** · 정동근*** · 서덕준**** · 김광년*** · 김기련*** · 강명구** · 김리석**
 Heo, Seung-Deok · Jung, Dong-Keun · Suh, Duk-Joon · Kim, Gwang-Nyeon ·
 Kim, Gi-Ryon · Kang, Myung-Koo · Kim, Lee-Suk

ABSTRACT

Electrodermal activity(EDA) is a bio-electric signal which occurs at the skin surface during the sweating. EDA reflects the activity of the sympathetic axis of the autonomic nervous system. EDA is associated with the eccrine sweat gland at the palmar and plantar surface. This study was aimed to characterize the relationship between EDA and auditory stimulus intensities. Acoustic stimulus used in this study were 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz of narrow band noise, which were representative of speech frequencies in audible range. Stimulus intensity between 90 and 30 dB in 10 dB within dynamic range. After deriving the minimum stimulus intensity(threshold of skin potential) which elicited skin potential, and then the latency and amplitude were derived from waveform of skin potential, each latency and amplitude were compared to stimulus intensity. The waveform of skin potential were recorded stably, and the threshold of skin potential appeared nearly the hearing threshold level of the participant. The latency was decreased and the amplitude was increased according to the increase of the stimulus intensity. These results suggest that auditory evoked skin potential can be applicable to auditory assessment and audiological diagnosis tool.

Keyword: electrodermal activity, skin potential, auditory evoked skin potential

1. 서론

Electrodermal activity(EDA)는 신체적 및 정신적 자극에 대한 교감신경의 활동으로 피부에서 나타나는 전기적 특성 변화로[1][2] eccrine 땀샘을 통한 땀 분비가 많은 손바닥이나 발바닥에 전극을 배치하여 기록할 수 있는 bioelectricity이다. EDA는 땀 분비 조절 증추인 후시상하부, 교뇌 피개, 연수 망상핵의 지배를 받는 비특이적 각성 정도를 의미한다. 정신생리학 측면에서는 환경과 내적 자극

* 이 연구는 과학기술부 산하 “실버의료기기 핵심기술개발 사업”의 지원을 받아 수행되었습니다.

** 동아대학교 의과대학 이비인후과학교실

*** 동아대학교 의과대학 의공학교실

**** 동아대학교 의과대학 생리학교실

에 대한 중추신경계통(CNS)과 자율신경계통(ANS)의 상호작용에 의해 일어나는 tonic background level과 다양한 외부 자극에 의해 특정 부위에 한정되어 일어나는 time varying-phase response가 있다. EDA는 체성 감각[3], 청각[4][5], 시각[6], 후각[7] 등 다양한 감각기관을 충분한 크기로 자극하여 피부전도(SC), 피부저항(SR) 또는 피부전위(SP) 등을 기록한다. EDA는 비침습적이면서 정량적으로 기록하여, 인간의 생존에 관련한 중요한 역할을 무의식적으로 수행하는 ANS의 기능을 밝히는 데 크게 기여했다[8]. 감각신경의 경우 신체 각 부분에 대한 CNS의 반응 부위가 명확하게 구분되어 있지만, ANS의 반응은 전신으로 나타난다. EDA는 ANS의 교감신경에 의한 반응이며, ANS의 반응은 CNS와 상호작용이 이루어지고 있다. 따라서 EDA는 감각 자극과 관련한 반응으로 볼 수 있으며, 이를 활용하면 감각 신경의 상태를 예측할 수 있다. 청각 자극으로 구한 EDA는 반복 자극에 의한 습관화가 EDA에 미치는 영향[4]와 고위 청각기관에서 발생하는 청성후기반응(long latency response; ALLR)이 EDA에 미치는 영향[5][9] 등의 연구가 있다. 이들은 100 dB nHL click, 72 dB 정도의 경제 뉴스, 90부터 110 dB white noise 등의 비교적 강한 특정 강도의 소리만을 사용하였으며, 청각학적 활용을 위한 연구는 시도되지 않았다. 저자들은 가청음역에서 어음역을 대표하는 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz의 대역잡음을 가청범위 내에서 10 dB 단위로 자극한 후, 이 자극으로 유발한 SP(auditory evoked SP; AESP)의 특성을 관찰하여 청각학적 활용 가능성을 모색하고자 하였다.

2. 연구 방법

대상은 과거 병력이 없고, 이학적 검사상 정상이며, 고막운동도가 A형이며, 순음청력검사 검사 주파수의 최소가청역치가 15 dB 이내인 22 세부터 29 세 사이의 건강한 성인 남자 6 명과 여자 9 명으로 하였다. 0.5, 1, 2 kHz의 대역잡음을 정상청력의 한계인 90 dB HL부터 불쾌역치의 한계인 30 dB HL까지 10 dB씩 낮추면서 1 분 간격으로 1.5 초 동안 스피커를 통하여 자극하였으며, 최대 자극 강도는 2 회 들려주었다. AESP는 손바닥에 부착한 전극으로 수집한 전위를 instrumentation 증폭기로 증폭하여 PC에 저장하였다(그림 1). 파형의 분석은 자극 시작 지점으로부터 반응이 나타나는 지점까지의 잠복시간과 파형에서 각 정점의 잠복시간 및 진폭 등을 구하여(그림 2) 자극 강도와와의 관계를 관찰하였다. 자극강도와 잠복시간 및 최대진폭의 입력특성은 SAS window version 8.01의 repeated measures ANOVA를, 최대 자극 강도에서 2 회 기록한 AESP의 비교는 paired t-test를 이용하여 통계적으로 검증하였다.

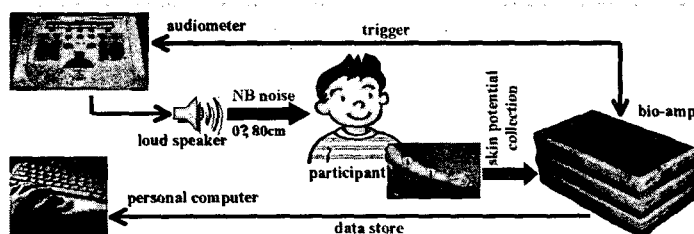


그림 1. 청성유발 피부전위(Auditory evoked skin response; AESP) 기록 순서도.

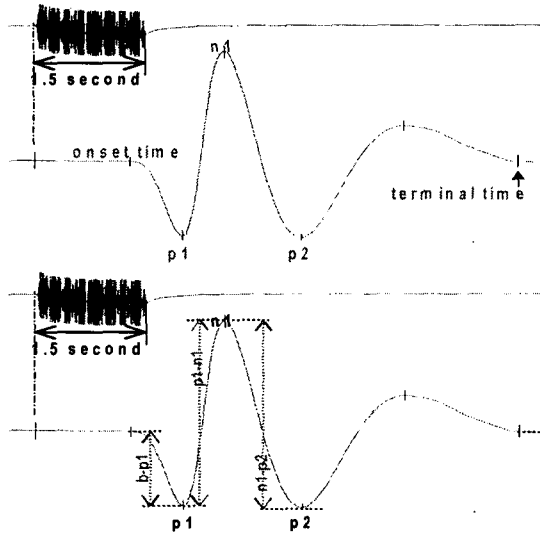


그림 2. 청성유발 피부전위(AESP) 파형의 분석

(위쪽 그림은 AESP의 잠복시간을 분석한 지점을, 아래 그림은 진폭을 분석한 지점을 각각 표시하였다. 각 점의 명칭은 기준선으로부터 첫 번째 반응을 onset time, 첫 번째 골을 p1, 첫 번째 최대 정점을 n1으로 정의하고 이어 나타나는 골과 정점을 순서대로 번호를 부여하였다. 최대진폭은 각각의 진폭 중 가장 큰 진폭을 의미한다.)

3. 연구 결과

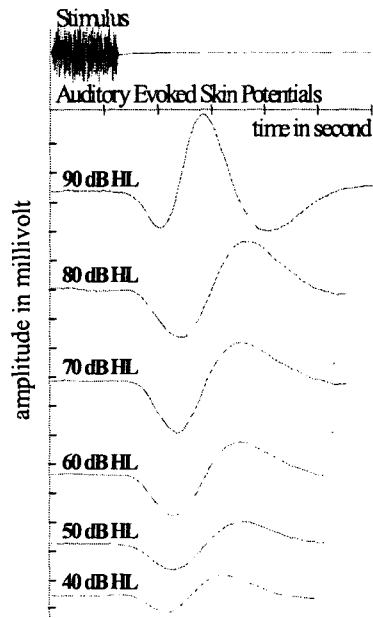


그림 3. 저자들이 기록한 전형적인 청성유발 피부전위(AESP)

(위로부터 1.5 초 동안 자극한 자극 음 특성, 자극 강도를 90 dB HL부터 10 dB 단위로 낮추면서 기록한 각 강도에서의 AESP 파형)

저자들이 소리 자극 강도를 달리하여 기록한 전형적인 AESP는 그림 3과 같다. AESP의 역치는 최소가청역치보다 0.5 kHz에서 39.8 dB, 1 kHz에서 43.3 dB, 그리고 2 kHz에서 41.8 dB 높게 관찰되었다. 위상은 90 dB HL에서 삼위상(p=0.01), 70 dB HL 이하에서 양위상(p=0.000) 나타났다(그림 4). 소리 자극 강도를 낮출수록 잠복시간은 연장되었고(p<0.0001), 종료시간은 단축되었다(p<0.0008). 최대진폭은 p1-n1에서 82.5% 이상 관찰되었는데, 소리 자극 강도를 낮출수록 진폭은 작아졌다(p<0.0001). 최대 자극 강도에서 2 회 기록한 AESP는 잠복시간, 종료시간, 최대진폭에서 높은 재현성을 보였다(그림 5).

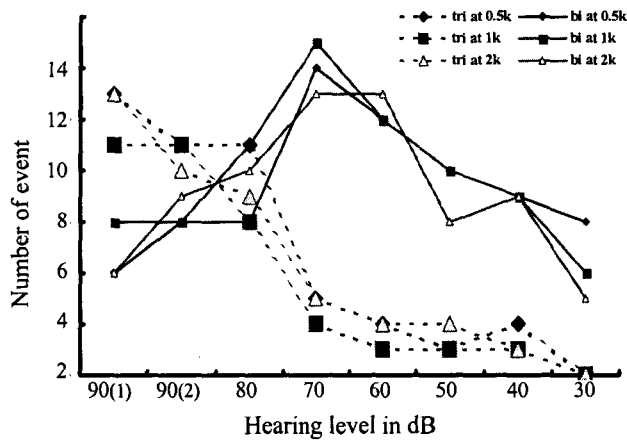


그림 4. 자극 강도에 따른 청성유발 피부전위 위상 분포.
(횡축은 자극강도, 종축은 위상 발현 빈도를 의미하고, 색인에서 tri는 삼위상을, bi는 양위상을 각각 의미한다.)

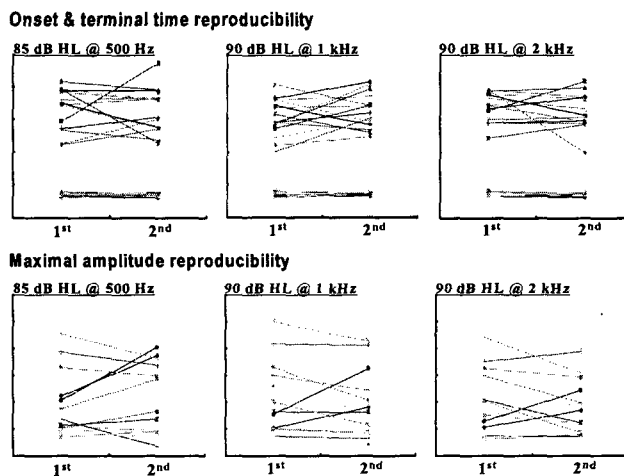


그림 5. 최대 자극강도에서 2 회 기록한 청성유발 피부전위(AESP)의 비교
(위쪽 그림은 잠복시간의 재현성을, 아래 그림은 최대진폭의 재현성을 각각 나타낸 것이다. 좌측으로부터 500 Hz, 1kHz, 그리고 2 kHz의 순서로 나열하였으며, 1st는 첫 번째 자극의 반응을, 2nd는 두 번째 자극의 반응을 각각 의미한다. 잠복시간 재현성 그림 안에서는 위쪽이 AESP 종료시간(terminal time), 아래쪽이 AESP 발생시간(onset time)을 각각 의미한다.)

4. 고찰

SP는 다양한 위상으로 기록될 수 있는데, 이 차이는 땀샘 관의 충만과 각질층의 수화 등에 의한 저항 특성, 활성 막의 특성 등이 복합적으로 작용한 것으로 해석[10]하고 있으나 저자들의 연구 결과는 감각기관을 자극하는 강도에 의해서도 위상이 변화함을 확인하였다.

잠복시간은 와우 기저막의 운동성 및 청신경의 firing rate 등에 의해 결정된다. 소리가 청각 중추에 도달하기까지는 neuroeffector transfer time과 central processing time[4]을 포함하여 약 400~500ms 정도의 잠복시간을 갖는다. 청각 정보는 대뇌 기능적 영역으로 투사되어, 후시상하부, 교뇌 피개, 연수 망상핵 등으로 중계 된다[11]. 이후로 척수의 intermediolateral 영역을 통해 C8부터 L2에 이르는 thoracolumbar segment에 있는 원심성 ventral root부터 하행성 신경 전달[12]을 하고, sympathetic trunk를 지나[13] 땀샘 관에 작용한다. 이 과정에서 신경전달속도는 직경 3 μm 이하인 B형 유수신경섬유로 구성된 preganglionic sympathetics은 매초 3~15 미터, 직경 0.4~1.2 μm 정도인 C형 무수신경섬유로 구성된 postganglionic sympathetics은 매초 0.7~2.3 미터 정도이다[14]. 이 연구 결과 1.4~1.6 초 범위를 보였던 AESP의 잠복시간은 이러한 신경전달과정과 CI-에 의한 땀샘 분극 및 Na⁺ 재흡수, 땀샘 관에서 streaming potential 발생 등에 소요된 시간이다. 최대와 최소 자극 강도 사이에서 200 ms 정도의 잠복시간 차이는 신경 섬유의 synchrony와 관련한 것이며, 0.5 kHz에서 평균 333 ms, 1 kHz에서 평균 214 ms, 2 kHz에서 평균 108 ms로 주파수 마다 차이를 보이는 것은 와우에서 난원창으로부터 가까운 기저회전이 고음을, 침부가 저음을 감음하는데서 오는 것으로 청성유발전위의 잠복시간이 고음역보다 저음역에서 연장되는 것과 일치하며, 이는 진행과 이론에 영향을 받은 것으로 해석할 수 있다.

진폭은 인접한 정점의 골과 마루 사이의 높이로, 동기화한 신경섬유의 수를 측정하는 매우 중요한 단서[15]이며, 자극 강도에 따라 결정된다. 또 청각, 시각 또는 특정한 단일 신경의 평가에서 진폭은 전극의 표면적 및 전극을 부착한 피부 표면과 전위 발생 기저부 사이에 있는 근육 또는 다른 신경 등의 간섭에 영향을 받기 때문에 진단 정보 획득에 있어서 잠복시간을 더 가치 있게 활용하기도 한다. 그러나 와우전기반응(ECoG)은 근위를 기록하므로 진폭을 중요한 진단적 정보로 활용한다[16]. ECoG는 와우와 청신경 원위부에서 발생하는 summing potential, cochlea microphonics, compound action potential 등을 기록한다. 이들 전위는 강한 자극을 주면 진폭이 높아지고, 자극 강도를 낮추면 진폭이 낮아지는데, 특히 summing potential의 진폭은 자극강도와 로그관계를 보인다[17]. 이 변화는 강 자극 범위에서 매우 크고 약 자극 범위에서 완만하다[5]. 와우에서 발생한 전위의 이러한 변화는 대부분의 청성유발전위(Auditory evoked potential; AEP)에서 관찰할 수 있다. 이러한 AEP의 변화는 저자들이 기록한 AESP의 두 정점 사이와 최대 진폭에서도 관찰하였다. AESP의 진폭 변화 특성은 앞서 고찰한 잠복시간 변화와 마찬가지로 청각기관을 자극한 소리 강도에 직접적으로 간섭 받은 증거이다.

선행 연구들은 EDA가 재현성이 떨어지는 점을 지적하였다. 이 문제는 환경 변화에 대응하여 감각계가 역치를 낮추는 orienting response와 반복 자극에 대하여 반응 역치를 높이는 habituation을 그 원인이다. 이 연구는 지금까지 EDA가 갖는 한계를 극복하기 위하여 단일 자극을 1 분 간격으로 하여 피부전위를 기록하여 잠복시간, 종료시간, 그리고 최대 진폭이 유의하게 일치함을 확인하였다.

따라서 자극 간격을 1 분으로 하고 단일 자극을 사용하여 피부전위를 기록한다면 orienting response나 habituation에 의한 영향을 배제한 안정적인 피부전위를 기록할 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

AESP는 청각기관 자극으로 피부에서 나타나는 전위로 소리 자극 강도에 영향을 받아 위상과 잠복시간이 변화되며, 주파수에 영향을 받아 잠복시간의 변화를 보인다. 이러한 일련의 변화는 AESP가 자극 조건과 소리를 청취하는 청각기관의 상태를 반영하는 것으로 청각평가 도구로 사용할 수 있음을 시사한다. 기존의 청성유발전위는 수 천회 자극하여 평균 가산하는데 반해, AESP는 단일 자극으로 전위를 기록하므로 시간을 절약할 수 있고, 비침습적이며 방법이 간단하다. 아울러 유발반응 청력검사의 부분적 평가의 한계를 해결하여 신경계통 전반을 평가할 수 있는 장점이 있다

참 고 문 헌

- [1] Fowles, D. C., Edelberg, R., Lykken, D.T., Venables, P. H. 1981. Publication recommendations for electrodermal measurements: committee report. *Psychophysiology*, 18:232-239.
- [2] Neumann, E., Blanton, R. 1970. The early history electrodermal research. *Psychophysiology*, 6:453-475.
- [3] Hellerud, B. C., Storm, H. 2002. Skin conductance and behaviour during sensory stimulation of preterm and term infants. *Early Human Development*, 70:35-46.
- [4] Lim, C. L., Seto-Poon, M., Clouston, P. D., Morris, J. G. L. 2003. Sudomotor nerve conduction velocity and central processing time of the skin conductance response. *Clinical Neurophysiology*, 114:2172-2180.
- [5] Zimmer, H. 2002. Habituation and recovery of a slow negative wave of the event-related brain potential. *International Journal of Psychophysiology*, 43:225-235.
- [6] Bruggemann, J. M., Barry, R. J. 2002. Eysenck's P as a modulator of affective and electrodermal response to violent and comic film. *Personality and Individual Differences*, 32:1029-1048.
- [7] Brand, G., Millot, J. L., Saffaux, M., Morand-Villeneuve, N. 2002. Lateralization in human nasal chemoreception: differences in bilateral electrodermal responses related to olfactory and trigeminal stimuli. *Behavioral Brain Research*, 133:205-210.
- [8] Boller, F., Keefe, N. C., Zoccolotti, P. 1989. Luigi Galvani, body electricity, and the 'galvanic skin response'. *Neurology*, 39:868-870.
- [9] Lachnit, H., Lipp, O. V., Gryschok, N. S. 2002. Probing the time course of nonlinear discriminations during human electrodermal conditioning. *Learning and Motivation*, 33:269-283.
- [10] Fowles, D. C. 1986. The eccrine system and electrodermal activity. In: Coles MGH, Donchin, E., Porges, W. (Eds), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications*.

- Amsterdam, Elsevier, 51-96.
- [11] Collins, K. J. 1999. Temperature regulation and the autonomic nervous system. In: Critchley, H. D. 2002. Electrodermal Responses: What Happens in the Brain. *The Neuroscientist*, 8(2):132-142.
- [12] Critchley, H. D. 2002. Electrodermal Responses: What Happens in the Brain. *The Neuroscientist*, 8(2):132-142.
- [13] Boucsein, W. 1992. *Electrodermal Activity*. NY, Plenum press, pp 16-18.
- [14] Guyton, A. C., Hall, J. E. 2000. *Textbook of Medical Physiology* 10th ed., PA, WB Saunders Co., 528-539.
- [15] Liveson, J. A., Ma, D. M. 1992. *Laboratory reference for clinical neurophysiology*. USA, FA Davis Company, 7-11.
- [16] Hall, J. W. 1990. *Handbook of auditory evoked responses*. MA, Allyn and Bacon, 100-103.
- [17] Chatrian, G. E., Wirch, A. L., Edward, K. H., Lettich, E., Snyder, J. M. 1984. Cochlea summing potential recorded from the external auditory meatus of normal humans: Amplitude-intensity functions and relationship to auditory nerver action potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 59:396-410

접수일자: 2005. 04. 30

게재결정: 2005. 05. 30

▲ 허승덕

부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-715)
 동아대학교 의과대학 이비인후과학교실
 Tel: +82-51-240-5422
 E-mail: sdheo@damc.or.kr

▲ 정동근

부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-714)
 동아대학교 의과대학 의공학교실
 Tel: +82-51-240-2868
 E-mail: dkjung@dau.ac.kr

▲ 서덕준

부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-714)
 동아대학교 의과대학 생리학교실
 Tel: +82-51-240-2916
 E-mail: djsuh@dau.ac.kr

▲ 김광년

부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-714)
 동아대학교 의과대학 의공학교실
 Tel: +82-51-240-2868
 E-mail: knn8926@hanmail.net

- ▲ 김기련
부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-714)
동아대학교 의과대학 의공학교실
Tel: +82-51-240-2868
E-mail: grkim@donga.ac.kr

- ▲ 강명구
부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-715)
동아대학교 의과대학 이비인후과학교실
Tel: +82-51-240-5428
E-mail: mgkang@dau.ac.kr

- ▲ 김리석
부산광역시 서구 동대신동 3가 1번지 (우: 602-715)
동아대학교 의과대학 이비인후과학교실
Tel: +82-51-240-5428
E-mail: klsolkor@chollian.net