

# 비대칭 음 강도 양이 동시 자극 청성뇌간유발반응의 양이간섭치 Binaural Interaction Component in Auditory Brainstem Responses with Asymmetric Simultaneous Acoustic Stimulation

허 승 덕\*  
S. D. Heo

## 요 약

양이간섭은 청신경망에서 청각정보를 처리하는 과정의 하나로, 같은 크기의 소리를 두 귀로 번갈아 자극하여 기록한 청성뇌간유발반응(auditory brainstem responses; ABR)으로 확인할 수 있다. 그러나 소리는 두 귀가 동시에 청취하므로, 양이간섭도 서로 다른 강도의 자극을 두 귀에 동시 자극하여 연구할 필요가 있다. 이 연구 목적은 서로 다른 크기의 소리를 두 귀로 동시에 자극하여 기록한 ABR을 통해 양이간섭치(binaural interaction component; BIC)를 획득하는데 있다. 과거 병력이 없고 청력이 정상인 17.8-22.7세 사이 17명의 여자 대학생이 참여하였다. 소리는 한 귀를 90 dB nHL로 고정하고 반대 쪽 귀를 0부터 80 dB nHL까지 10 dB 단위로 변경시킨 click을 동시에 자극하였다. BI 파형은 양이 동일 강도를 자극한 파형에서 비대칭 자극한 파형을 빼어 구하였다( $BI = B - (L + R)$ ). BIC는 BI 파형에서 IV-V 복합과 잠복시간과 진폭으로 하였다. BIC 역치(threshold of BIC; t-BIC)는 자극 강도에 따른 BIC 진폭 변화를 통해 구하였다(대응표본 t-검정). BIC는 자극 음강도 0부터 90 dB nHL까지 10 dB마다 정점 잠복시간 4.65, 4.63, 4.57, 4.58, 4.62, 4.6, 4.48, 4.36, 4.23 ms, 골 잠복시간 5.57, 5.51, 5.51, 5.59, 5.61, 5.55, 5.44, 5.28, 5.19 ms, 진폭 -0.32, -0.3, -0.34, -0.32, -0.42, -0.53, -0.54, -0.61, -0.67  $\mu V$ 로, t-BIC는 40 dB nHL( $p=0.001$ )로 각각 관찰되었다.

## ABSTRACT

Binaural interaction can recognize the same intensity sound by stimulating two ears alternatively, and it can be record auditory brainstem responses (ABR). However, We needs to be researched about binaural interaction in asymmetric binaural acoustic stimulation. 17 normal young hearing university students were participated. Clicks were presented at the intensity of 90 dB nHL to one ear and the click intensity was increased from 0 to 90 dB nHL with a separation of 10 dB to another ear, simultaneous. BI waveform was obtained by subtracting the sum of the asymmetrically evoked potentials from the binaurally evoked potentials; i.e.  $BI = B - (L + R)$ . Latency and amplitude was measured 'peak to following trough' of IV-V complex of BI waveform. Threshold of BIC (t-BIC) was obtained using amplitude depend on stimulus intensities (paired sample t-test). Latency shifted in 4.65, 4.63, 4.57, 4.58, 4.62, 4.6, 4.48, 4.36, 4.23 ms for peak, 5.57, 5.51, 5.51, 5.59, 5.61, 5.55, 5.44, 5.28, 5.19 ms for trough, and amplitude shifted in -0.32, -0.3, -0.34, -0.32, -0.42, -0.53, -0.54, -0.61, -0.67  $\mu V$  from 0 to 90 dB nHL in every 10 dB, respectively. t-BIC was observed 40 dB nHL( $p=0.001$ ).

**Keyword** : binaural interaction, binaural interaction component, auditory brainstem responses

접 수 일 : 2014.04.28  
심사완료일 : 2014.05.23  
게재확정일 : 2014.05.26

\* 허승덕 : 대구대학교 재활과학대학 언어치료학과 교수  
audiolog@daegu.ac.kr

※ 이 연구는 2013년 동일문화재단의 학술연구비 지원을 받았습니다.

## 1. 서론

양이간섭(binaural interaction)은 두 귀가 수용한 청각 정보를 이용하여 음원 방향이나 특정 정보만을 해석하는 신경회로망의 복잡하면서 체계적인 청각처리 기능으로, 이러한 양이간섭은 양이용합(binaural fusion), 양이합산(binaural summation) 그리고 양이통합(binaural integration)으로 구분한다. 양이용합은 분명하지 않는 정보를 처리할 때, 양이합산은 분명한 신호를 증강 처리할 때 그리고 양이통합은 두 귀가 들은 정보를 처리할 때를 각각 표현하는 용어이다.

양이간섭은 같은 크기의 소리를 두 귀로 동시 자극하여 유발한 청성뇌간유발반응(auditory brainstem responses; ABR) 파형과 같은 크기의 소리를 각각 따로 자극하여 기록한 파형을 분석하여 확인할 수 있으며(D.J. Strauss et al., 2004; K. Sheykhleslami et al., 2003), 이 차이를 양이간섭치(binaural interaction component; BIC)라 한다(K. Sheykhleslami et al., 2003; Z.D. Jiang, 1996). 지금까지 연구들은 같은 크기의 소리를 각 귀로 따로 자극하여 기록한 ABR 파형으로 BIC를 구하였다(D.J. Strauss et al., 2004; K. Sheykhleslami et al., 2003; Z.D. Jiang, 1996).

소리는 다양한 방향에서 발생하고, 두 귀는 같은 음원일지라도 소리를 서로 다른 방향에서 수용한다. 이렇게 수용한 소리는 청신경계통에서 다양한 신경 정보 처리 및 통합을 통하여 음원 방향을 인지하고, 경쟁 잡음 속에서 어음을 잘 이해하게 된다. 따라서 양이간섭치는 대칭 강도의 소리를 교대 자극하여 구하는 것뿐 아니라 비대칭 강도 소리를 두 귀에 동시 자극하여 구할 필요가 있다. 이렇게 구한 정상치는 편측성 난청 및 재활에서 청각처리에 관한 유용한 정보로 활용할 수 있을 것이다.

이 연구는 크기가 서로 다른 소리를 두 귀로 동시에 들려주어 기록한 ABR 파형을 분석하여 BIC를 구하고자 한다.

## 2. 대상 및 방법

### 2.1 연구 대상

이 연구에는 17.8세부터 22.7세(19.7±1.5) 사이인 OO대학교에 재학 중인 17명의 여학생들이 참여하였다. 이들은 모두 과거 병력이 없었고, 청력을 포함한 전신 건강 상태가 양호하였다. 이들에게는 사

전에 연구 목적과 방법, 결과의 활용 등에 대하여 충분히 설명 하였고, 참여자 모두 동의하였다.

대상자 선발을 위하여 과거 병력과 건강 상태 등을 문진으로 확인하였고, 기본적인 청각 평가는 은은한 조명의 방음실에서 시행하였다. 청각 평가는 고막과 중이의 상태를 확인하기 위하여 이미턴스검사기(GSI 33, Grason Stadler Inc., USA)로 고막운동도(Tympanogram)를, 내이의 상태를 확인하기 위하여 자동화이음향방사검사기(GSI 70, Grason Stadler Inc., USA)로 변조이음향방사(distortion product otoacoustic emission; DPOAE)를, 가청역치를 확인하기 위하여 순음청력검사기(GSI 16, Grason Stadler Inc., USA)로 순음청력검사를, 그리고 뇌간의 상태를 확인하기 위하여 유발전위검사기(Dantec™ Keypoint®, Dantec, Denmark)로 90 dB nHL(normal hearing level) 자극에 대한 ABR을 각각 검사하였다. ABR 검사를 마친 후, 연구 대상자 선정 기준에 포함된 경우 곧바로 비대칭 음 강도 양이 동시 자극 ABR을 시행하였다.

모든 대상자들의 고막운동도는 'A'형이었고, 외이도 용적이 평균 0.86±0.2 cc, 정적 탄성이 평균 0.39±0.2 cc, 중이강 압력이 평균 4.4±7.8 daPa로, 고막과 중이의 상태는 정상이었다. 1, 4 kHz DPOAE는 모두 'PASS' 기준에 포함되어, 내이 기능은 정상이었다. 평균 가청역치는 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 8 kHz의 순서로 우측 3.2±5, 4.7±3.7, 4.7±5.4, 2.4±5.9, 0.6±4.3, 2.1±7.1, 5±8.7, 좌측 3.5±4.6, 2.9±3.6, 4.1±5.1, -0.3±3.7, -2.1±4.7, 0.3±5.7, 3.2±7.9 dB HL(hearing level)로 정상 범위에 있었다. 두 귀 가청역치 차이는 동일 주파수에서 5 dB 이내로 통계적으로 유의한 차이가 없었다(독립표본 t-검정). ABR의 I, III, V파는 평균 잠복시간이 우측 1.3±0.1, 3.59±0.1, 5.38±0.2 ms, 좌측 1.32±0.1, 3.56±0.1, 5.44±0.2 ms, 평균 진폭이 우측 0.44±0.1, 0.25±0.1, 0.37±0.2  $\mu V$ , 좌측 0.35±0.1, 0.25±0.1, 0.39±0.2  $\mu V$ 로 청신경 뇌간 영역은 정상이었다. 두 귀 각 파의 잠복시간과 진폭 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(독립표본 t-검정).

### 2.2 연구 방법

#### 2.2.1 비대칭 음 강도 양이 동시 자극 ABR의 기록

비대칭 음 강도 양이 동시 자극 ABR은 유발전위검사기(Dantec™ Keypoint®, Dantec, Denmark)로 기록하였다. 소리는 100 $\mu s$  교대상 click을 11.3 Hz의

빈도로 자극하였다. 자극 강도는 전위를 수집하는 동측을 90 dB nHL로 고정하고, 반대측을 0부터 80 dB nHL까지 10 dB 단위로 조절하였다. 같은 방법으로 반대 귀를 자극한 후, 마지막으로 90 dB nHL을 두 귀에 동시 자극하였다.

전극은 은이 도포된 컵 모양 전극을 사용하여, 활성전극은 정중선상 머리선 바로 아래, 기준전극은 양측 이수, 그리고 접지는 정중선상 미간에 각각 부착하였다. 전극 저항은 모두 3 kΩ 이하로 하였고, 전극 간 저항 차이는 모두 1 kΩ 이하로 하였다.

전위는 90 dB nHL로 고정한 귀를 동측, 자극 강도를 달리한 귀를 반대쪽으로 한 2 채널로 수집하였다. 이렇게 수집한 전위는 100Hz에서 3kHz 범위의 대역필터를 통과시킨 후, 1,000번 평균가산하였다.

2.2.2 양이간섭치(BIC)와 BIC 역치

BIC는 ABR 파형을 MATLAB Ver. 7.2 (MathWorks, USA)으로 분석하여 구하였다. 먼저, 변동 자극 음의 강도가 같은 좌우 두 개의 파형을 더하여 만든 A파형, 두 귀 모두 90 dB nHL을 주고 기록한 파형인 B파형, 그리고 B파형에서 A파형을

빼 새로운 파형인 BI파형을 구하였다. 이렇게 구한 BI 파형에서 IV-V 복합파의 정점과 골 잠복시간 및 정점-골 사이의 진폭을 BIC로 정의하였다.

BIC 역치(threshold of BIC; t-BIC)는 자극 강도 변화에 따른 IV-V 복합파의 정점 및 골의 잠복시간 변화를 일원배치분산분석(one-way ANOVA)과 tukey HSD 사후 검정으로, 진폭 변화를 대응표본 t-검정으로 분석하여 유의한 변화가 나타났던 최소 자극 강도를 찾고, 이를 t-BIC로 정의하였다.

3. 결과

양이간섭치(BIC)는 변동 자극 음강도 0부터 80 dB nHL까지 10 dB마다 정점 잠복시간 4.65, 4.63, 4.57, 4.58, 4.62, 4.6, 4.48, 4.36, 4.23 ms로, 골 잠복시간 5.57, 5.51, 5.51, 5.59, 5.61, 5.55, 5.44, 5.28, 5.19 ms로, 진폭 -0.32, -0.3, -0.34, -0.32, -0.42, -0.53, -0.54, -0.61, -0.67  $\mu$ V로 각각 관찰되었다(Table 1).

BIC 역치(t-BIC)는 자극 강도 40(p=.001)과 50 dB nHL 이상(p=.000)에서 IV-V 복합파의 진폭이 유의한 변화를 보여 40 dB nHL로 관찰되었다(표 1).

표 1. Mean latency and amplitude of wave I, III, V & IV-V complex depend on contralateral stimulus intensities.

	Stimulus Intensity (Right or Left side / the other side)									
	0/90	10/90	20/90	30/90	40/90	50/90	60/90	70/90	80/90	90/90
wave I										
Right lat.*	1.30	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.32	1.31	1.36	1.28
Left lat.*	1.32	1.31	1.32	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.32	1.28
Right amp.†	0.44	0.39	0.41	0.40	0.41	0.40	0.43	0.41	0.39	0.44
Left amp.†	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.34	0.44
wave III										
Right lat.*	3.59	3.59	3.56	3.59	3.62	3.62	3.62	3.61	3.57	3.55
Left lat.*	3.56	3.58	3.57	3.57	3.61	3.61	3.61	3.60	3.57	3.55
Right amp.†	0.25	0.20	0.22	0.21	0.23	0.24	0.24	0.30	0.30	0.39
Left amp.†	0.25	0.28	0.27	0.25	0.25	0.26	0.25	0.30	0.32	0.39
wave V										
Right lat.*	5.38	5.38	5.41	5.39	5.45	5.41	5.45	5.46	5.45	5.42
Left lat.*	5.44	5.44	5.44	5.44	5.46	5.47	5.45	5.45	5.45	5.42
Right amp.†	0.37	0.36	‡ 0.37	§ 0.34	0.42	0.47	0.47	0.50	0.55	0.60
Left amp.†	0.39	0.37	0.36	0.39	¶ 0.42	0.47	0.49	0.51	0.51	0.60
IV-V complex										
peak lat.*	4.65	4.63	4.57	4.58	4.62	4.60	4.48	4.36	4.23	-
trough lat.*	5.57	5.51	5.51	5.59	5.61	5.55	5.44	5.28	5.19	-
amp.†	-0.32	-0.30	-0.34	-0.32	# -0.42	-0.53	-0.54	-0.61	-0.67	-

\*; latency in millisecond (ms), †; amplitude in microvolt ( $\mu$ V), ‡; p=.047, §; p=.016, ||; p=.000, ¶; p=.006, #; p=.001

#### 4. 고찰

ABR은 소리를 자극하여 5~7 개의 정점이 나타난다. 이들 정점은 각각 I, II, III, IV, V, VI, VII과 라 하며, 각 파는 청신경 원위부, 청신경 근위부, 청신경핵, 상올리브 복합체, 외측 용대, 하구 등에서 발생하는 전위이다. ABR 이후 전위는 청각 피질 및 뇌영역에서의 발생하며 청성후기반응으로 기록하여 이명 등을 포함한 다양한 목적으로 사용한다(Park, 2013). ABR은 같은 크기의 소리를 두 귀 각각으로 들려주고 기록하면 각 파들의 잠복시간과 진폭은 서로 같다. 그러나 같은 크기의 소리를 두 귀에 동시에 들려주고 구한 파형은 각 귀를 따로 자극하여 구한 파형을 더한 것보다 III 파 이후의 진폭이 작아진다. ABR 파형이 이렇게 달라지는 것은 양이간섭 때문이다.

양이간섭은 청각 정보를 합산하거나 억제하면서 통합 처리하는 과정으로, 뇌간 영역과 청각피질 영역에서도 관찰 할 수 있다. 인간의 양이간섭은 청신경 말단의 신경원들이 양측의 청신경핵을 발화시키면서 시작한다(Z.D. Jiang & T.S. Tierney, 1996.). 이후 상올리브 복합체로부터 청신경 구심성 경로를 따라 외측 용대와 능형체 그리고 하구 등에서 계속 관찰할 수 있다(A. Polyakov & H. Pratt, 1994; H. Pratt, et. al, 1998.). 이들 뇌간 영역에서 발생하는 전위는 ABR의 III/IV파부터 VII파에 해당한다. 양이간섭은 자극 비율이나 음강도 등 다양한 소리 자극 조건에도 영향을 받으며(Z.D. Jiang, 1996.), 인간의 청각처리에 관한 기본 정보를 획득하는데 유용한 도구이다(K. Ken-ichi, et. al, 2003).

좌우 같은 강도를 번갈아 그리고 동시 자극으로 확인하는 양이간섭은 III 파 이후부터 관찰이 가능하다. 하지만 비대칭 강도를 두 귀로 동시 자극한 이 연구에서는 I, III, V 파 잠복시간과 I, III 파 진폭으로 확인하기 어려웠고, V 파 진폭으로 확인할 수 있었다. t-BIC 또한 IV-V 복합파의 진폭으로 확인할 수 있었다. 따라서 비대칭 강도의 소리를 두 귀로 동시 자극하는 ABR에서 양이간섭은 V 파 진폭과 IV-V 복합파 진폭으로 관찰할 수 있다.

같은 강도 소리를 두 귀에 번갈아 자극하여 구하는 BIC는 ABR IV-V 복합파 정점으로 향하는 중간지점에서 최대로 나타나며, 70 dB nHL click의 경우 3.98~6.91ms 범위로 보고하고 있다(K. Toshihiko et. al, 1995). 저자의 연구에서 BIC는 0 부터 90 dB nHL까지 10 dB 단위로 IV-V 복합파 정점 잠복시간이 4.65, 4.63, 4.57, 4.58, 4.62, 4.6,

4.48, 4.36, 4.23 ms, 골 잠복시간이 5.57, 5.51, 5.51, 5.59, 5.61, 5.55, 5.44, 5.28, 5.19 ms로 각각 관찰되었다. 따라서 70 dB nHL에 대한 잠복시간 범위는 4.36~5.28 ms로 선행 연구 결과와 비교하면 차이가 있다. 또 잠복시간은 자극 강도를 바꾸더라도 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이것은 선행 연구들이 두 귀를 한 번씩 번갈아 자극한 것과 달리 저자의 연구는 한 귀에 90 dB nHL을 지속적으로 자극하면서 두 귀를 동시 자극한 것을 그 원인으로 해석할 수 있다. 자극 음은 그 크기가 같을지라도 주파수가 다르면 자극 음의 주기가 달라지기 때문에 잠복시간에 큰 변화를 보인다. 저자들은 click 음을 사용하여 이러한 변화를 관찰할 수 없었으나 만약 주파수를 교대하여 자극한다면 이에 따른 양이간섭(착청; auditory illusion)(K. Sheykholeslami, et. al, 2003) 등을 확인할 수 있을 것이다.

진폭은 자극에 의하여 신경성유가 발화한 정도를 예측하는 단서이며, 자극 강도에 따라 결정된다. 또 청각과 같이 특정한 감각의 단일 신경 상태를 평가하는 과정에서 전극의 표면적 및 전극을 부착한 피부 표면과 전위 발생 기시부 사이에 있는 근육 또는 다른 신경 등의 간섭에 영향을 받기 때문에 진단 정보 획득에 있어서 잠복시간을 더 가치 있게 활용하기도 한다.

저자의 연구에서 V 파 진폭은 잠복시간이 자극 강도에 영향을 받지 않은 것과 달리 70 dB nHL을 한 귀만 자극한 경우가 두 귀 각각을 자극하여 파형을 더한 경우의 16~28% 수준, 음 강도를 10 dB nHL까지 낮추면 22~38% 수준(Z.D. Jiang, 1996)으로 관찰되었다. 70 dB nHL에서 BIC 진폭은 0.2  $\mu V$  (Z.D. Jiang, 1996)로, 이 연구의 0.54  $\mu V$ 보다 낮게 나타났다. 이 또한 한 귀로 90 dB nHL을 지속적으로 자극하여 청신경 발화율이 높아졌기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 특히, 진폭은 자극 강도를 0 부터 90 dB nHL까지 10 dB 단위로 올리면 -0.32, -0.3, -0.34, -0.32, -0.42, -0.53, -0.54, -0.61, -0.67  $\mu V$ 로 높아져서 자극 강도에 영향을 받았는데, 40 dB nHL 이상의 자극 강도부터 통계적으로 유의한 관계를 보이고 있었다. 이러한 경향은 향후 BIC 역치(t-BIC)를 연구하는 지표로 사용할 수 있음을 시사한다.

#### 5. 결론

비대칭 강도를 두 귀에 동시 자극하여 구한 BIC는 0부터 80 dB nHL까지 10 dB 간격으로 IV-V 복

합파의 정점 잠복시간이 4.65, 4.63, 4.57, 4.58, 4.62, 4.6, 4.48, 4.36, 4.23ms, 골 잠복시간이 5.57, 5.51, 5.51, 5.59, 5.61, 5.55, 5.44, 5.28, 5.19ms 그리고 진폭이 -0.32, -0.3, -0.34, -0.32, -0.42, -0.53, -0.54, -0.61, -0.67  $\mu V$ 로 각각 관찰되었다.

저자의 연구 결과는 변갈아 자극한 선행 연구의 BIC와 비교하여 IV-V 복합파 정점과 골 잠복시간 간격이 좁게 나타났고, 이들 잠복시간은 자극강도와 유의한 관계를 보이지 않았다.

자극 강도 변화에 따른 진폭의 변화는 통계적으로 유의하였고, IV-V 복합파 진폭으로 예측한 t-BIC는 40 dB nHL로 관찰되었다.

### Acknowledgement

The author would like to express their appreciation to SangHyun Baek of Jeil Hearing Aids Center and KiTae Kwon of HiMed Co. Ltd who worked so hard to make this study a success.

### 참 고 문 헌

[1] A. Polyakov, H. Pratt. "Three-channel Lissajous' trajectory of the binaural interaction components in human auditory brain-stem evoked potentials", *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 92, pp. 396-404, 1994

[2] D.J. Strauss, W. Delb, P. K. Plinkert. Analysis and detection of binaural interaction in auditory evoked brainstem responses by time-scale representations. *Computers in Biology and Medicine* 34, pp. 461 - 477, 2004

[3] H. Pratt, A. Polyakov, V Aharonson, A.D. Korczyn et al.. "Effects of localized pontine lesion on auditory brain-stem evoked potentials and binaural processing in humans", *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.*, 108, pp. 511-520, 1998

[4] K. Ken-ichi, F. Nobuya, H. Riitta. "Binaural interaction in the human auditory cortex revealed by neuromagnetic frequency tagging: no effect of stimulus intensity", *Hearing Research*, 183, pp. 1-6, 2003

[5] K. Sheykholeslami, H.K. Mohammad, S. Sébastein, K.A. Kaga. "Binaural interaction of bone conducted auditory brainstem responses in children with congenital atresia of the

external auditory canal". *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 67(10), pp. 1083 - 1090, 2003

[6] K. Toshihiko, K. Ken-ichi, S. Kimio, E. Yo-ichi et al.. "Topography of Binaural Interaction in the Auditory Brainstem Response", *Auris Nasus Larynx*, 22, pp. 145-150, 1995

[7] L. Satu, M. Anne, P. Lauri, H. Riitta H. "Binaural interaction and the octave illusion", *J. Acoust. Soc. Am.*, 132, pp. 1747-1753, 2012

[8] I.Y. Park. "Implementation of an auditory late latency response measurement system for researching objective tinnitus detection method. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 45-50, 2013 (박일용. 객관적 이명검사 연구를 위한 청성 우기 반응 측정 시스템의 구현. 재활 복지공학회 7권(1) pp. 45-50, 2013)

[9] Z.D. Jiang. "Binaural interaction and the effects of stimulus intensity and repetition rate in human auditory brain-stem", *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 100, No. 6, pp. 505-516, 1996

[10] Z.D. Jiang, T.S. Tierney. "Binaural interaction in human neonatal auditory brainstem", *Pediatric research*, 39, pp.708-714, 1996

### 허 승 덕



2012년 3월 대구대학교 재  
활과학대학 언어치  
료학과

관심분야 : 청각학, 청신경전기생리학