A STUDY OF AUDITORY BRAIN STEM RESPONSE (ABR) EVOKED BY BINAURAL STIMULATION

SHINRO ITO, M. D.

Department of Otorhinolaryngology, Tokyo Medical College, Tokyo
(Director: C. Takeda, M. D.)

The pattern of auditory brain stem response (ABR) evoked by binaural stimulation was compared with that evoked by ipsilateral and contralateral monaural stimulation and the summation of the two. The effects of electrode locations and the direction of stimuli were also examined to observe the direction of vectors of each component potential and to study the possibility of the so-called binaural interaction. Further comparison was made between psychoacoustic effects of binaural hearing and the pattern of ABR with special regards to each wave component.

The results were as follows.

1. Each component of ABR is basically a vector trending toward vertex, and the later components tend to incline upward. Thus the direction of the potentials appears to coincide with that of the central auditory pathway. It is assumed that Wave I is derived from the acoustic nerve, while the waves after Wave III are from the nuclei or nerves of the brain stem auditory pathway.
2. It is considered that binaural ABR is an algebraic sum of scaras of each vector evoked by simultaneous stimulation of both ears and coincides with the summed ABR of monaural stimulation. It is thus concluded that the presence of binaural interaction can not be substantiated.
3. It is concluded that psychoacoustic binaural summation is related to Wave JJJ, while Wave V is indispensable to sound lateralization or localization.
4. The result of the present study would suggest that those waves after Wave III are derived from nuclei or nerves in the brain stem innervated by bilateral neurons. More specifically, Wave III is derived from the superior olivary complex and Wave V is from the nuclei or nerves above the superior olivary complex, lateral lemniscus and inferior collinuli.

A85—1578—13022

両耳刺激による聴性脳幹反応 (ABR) についての研究

東京医科大学耳鼻咽喉科学教室 (主任: 竹田千里教授)

伊 藤 真 郎

I は じ め に

聴性脳幹反応 (Auditory Brainstem Response) (以下 ABR と略す) は、聴性誘発反応の速反応として、Jewett¹⁾²⁾ および Sohmer ら³⁾ によってほぼ同時に報

告されて以来、他覚聴力検査⁴⁾⁵⁾として、また、中枢神経疾患（脳幹障害）の診断手段として^{6)~15)}広く臨床に活用されるに至った。

本反応は、音刺激により誘発される聴神経および脳幹聴覚路の神経、神経核群に由来する反応電位であり、潜時 10msec 以内に 5~7 個のピークをもつ far field potential である。

これらの数個の波は、約 1 msec 前後の潜時差をもって規則正しく出現し、反応の安定性（再現性）と誘導の簡便さにおいて、他のいかなる誘発反応よりもすぐれたものといえる。

ABR の各反応波形の起源については、動物（主としてネコ）を用いた破壊実験^{16)~18)}や、中枢神経疾患（脳幹障害）の臨床例の観察に基づいて次のように分類されている。

すなわち、Wave I は聴神経、Wave II は蝸牛神経核、Wave III は上オリーブ核、Wave IV は外側毛体（核）、Wave V は下丘、Wave VI, VII は内側膝状体以遠の中核核由来のものとされるが、さらに、Bachwald ら (1975)¹⁶⁾は Wave III は反対側の上オリーブ核、Wave IV は同側および反対側の外側毛体、Wave V は反対側の下丘に由来するものと細別している。

しかしながら、Wave I, Wave II を除く Wave III 以後の起源については—特にそれらが同側由来のものか、反対側由来のものかという点に至っては—異論が多く今なお論議の余地が残っているといつてよい。

ところで、聴器は視器と同様、末梢受容器が両側に存在することから、両耳刺激によって聴覚心理学的な両耳聴現象が認められることは、衆知の事実である。

両耳を刺激することによって認められるこの両耳聴現象は、両耳融合（加算）効果、音像の偏倚（方向感）、音像の分離（両耳分離能）、音の立体感などの現象を含むものであるが、これらの現象が、① まず、両耳刺激 ABR 上で、どのように表出されるであろうかという問題と、② 聴覚中枢路における両耳相互作用（Binaural Interaction）を、far field potential としての ABR の波形上で証明することができるかどうかという問題、③ そして、刺激条件に対応した波形の変化や性質、特徴、などから、脳幹聴覚路における反応波形の発生機序や起源を解明する手掛りを得ることができるかどうか、という問題が提起される。

本研究は、両耳刺激による ABR を各条件において記録し、以上述べたテーマについて検討することを目的と

図 1 Block Diagram

するものである。

Ⅱ 対象と方法

両耳刺激 ABR の実験は、両側聴力正常者 5 名を被験者として行った。

また、聴覚心理学的実験には、さらに、聴力正常なものの 15 名を被験者として加え、この対象とした。実験装置の Block Diagram を図 1 に示す

音刺激は、両耳刺激用パルス発生装置（リオン製）より、パルス幅 90msec の矩形波を両耳のレシーバ（リオン AD-02）に導き、両耳間の時間差（ ΔT ）（0.1msec の step）と、両耳間の強度（音圧差）（ ΔI ）（5dB step）を、独立に、任意に選択できるようにした。音圧は被験者（聴力正常者）の最小可聴域値を 0dB として、Sensation Level (SL) で被示した。刺激音の刺激間隔は 100msec 解析時間は原則として 20msec とし、加算回数は 1024 回とした。

誘導波形は、シグナルプロセッサ（三栄-7S11）ならびに 7T08 より加算処理し、X-Y レコーダ（Watanabe X-Y Recorder）にて記録した。

増幅器の filter の passband は 80Hz~1200Hz とした。

誘導は、皿電極（Ag/AgCl）（日本光電製）を用い、頭頂（関電極）—右耳垂および左耳垂（不関電極）の双極誘導とした。

なお、実験目的により、頭頂（関電極）—外後頭隆起（Inion）（不関電極）、左耳垂（関電極）—右耳垂（不関電極）の誘導も併わせて施行した。接地電極はすべて前額部に置いた。

両耳刺激 ABR は、通常、右耳垂—頭頂（RL-V）誘

導を 1 チャンネルに、左耳垂—頭頂 (LL-V) 誘導を 2 チャンネルに導いた。

両耳刺激 ABR の解析のための比較検討には、左右各単耳刺激の合成(加算)波形を用いたが、この場合には、誘導は右耳垂—頭頂誘導に固定し、右刺激の ABR を 1 チャンネルに、左刺激の ABR を 2 チャンネルに誘導し、 1 ± 2 チャンネル回路により、加減処理して波形を解析した。両耳刺激により複雑になる各波の同定については、単耳刺激における各音圧下での I 波の潜時を予め測定して決めた。また、後行音の I 波の潜時については、これに遅延時間を加えたものと一致していることで確認した。

Ⅲ 実験結果

(1) 単耳刺激と両耳刺激の ABR の比較

左右両耳より同時刺激して得られる ABR と、単耳刺激(右刺激)により得られる ABR を、同一音圧で、ともに右耳垂—頭頂で誘導し、両者を比較すると、両耳刺激 ABR は単耳刺激のそれと比べ、波形全体が鮮鋭化するとともに、特に V 波は著しく増大し、その振幅は単耳刺激のほぼ 2 倍となる。

一方、潜時については、各波形とも、両者間に有意差は認めなかった。

図 2 に、50dB SL にて刺激したときの両者の ABR を示した。

(2) 両耳刺激 ABR の成立機序について

そこで、両耳刺激による ABR の各成分の成立過程をみる目的で、つぎの実験を行った。(図 3)

図 3 の(I)は、右単耳刺激に対する、右耳垂—頭頂誘導。(II)は、反対側の左刺激に対する右耳垂—頭頂誘導。(III)は、上記 2 誘導の波形を算術的に加算し、合成処理したもの。(IV)は、両耳同時刺激したもの、やはり、右耳垂—頭頂誘導。(V)は、(III)の、合成処理波形と(IV)の両耳刺激 ABR を重ね合わせて比較したものである。図の如く、両者はほぼ一致することがわかる。

(3) 誘導部位による ABR の波形の変化について

いま、猪ら (1978)¹⁹⁾²⁰⁾ の方法を用いて、前額面で、V (頭頂)、RL (右耳垂)、LL (左耳垂) の正三角形の模型を設定し、心電図における Einthoven の三角形模型と同様に考えて RL-V、LL-V、RL-LL の 3 誘導で、ABR を、単耳および両耳で記録すると、図 4 に示す波形を得ることができる。

まず、Wave I (I 波) は、右刺激による RL-V 誘導

図 2 両耳刺激と単耳刺激の比較

図 3 両耳刺激による ABR の成立機序

(同側誘導)においても RL-LL 誘導においても positive peak として認められるが、左刺激(反対側刺激)においては、はっきりした peak を認めない。(図 4 の I および II)

また、RL-V と RL-LL 誘導を比較すると、RL-V 誘導における振幅の方が大きく(図 4-I)、一方、左刺激(反対側刺激)における RL-LL 誘導において negative peak をとる。(図 4-II)

以上より、I 波は、基本的には頭頂に向かうベクトル

図4 左上段(I)は右耳刺激, 中段(II)は左耳刺激, 下段(III)は両耳刺激。誘導はいずれも RL-V, RL-LL 誘導である。(III)は(I)(II)を加算したものに一致する。右は両誘導による波形の変化から ABR の起電力ベクトルを推定したものである。

であるが, LL-V 誘導にはほぼ直交する。しかし, RL-V と RL-LL 誘導における振幅差を考慮すると, 両誘導に対して等角度というよりも, やや RL-V 誘導軸に傾いていると解釈することができる。

以下, 同様に考えると, II 波, III 波は, さらに上方に傾き, V 波になると, 誘導軸と平行する程度, ないし, RL-V 誘導における左刺激と右刺激の V 波の振幅が, ほぼ同等になる事実から, 両軸に対し等角度となるまで上行するベクトルとなる。

これをシェーマで示すと, 図4のモデルの矢印で示したようになる。ただし, これは前額面における二次元での解析であり, 三次元的解析は無視していることを付記する。

したがって, 両耳刺激した場合の ABR は RL-V ないし, LL-V の誘導においては, 各波形のほとんどが, 振幅の増大としてみられるのに対し, RL-LL 誘導においては, 各成分のベクトルが相殺されて水平となり, 結果的に波形は認められなくなる。(図4-III)

(4) 時間差と音圧差のある両耳刺激に対する ABR について

以下の3条件のもとで, 実験を行った。

① $\Delta T=0$ の条件のもとで, ΔI を parameter とする。

② $\Delta I=0$ の条件のもとで, ΔT を parameter とする。

③ $\Delta T, \Delta I$ をともに parameter とする。

①は, 両耳間の刺激音圧のみを変化させて記録した ABR である。図5は, 右耳に 65dB SL, 左耳に 40dB SL にて音刺激したときの ABR の記録で, 1 ch. に RL-V を誘導。2 ch. に LL-V を誘導した。各誘導の I, II 波は刺激音圧の相違により, それぞれ振幅と潜時を異にするが, III 波以降については, 所見を異にする。まず III 波は, 振幅差は認めるものの, peak 潜時は, ほぼ同等となり, V 波については, 振幅, 潜時ともに同等となる。

②は, 両耳の刺激音圧は等しい状態にしておき, 時間差のみを変化させたときの ABR である。図6は 50dB SL の矩形波を両耳より刺激, その際, 遅延回路により, 左耳に対する音刺激を 1.0msec 遅らせたものである。1 ch., 2 ch. の記録は①と全く同様である。

図のごとく, 2 ch. に誘導された後行音の III 波は, 1 ch. に誘導された先行音の III 波から V 波への移行部にも

図 5 両耳刺激において、左右の刺激音圧を変化させたときの ABR. Ⅲ, V 波は両誘導 (RL-V, LL-V) に記録されるため、両波とも一致する傾向を認める。

図 6 両耳刺激において、両耳間に時間差を与えて刺激したときの ABR. (刺激音圧は等しい状態)
後行音の Ⅲ波 (LL-V 誘導) に相当する部位より、両誘導の波形が一致する傾向を認める。

記録され、一方、先行音の V 波は、反対に、2 ch. に誘導された後行音の Ⅲ波から V 波への移行部にも記録される。更に、同様にして後者音の V 波も再び、先行音の 1 ch. の誘導軸に記録される。

換言すれば、左、右耳より生ずる各波は、後行音で誘発された Ⅲ波以降より、相互に影響を及ぼし合い、結果的に、同波以降で、両者はほぼ一致した波形となる。

③は、更に条件を複雑にし、両耳間に、時間差と音圧差 (強度差) をもうけて刺激したときの ABR である。

図 7 は、右耳に先行音 45dB SL, 左耳に後行音 60dB SL, 両耳間の時間差が、1.7msec の条件下 ($\Delta I=15\text{dB}$, $\Delta T=1.7\text{msec}$) で音刺激したときの ABR の記録である。全く同様に、後行音の Ⅲ波に相当する部位より、両

図 7 Time vs Intensity trade による両耳聴 ABR

両耳刺激において、時間差と音圧差を与えて刺激したときの ABR. 図 6 と同様後行音の Ⅲ波 (LL-V) 以降で波形が一致する傾向がみられる。

図 8

誘導の ABR は融合し、両者はほぼ一致する。

以上に共通する所見は、I 波, II 波は、独立事象として、刺激側誘導においてのみ別個に記録できるが、Ⅲ波, V 波は、I 波, II 波と異なり、反対側の誘導においても記録しうること、あるいは、同波は、両誘導に影響を及ぼすことである。この現象は、単耳刺激の場合の図 3-II において、すでにみられた。

いま、図 8 のごとく、50dB SL にて右刺激した ABR を 1 ch. には同側の RL-V で誘導し、2 ch. には、反対側の LL-V で誘導する。そして、1 ch.—2 ch. の減算回路により、1 ch. の波形から 2 ch. の波形を減算すると、同図の最下段の波形を得ることができる。この減算波形は、I, II 波は認めるが、Ⅲ波以降ははっきりし

図 9 両耳刺激による ABR の成立機序
— 両耳間に時間差を与えたとき —
($\Delta T = 1.7 \text{ msec}$, RL-V で誘導)

た peak を認めない。つまり、Ⅲ波以降の波形は、反対側誘導に記録されることを証明するものである。

Ⅲ波以降の波形の融合が、このような起電力ベクトル

を反映した物理的条件によるものだけでなく、生物学的現象によるものも含まれる可能性も考え、図9のごとく両耳間に時間差を与えて刺激したときの ABR を、各単耳刺激したときの ABR の合成波形と比較してみたが、図3で示した $\Delta T = 0$ のときの実験と同様、両波形はほぼ一致し、いわゆる binaural interaction (BI) は、やはり証明することはできなかった。更に条件を複雑にし ΔT , ΔI をともに parameter として記録した ABR においても、BI は認められなかった。

(5) 心理学的な両耳聴現象と ABR

本項では、反対に、両耳聴による心理学的現象から ABR の波形を検討した。

レシーバにより、同一音源を音源を両耳聴取すると、音像は、左右耳に聞かせる音の強度差と時間差により、頭の中央から左右いずれかに偏倚する(音像定位)。また、両耳間の時間差を延長することによって、成立していた音像が両耳に分離する。さらに、これらの強度差と時間差は、互に補償し合うものであり、これを Time vs Intensity trade という。

両耳に音刺激を与えることによって生ずる音像の定位と分離という両耳聴現象が、ABR 上でどのように表出されるかは、脳幹聴覚路の解剖や機能を理解する上で興味深く、また、ABR の各波の origin を推定する一助になるとと思われる。そこで、前述の Time vs Intensity

図 10

図 11 心理的な音像分離現象における ABR

trade により、任意に音像を、正中、右、左に変化させ、各々の ABR を記録した。

図 10 は、 $\Delta T = 1.7 \text{ msec}$ の条件のもとで ΔI を変化させ、上段より、左偏倚時、音像中央成立時、右偏倚時の順に記録した ABR を示したものである。

ここでは、すべて、右耳に先行音を与え、1 ch. には RL-V 誘導を、2 ch. には、LL-V 誘導の ABR を記録した。

(I) は右耳に 40dB SL、左耳に 65dB SL ($\Delta I = 25 \text{ dB}$) にて音刺激したとき—右耳の先行音を小さく、逆に、左耳の後行音の音圧を大きくして、音像が左に偏倚しているときの ABR。

(II) は右耳に 50dB SL、左耳に 65dB SL、($\Delta I = 15 \text{ dB}$) にて音刺激したとき—Time vs Intensity trade により、音像が正中に成立しているときの ABR。

(III) は、右耳に 60dB SL、左耳に 50dB SL ($\Delta I = 10 \text{ dB}$) にて音刺激したとき—(I)とは反対に、先行音の音圧を大きくすることによって、音像が右に偏倚しているときの ABR である。図の右側に、これらの両誘導の ABR をシェーマで示した。

ところで、両耳間の刺激音の時間差を延長すると、音像が分離することは、前記したとおりで、筆者の心理実験では、両耳同音圧の矩形波で刺激したときの音像の分離は、 $\Delta T = 4.0 \text{ msec}$ 前後で生じ始める。

この条件下の ABR は、図 11 のごとく、両誘導のⅢ波-V波が各々時間軸で重複せず、独立して認められる所見を得た。

翻って、音像が成立するための条件を、ABR の波形上で評価すると、後行音のⅢ波の潜時が、先行音のV波の潜時を越えない範囲の ΔT が、音像成立のための必要条件と考えられ、また、方向感(音像偏倚)は、上記の条件を満たした上で、かつ、融合して、同一波形となった“Ⅲ波-V波 complex”の傾きの変化としてとらえることができる。

つまり、後行音のⅢ波と先行音のV波の融合波の振幅が、後行音のV波の振幅と同等であれば、音像は正中に定出し、同等でなければ、左右どちらかに偏倚する。この場合、前者が後者より大きければ、先行音側に偏倚し、小さければ、後行音側に偏倚する。

いま、 ΔT を一定にした状態 ($\Delta T = 1.7 \text{ msec}$) で、 ΔI を parameter とし、左右の偏倚度を増加してゆく。そして、各々について、ABR のⅢ-V波 complex の起始部を基準として、前方の peak と、後方の peak を、前方の peak に対する後方の peak の相対比で比較すると、右偏倚については、 $\Delta I = 0 \text{ dB} : 0.84$, $\Delta I = 5 \text{ dB} : 0.65$, $\Delta I = 10 \text{ dB} : 0.63$ と変化し、左偏倚については、 $\Delta I = 20 \text{ dB} : 1.21$, $\Delta I = 25 \text{ dB} : 1.30$, $\Delta I = 30 \text{ dB} : 1.41$ と変化する。すなわち、右偏倚では、 ΔI の増加により、

比率は漸減し、左偏倚では、反対に漸増する。

これより、心理学的な偏倚の程度は、Ⅲ-V波 complex の振幅差（傾斜角度）の大小として表出されることがわかる。

Ⅳ 考 按

(1) 単耳刺激と両耳刺激の ABR について

実験結果の(1)で示したように、両耳刺激による ABR は、単耳刺激に比べ、V波の振幅が著しく増大する。

同様の所見は、Blegvad (1975)²¹⁾、Møller ら (1976)²²⁾、Van Olphen ら (1978)²³⁾ も指摘しているが、Blegvad は V波-VII波において特に著明であると述べ、また、Skinner ら (1972)²⁴⁾ は聴性中間反応 (MLR) において、単耳刺激と両耳刺激を比較し、同波の振幅増大を認めている。

この二人は、ともに両耳刺激による振幅増加を増加率については見解を異にするが、心理的な両耳聴効果（両耳加算効果）(binaural summation)一域値において 3dB の低下と loudness において 6dB の増強—と関係づけて検討している。著者の成績（図 2）では、V波の振幅は、約 2 倍となったが、いずれにせよ両耳聴効果と関連するものと考えたい。

次に、単耳刺激における 同側誘導と、反対側誘導の ABR について検討してみる。

Prasher ら (1980)²⁵⁾ は、同側耳刺激と反対側耳刺激における ABR の潜時を比較し、

① V波については、反対側刺激の潜時が、同側刺激のそれより、有意の差をもって大きいこと。

② Ⅲ波については、逆に反対側刺激の潜時が、同側刺激のそれより短くなる。

と述べ、このような潜時の有意差を生物学的解剖学的現象によるものとしてとらえ、脳幹聴覚路における laterality について言及している。著者の実験結果でも、V波の潜時は、同側：5.90±0.06msec、反対側：6.01±0.07msec で、反対側の潜時が、同側のそれに比し 0.1 msec の延長を示す。（ $p<0.05$ ）

Prascher らは、この有意な潜時延長をもって、ABR の発火の origin の laterality — すなわち、同側（非交叉）の神経核群由来のものか、反対側（交叉後）の神経核群由来のものか、を推定できているとしている。

しかしながら、ABR の各波の origin の laterality を証明するには、究極のところ、破壊実験が必要と思われる、このような方法のみから結論することは早計と思わ

れる。

単耳刺激、反対側刺激および、両耳刺激の ABR を比較することによって掌握できることは、各波形を構成する起電力の大きさと方向（ベクトル）であり、そして、これらの所見と、聴覚路の解剖学的走向を照合することにより、laterality はともかくとして、各波の origin をある程度推定することは可能である。すでに、動物実験において証明されているように、I 波は聴神経に由来するものであろうし、Ⅲ波-V波は脳幹聴覚路に由来するものと考えてさしつかえないであろう。

(2) Binaural Interaction について

(a) 電気生理学的研究の回顧

両耳刺激において生ずる、両耳相互作用、いわゆる、Binaural Interaction（以下 BI と略す）は、脳幹聴覚路のあらゆる部位で生ずることが、多くの生理学的実験により証明されている。BI に関する電気生理学的研究の過去の文献を回顧すると、BI が、① 下丘で認められるとするもの、② 外側毛体で認められるとするもの、③ 上オリブ核で認められるとするもの、④ 蝸牛神経核で認められるとするもの、と大別することができる。

① の下丘での実験では、Rosenzweig ら (1955)²⁶⁾、Frulker (1959)²⁷⁾、Hind (1963)²⁸⁾、Lehman ら (1972)²⁹⁾ が、②の外側毛体の実験では、Rosenzweig ら (1958)³⁰⁾、Brugge (1970)³¹⁾ らが、③の上オリブ核の実験では、Galambos ら (1959)³²⁾、Moushegian ら (1964)³³⁾、Hall ら (1970)³⁴⁾ が、④の蝸牛神経核の実験では、Mast ら (1970)³⁵⁾ が、業績を残している。

これらはすべて、主としてネコやウサギを用いた動物実験で、深部電極法による聴神経の単一ニューロンの応答を解析したものである。

ところで、脳幹聴覚路を解剖学的にみた場合、最も興味深いのは、左右両耳からの聴神経が、最初に会合する上オリブ核で、同部における両耳相互作用は、特に注目されてきた。

例えば、この上オリブ核についての、Hall ら³⁴⁾の研究は、Békésy (1960)³⁶⁾、Bergeijk ら (1962)³⁷⁾ の Binaural Interaction のモデルに基づいた実験であり、クリック音を与えたときの、ネコの副核ニューロンの応答を解析し、両耳の時間差、強度差によって、相互に trade するニューロン (Time vs Intensity trading cells) を証明している。

これは、かつて Békésy が仮定した、反対側刺激で興奮し、同側の刺激では抑制を受けるもので、両耳間の

ΔI と ΔT に対して、ともに sensitive な反応をもつ細胞群と考えられる。彼は、他にも、これとは全く反対の同側の刺激で興奮し、反対側の刺激で抑制される細胞群や、両耳刺激によって、単耳刺激以上に興奮する細胞群も証明している。

以上の実験結果は、多少の見解は異にしても、Galambos, Moushegian らと同様であり、また、Goldberg (1969)³⁸⁾ のイヌの実験による“binaural neuron (EE-neuron, EI-neuron)”や渡辺 (1970)³⁹⁾ が報告した“type I, type II の細胞群”とも同義のものと解釈される。

いずれも、上オリーブ核群における複雑な BI の存在を証明するものであるが、このような相互作用が、脳幹聴覚路のあらゆる部位に存在することが証明されている。

(b) ABR による BI の証明

翻って、両耳相互作用が、両耳刺激による ABR の far field potential の波形の変化としてとらえることができるかどうか、という問題は、極めて興味深い。

両耳刺激による ABR を、左右各々の単耳刺激による ABR の合成 (加算) 波形と比較する手法で、生物学的両耳相互作用を証明しようとする試みは、Huang, Bachwald ら (1978)⁴⁰⁾, Dobie ら (1979)⁴¹⁾, Gardi ら (1981)⁴²⁾ により、ネコやモルモットを用いた動物実験で行われ、いずれも BI が証明されている。

さらに、Dobie ら (1979)⁴³⁾, Hasford (1979)⁴⁴⁾, Arslan ら (1981)⁴⁵⁾, Ainslie ら (1980)⁴⁶⁾ は、ヒトにおいても同じ手法で BI を証明している。

上記の動物実験のうち、Dobie は、両耳間の刺激音の時間差 (ΔT) と強度差 (ΔI) を parameter として、BI の出現程度を調べ、BI は ΔT , ΔI ともに 0 のときが最も大きい。しかし、 ΔI については、40dB まで、 ΔT については、3 msec までの範囲までこれを認めとしている。

BI の指標には、潜時と振幅の両者を用いているが、振幅の変化の方が著明であり、振幅については、陽性波の振幅縮小をもって BI と定義している。

ヒトについても、同様に BI の存在を証明する報告がなされているが、動物実験における程の著明な BI は認めにくいようである。

前述の Dobie⁴³⁾ は、ヒトの場合、潜時 6msec の V 波の部位において、BI を認めると主張したが、これは、両耳刺激波形 (B trace) より、単耳刺激の合成 (加算)

Program No. 0, 931-127 (三栄) を使用

図 12

P trace: ipsilateral+contralateral の波形。

B trace: 両耳刺激したときの ABR。

D trace: B trace より P trace を減算したものの、ほぼ水平となり、B と P に差のないことを示す

波形 (P trace) を減算して得られる D trace (B-P) の基線上の“ふれ” (negative peak と positive peak) の存在をもって、BI を証明しようとしている。しかし、B trace と P trace は極めて近似しており、潜時、振幅ともに有意差は認めておらず、この点で説得力に乏しい印象を受ける。また、著者の追試では、D trace は平坦となり、基線上の有意な“ふれ”は証明できなかった。(図 12)

ところが、Hasford⁴⁴⁾ は、新生児を対象に行い、Dobie とは異なり、B trace の V 波における統計的に有意な振幅縮小を認めたと報告している。

一方、Arslan⁴⁵⁾ は、BI の存在は肯定しながらも、相互作用が生ずるのは、潜時 6msec 以降の VI 波～VII 波であり、また、両耳間の時間差が、0 msec～1.5 msec の間であるとし、そのうち BI が最も大きく認められるのは、 $\Delta T=1.5$ msec のときであると論じている。Ainslie も同様に、潜時 7～10 msec と 12～16 msec の間に BI

が生ずるとしながら、少なくともV波においては、相互作用は認めなかったとしている。

以上より、ヒトのABRにおけるBIについては、これを肯定する研究者がほとんどであるが、その潜時、振幅差の判定の問題については、いまだに統一した見解はとられていないように思われる。

筆者も、Dobieらと同様、両耳刺激によるABRを、左右各々の単耳刺激によるABRの加算波形と比較する方法で、BIを証明すべく試みたが、図3、図9のごとく、両者はほぼ一致し、予想したような生物学的相互作用は証明できなかった。

統計的有意差のある振幅縮小を認めて、BIの存在を主張したHasfordは、有意差を認めなかったDobieに対し、波形解析におけるfilterの条件に問題がある、と批判しているが、このような記録条件の差のみで、結果が異なるとは考えにくい。

麻酔下で行う動物実験と異なり、ヒトの場合は、熟睡時における記録においても、なお、体動による筋電図などのartifactの混入する確率が高い。例えば、実験施行中に1~2回の筋電図が混入するだけで、ABRはかなりの影響を受ける。そして、その場合のB traceとP traceはほとんど一致をみない。

可及的にartifactを除外した上で、両者の比較が必要とされるが、厳密な意味で、この条件を十分に満足せしめる波形を得ることはヒトの場合、至難である。

しかしながら、本論文中に掲載した各図は、同一条件下での判定を繰り返して施行し、可能なかぎりの好条件のもとで記録できたものであることを強調したい。

換言すれば、こうした条件下で、両者(B traceとP trace)の一致率が高い事実は、理想的条件下では、更に高い一致率を得ることができるものと解釈して差しつかえないであろう。したがって、動物実験における“BIの証明”は、極めて信頼性の高い事実として解釈される一方、ヒトの場合のBIの証明は難しい。

著者の行った実験結果からは、生物学的相互作用を、far field potentialとしてのABRの波形上で証明することはできず、少なくとも両者の波形の形態の差をもって、BIと定義するとすれば、BIは存在しないと結論せざるを得ない。

(3) 両耳聴現象とABR

両耳が同時に作動すると、単耳のみで音を聴取する場合と異なった特殊な働きを営むことができる。この現象は、一般に、両耳聴現象と称されるが、方向感はこの一

現象ということができる。

外界に存在する音は、両耳で聴取することにより、その位置を認知することができるが、このような自由音場での方向感(localization)とは別に、左右のレシーバより、同一音を刺激することにより、頭蓋内に音像を認知することが可能である。

後者のレシーバ法による方向感(lateralization)が、両耳刺激によるABR上に、どのように表出されるかをみることは、脳幹聴覚路の解剖、機能を識る上の一助になると思われる。

ところで、両耳聴現象が生ずるのは、左右耳より入力する刺激音が中枢内において、共通の伝導路をもつため、と考えられ、事実、前章で述べたように、電気生理学的には、上オリーブ核をはじめ、脳幹聴覚路の各部位でBIを生ずる細胞群が証明されている。

筆者のABRの実験では、両耳刺激による波形の振幅縮小という形でBIは証明できず、したがって、両耳間の刺激音の ΔT と ΔI を任意にtradeさせたときの、音像の偏倚の程度と、両耳刺激ABRのpatternの変化を検討するとどまった。

ちなみに、clickにおける、時間差音像弁別域値は、0.09msec ($n=18$ $\delta_{n-1}=0.06$)、音像分離のための最少域値は、4.15msec ($n=13$ $\delta_{n-1}=0.68$)であり、偏倚については、normal rangeを、0.08msec~0.15msecとしているZerlinら(1980)⁴⁷⁾の報告と、おおかた一致した。Time vs Intensity tradeにより、十分に音像が正中、右、左に偏倚にしている状態を任意に作り、各条件におけるABRを記録してみると、実験(5)(図10、図11)で示したように、両耳融合現象には、後行音のⅢ波が“先行音のV波の潜時を上わるか否か”という条件で関与し、方向感(音像定位)には、更に、“V波が先行音のV波および後行音のⅢ波の融合波のpeakと後行音のV波のpeakの振幅差”という形で関与するものと考えられる。

著者の行った実験結果からは、両耳刺激ABRの波形上での“Ⅲ-V波の融合”を物理的融合以上のものとして証明することはできなかったが、心理実験から、単なる物理的な融合ではなく、両耳聴現象の本態としてとらえることができたものと考えた。

ABRの波形の上でのBIは証明できなかったが、Ⅲ~V波には、生物学的相互作用が存在することが推定される、と結論した。

V 結 論

両耳刺激による ABR を単耳刺激による ABR, 反対側刺激による ABR, 各単耳刺激の ABR の合成波形と比較し, 誘導部位による各波の変化と, それによる起電力ベクトルの推定や, いわゆる Binaural Interaction の有無を検討した。一方, 心理学的両耳聴現象と, これに伴う波形の変化を比較し同現象に関与する波形の成分について検討した。

以上より, 次の結論を得た。

- 1) ABR の各成分は, 基本的には頭頂に向かうベクトルで, 後方の成分ほど, その起電力ベクトルは上方に向かう。これは解剖学的な聴覚経路にはほぼ一致する。これより, I 波は聴神経由来と考えられ, III 波—V 波は脳幹中継核由来と考えられる。
- 2) 両耳刺激 ABR は, 左右の音刺激により生ずる起電力ベクトルのスカラ量の代数和としてとらえられ, 各単耳刺激の合成波形と一致する。従って, 波形上での形態変化としての Binaural Interaction は証明できなかった。また, far field potential を用いての筆者の実験結果からは, BI の証明は困難である, という結論を得た。
- 3) 心理学的両耳聴現象と ABR の波形の変化の検討から, 両耳融合現象には主に III 波に関与し, 音像の偏倚ならびに分離現象にはさらに V 波の関与が必要であると考えられた。
- 4) 上記心理実験より, III 波以降は, 両側の神経支配を受ける脳幹中継核由来のものと考えられ, 恐らく, III 波は左右の聴神経が最初に会合する上オリブ核群, V 波はこれより中枢の神経核群—外側毛体, 下丘—に由来するものと推定される。

参 考 文 献

- 1) Jewett D L: Volume conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 25: 609, 1970.
- 2) Jewett D L: Human auditory evoked potentials; Possible brain stem components detected on the scalp. *Science* 167: 1517-1518, 1970.
- 3) Sohmer H et al: Cochlear and cortical audiometry. Conveniently recorded in the same subjects. *Israel J Med Sci* 6: 292-323, 1970.
- 4) Mitchell C et al: Audiograms derived from the brain stem response. *Laryngoscope* 87: 2016-2022, 1970.
- 5) 小寺一興 他: 聴性脳幹反応による会話域聴覚域値の測定 耳鼻臨床 70: 204-214, 1977.
- 6) Selters W A: Acoustic tumor detection with brain stem electric response audiometry. *Arch Otolaryngol* 103: 181-187, 1977.
- 7) Terkildsen K et al: Auditory brain stem response in the diagnosis of cerebellopontine angle tumors. *Scand Audiol* 6: 43-47, 1977.
- 8) Thomsen J et al: Auditory brain stem response in patient with acoustic neuromas. *Scand Audiol* 7: 179-183, 1978.
- 9) Kinney S E et al: Brain stem auditory evoked potentials for detection of retrocochlear pathology. *Ann Otolaryngol* 89: 291-295, 1980.
- 10) 加賀君孝 他: 聴性脳幹反応 (Auditory Brain Stem Response — BSR) の脳幹障害例への診断学的応用 脳と神経 29: 791-801, 1977.
- 11) 細川 智: 中枢神経系疾患の聴性脳幹反応について 日耳鼻 82: 12-26, 1979.
- 12) 柏木譲治 他: 脳幹障害と BSR *Audiology Japan* 22: 41-50, 1979.
- 13) 六郷正曉 他: 小脳橋角部腫瘍における聴性脳幹反応の検討 耳鼻臨床 73: 1159-1168, 1980.
- 14) 橋本 勲 他: 聴性脳幹反応による脳幹障害の局在診断 臨床脳波 22: 42-52, 1980.
- 15) 細谷 睦 伊藤真郎 他: 頭蓋内疾患に対する ABR の臨床応用 耳鼻臨床 74: 1715-1725, 1981.
- 16) Bachwald J S et al: Far field acoustic response: Origins in the cat. *Science* 189: 382-384, 1975.
- 17) 安藤一郎: BSR の実験的研究 (下丘破壊による BSR の変化) *Audiology Japan* 20: 210-220, 1977.
- 18) 黄 正隆: 上オリブ核破壊による BSR の変化 *Audiology Japan* 21: 645-652, 1978.
- 19) 猪 忠彦 他: 聴性脳幹反応の空間的ベクトル解析 日耳鼻 81: 812-819, 1978.
- 20) 溝井一敏 猪 忠彦: 脳誘発電位のベクトルの解析 — Simulation による基礎的研究 — 日耳鼻 81: 131-140, 1978.
- 21) Blegvad B: Binaural summation of surface-recorded electrocochleographic responses: normal

- hearing subjects. *Scand Audiol* 4: 233-238. 1975.
- 22) Møller K et al: Brain stem responses in patients with sensorineural hearing loss. *Scand Audiol* 5: 115-127, 1976.
- 23) Van Olphen A F et al: Distribution of brain stem responses to acoustic stimuli over the human scalp. *Audiology* 17: 511-518, 1978.
- 24) Skinner P et al: Binaural stimulation and early components of the auditory electroencephalic response. *J Audit Res* 12: 32-35, 1972.
- 25) Prasher D K et al: Brain stem auditory evoked potentials: significant latency differences between ipsilateral and contralateral stimulation. *Electroenceph clin Neurophysiol* 50: 240-246, 1980.
- 26) Rosenzweig M R et al: Binaural interaction at the inferior colliculi. *J comp physiol Psychol* 48: 426-431, 1955.
- 27) Frulker S C: The responses of single unit of the inferior colliculus of the cat to acoustic stimuli. *Proc roy Soc B* 150: 336-355, 1959.
- 28) Hind J E et al: Some discharge characteristics of single neurons in the inferior colliculus of the cat. II. Timing of the discharges and observations of binaural stimuli. *J Neurophysiol* 26: 321-341, 1963.
- 29) Lehman A L: Responses of inferior colliculus neurons to free field auditory stimuli. *Exp. Neurol* 35: 431-449, 1972.
- 30) Rosenzweig M R et al: Binaural interaction in lateral lemniscus of cat. *J Neurophysiol* 21: 17-23, 1958.
- 31) Brugge J E et al: Response of neurons in the dorsal nucleus of the lateral lemniscus of cat to binaural tonal stimulation. *J Neurophysiol* 32: 613-636, 1969.
- 32) Galambos R et al: Microelectrode study of the superior olivary nuclei. *Amer J Physiol* 197: 527-536, 1959.
- 33) Mouchegian G et al: Medial superior-olivary-unit response patterns to monaural and binaural clicks. *J Acoust Soc Am* 36: 196-202, 1964.
- 34) Hall J L: Binaural interaction in the accessory superior-olivary nucleus of the cat. *J Acoust Soc Am* 37: 814-822, 1965.
- 35) Mast T E: Binaural interaction and contralateral inhibition in dorsal cochlear nucleus of the chinchilla. *J Neurophysiol* 33: 108-117, 1970.
- 36) Békésy G V: *Experiments in Hearing* (McGraw-Hill Book Co, Inc, New York, 1960), pp. 272-301.
- 37) Bergeijk W A V: Variation of the theme of Békésy: A model of binaural interaction. *J Acoust Soc Am* 34: 1431-1437, 1962.
- 38) Goldberg J M et al: Responses of binaural neurons of dog superior olivary complex to dichotic tonal stimuli: Some physiological mechanisms of sound localization. *J Neurophysiol* 32: 613-636, 1969.
- 39) 渡辺 武: 方向感覚 (基礎), *生体の科学* 21: 372-383, 1970.
- 40) Huang C M et al: Factors that affect the amplitudes and latencies of the vertex short latency acoustic responses in the cat. *Electroenceph clin Neurophysiol* 44: 179-186, 1978.
- 41) Dobie R A et al: Binaural interaction in brain stem-evoked responses. *Arch Otolaryngol* 105: 391-398, 1979.
- 42) Gardi J N et al: Binaural interaction components their possible origins in guinea pig ABR. *Arch Otolaryngol* 107: 164-168, 1981.
- 43) Dobie R A et al: Binaural interaction in human auditory evoked potentials. *Electroenceph clin Neurophysiol* 49: 303-313, 1980.
- 44) Hasford H L: Binaural interactions in the short-latency evoked potentials of neonatus. *Audiology* 20: 394-408, 1981.
- 45) Arslan E et al: The auditory brainstem response to binaural delayed stimuli in man. *Scand Audiology* 10: 151-155, 1981.
- 46) Ainslie P J et al: Comparison of brain stem auditory evoked potentials for monaural and binaural stimuli. *Electroenceph clin Neurophysiol* 49: 291-302, 1980.
- 47) Zerlin S et al: Click lateralization and the

auditory brain stem response. Audiology 19: 346-356, 1980.

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました東京医科大学耳鼻咽喉科学教室、竹田千里教授に深謝いたします

また、直接の御指導を戴きました東京警察病院耳鼻咽喉科、佐藤恒正博士に甚大なる謝意を表します。更に、本研究に協力していただいた鈴木秀明、細谷睦の各教室員、ならびに、測定装置について御助力いただいた

リオンKK、阿波野安幸氏、三栄測器KK、白沢厚氏に感謝致します。

本研究の要旨は、第25回、日本オーディオロジー学会総会（1980）、第82回日本耳鼻咽喉科学会総会（1981）において口演した。

（原稿受付 昭和 57. 6. 19日）

別刷請求先 〒160 東京都新宿区西新宿 6-7-1

東京医科大学耳鼻咽喉科学教室 伊藤真郎