臨 床

BSR, FFR による中, 低音域聴覚域値の測定

山田 修・小寺 一興・山根 仁

Audiological Assessment of Middle and Low Frequency
Thresholds by Brain Stem and Frequency Following Responses

Osamu Yamada, Kazuoki Kodera and Hitoshi Yamane

(Teikyo Univ.)

The frequency specificity of the brain stem response (BSR) and the frequency-following response (FFR) evoked by 500 Hz tone bursts were studied in 20 cases of flat, high-frequency and low-frequency hearing losses.

In nine cases of flat sensorineural hearing loss, both the thresholds of the BSR and the FFR corresponded well to pure tone audiometric thresholds. In cases of both high- (five cases) and low-frequency (six cases) sensorineural hearing losses, the threshold of the 500 Hz FFR corresponded well to the pure tone audiometric thresholds at 500 Hz. At the same time, the thresholds of the 500 Hz BSR corresponded well to the pure tone audiometric thresholds at 500 Hz and 1,000 Hz.

Thus, our conclusion was that the FFR evoked by 500 Hz tone bursts was applicable in the objective assessment of the hearing threshold at 500 Hz. At the same time, the BSR evoked by 500 Hz tone bursts was also applicable in the hearing thresholds at 500 Hz and 1,000 Hz.

は じ め に

脳幹に起源をもつ聴性誘発電位には、聴性脳幹反応 (auditory-evoked brain stem response, BSR) と周波数対応反応 (frequency-following response, FFR) とがある。BSR は、音の開始時の transient (立ち上り部分) によって誘発される反応である¹⁾。一方、FFR は、音の持続部分によって誘発される反応である²⁾。このように、反応の誘発に関与する音の部分が異なることは、その周波数特異性にも相違があると考えられる。刺激音に位相一定のトーンバーストを用いると、正常聴力者、難聴症例の両者において、BSR と FFR は同時記録できた³⁾。とくに、高音障害型難聴症例において、BSR と FFR が記録できたことは、両反応による低音域聴覚域値測定の可能性をしめしている³⁾。

今回の検討の目的は、同時記録された BSR と FFR による聴覚域値の測定である。そのために、まず、平坦なオーディオグラムをもつ感音難聴症例において、BSR, FFR 両者の反応域値と純音域

値との関係を検討した。次いで、高音障害型感音難聴症例および低音障害型感音難聴症例において、BSR と FFR の周波数特異性について検討した。

対 象 と 方 法

感音難聴症例20例（13才～50才）を対象とした。純音聴力検査によって、難聴症例を平坦型感音難聴症例、高音障害型感音難聴症例、低音障害型感音難聴症例の3群に分けた。平坦型感音難聴症例は、250 Hz から4000 Hz までの純音域値の域値差が 10 dB 以内の感音難聴 9 例である。高音障害型感音難聴症例は、500 Hz の純音域値が中等度に上昇し、さらに 4000 Hz の純音域値が 250 Hz の純音域値より 30 dB 以上上昇している感音難聴 5 例である。低音障害型感音難聴症例は、250 Hz の純音域値が 4000 Hz の純音域値より 30 dB 以上上昇している感音難聴 6 例である。

検査は、ペントバルビタール・カルシウム50～100mg 内服後、電氣的にシールドした防音室内で睡眠中におこなった。電極は、脳波用皿電極を使用し、前額部（毛髪のはえぎわ）と両側乳突部皮膚上におき、双極誘導とした。前額部電極を陽極に、検査側乳突部電極を陰極に導き、非検査側乳突部電極を接地した。

反応は、防音室内の電極箱を経て、生体電気

用プリアンプ（日本光電 RB-5, band pass : 100 Hz～1000 Hz）に導いた。プリアンプを通った反応は、反応加算解析装置（日本光電 AT AC-201）に導き、2000 回加算した。加算した反応は、解析時間 50 msec で一度ブラウン管上に描出したのち、X-Y レコーダにて記録した。記録は、乳突部陰性（前額部陽性）の電位を上向きの振れとしてあらわした。加算中の脳波は、オシロスコープでモニターし、体動などによる雑音の混入を防止した。

刺激音は、音響刺激装置（Dana Japan DA-502 A）によって発生し、毎秒10回の頻度で、2 cc 補聴器用電磁イヤホン（Dana Vox SM-N）を駆動し、長さ 1 m の音響チューブを通して被検耳に与えた、なお、補聴器用電磁イヤホンは十分にシールドし、防音室の外においた刺激音には、持続 30 msec のゼロクロッシングで急峻に開始、終了する位相一定の 500 Hz トーンバーストを用いた。刺激音強度は、正常聴力者20例（20才～30才）の自覚域値の平均を 0 dB と規定した。

結 果

1. 平坦型感音難聴症例

図1-左は、平坦なオーディオグラムをもつ感音難聴症例の BSR, FFR 同時記録である。はじまりにみられる乳突部陰性の電位変動は、BSR である。BSR にひきつづいて出現している刺激音の周波数に一致した反応は、FFR である。BSR, FFR の反応域値はともに 35 dB であり、純音域値と近似していた。対象とした平坦型感音難聴症例 9 例において、BSR 域値は 500 Hz 純音域値と ± 10 dB で一致し（図1-右-下段. ○），FFR 域値は 500 Hz 純音域値と 0～+10 dB で一致した（図1-右-下段. ■）。

2. 高音障害型感音難聴症例

図2-左は、高音障害型感音難聴症例（500 Hz の純音域値は 50 dB であるが、1000 Hz 以上の周波数の純音域値は高度に上昇）の BSR, FFR 同時記録である。BSR, FFR の反応域値はともに 50 dB であり、500 Hz 純音域値と一致していた。対象とした高音障害型感音難聴 5 例の BSR 域値（図2-右, ○）と FFR 域値（図2-左, ■）の両者は、500 Hz 純音域値と 0～+10 dB で一致した。

3. 低音障害型感音難聴症例

図3-左は、低音障害型感音難聴症例（500 Hz の純音域値は 50 dB, 1000 Hz の純音域

図1. 平坦なオーディオグラムをもつ感音難聴症例の BSR, FFR 同時記録. 上段の実線は被検耳に刺激音が到達してからの刺激音の持続時間を, 下段は 500 Hz, 0.25 μ V の校正信号をしめす (左) (以下, 図3まで同様). 平坦型感音難聴9例における BSR 域値 (○), FFR 域値 (■) と純音域値との比較 (右一下段).

値は 30 dB, 2000 Hz の純音域値は 5 dB, 4000 Hz, 8000 Hz の純音域値は 10 dB) の BSR, FFR 同時記録である. FFR の反応域値は 50 dB であり, 500 Hz 純音域値と一致していた. BSR の反応域値は 30 dB であり, 1000 Hz 純音域値と一致していた. 対象とした

低音障害型感音難聴症例 6 例中 4 例において, BSR 域値は 1000 Hz 純音域値と一致した (図3-右, ○). FFR 域値は, 全例において 500 Hz 純音域値と 0 ~ +10 dB で一致した (図3-右, ■).

考 察

他覚的聴力検査として信頼性のたかい聴性脳幹反応 (BSR) は, 高音域聴力 (2 kHz 以上) の検出⁴⁾⁵⁾, 会話域聴覚域値の測定⁶⁾⁷⁾ に有用な方法である. 周波数対応反応 (FFR) は, 刺激音の周波数に一致した反応波形をもつ, 脳幹由来の聴性誘発反応である⁸⁾. おもに低周波数の刺激音によって明瞭な反応波形がえられる FFR は, 低音域の聴力測定に適した他覚的方法と考えられる.

今回の検討の目的は, 同時記録された BSR と FFR のそれぞれの反応域値が, どの周波数の純音域値と関係が深いかを検討することであ

った. そのために, まず, 平坦なオーディオグラムをもつ感音難聴症例において, BSR, FFR 両者の反応域値と純音域値との関係を検討した. 次いで, 高音障害型感音難聴症例および低音障害型感音難聴症例において, BSR, FFR の周波数特異性について検討した.

同時記録された BSR と FFR のうち, BSR は, 音の開始時の transient (立ち上り部分) によって誘発された反応である. 正常聴力者の BSR 域値は, 10~20 dB である⁹⁾. 平坦なオーディオグラムをもつ感音難聴症例の BSR 域値は, 純音域値と ± 10 dB で一致した (図1).

図2. 高音障害型感音難聴症例の BSR, FFR 同時記録 (左). 高音障害型感音難聴 5 例の BSR 域値 (○), FFR 域値 (■) と純音域値との比較 (右).

高音障害型感音難聴症例での BSR 域値が純音域値と ± 10 dB で一致している周波数は 500 Hz であり (図2), 低音障害型感音難聴症例では 1000 Hz であった (図3). 以上の結果より, 同時記録された BSR と FFR のうち, BSR は, 500 Hz から 1000 Hz にわたる比較的広い周波数帯域の聴力によって誘発される反応と考えられる. なお, この結果は, 500 Hz 正弦波 1.5 周期のクリックによる BSR 域値は, 500Hz から 4000Hz までの周波数の最良の純音域値によって決定されるという報告⁹⁾ と

異なる. 両者の相違は, 今回使用したイヤホンと音響チューブの周波数特性と, ダイナミックレシーバの周波数特性とが異なることに起因すると考えられる.

FFR は音の持続部分によって誘発される反応であり²⁾, 音の開始時の transient (立ち上がり部分) によって誘発される BSR¹⁾ とは異なる. このように, 反応の誘発に関与する音の部分が異なることは, その周波数特異性にも相違があると考えられる. FFR の周波数特異性を検討するために, まず, 平坦なオーディオグラム

図3. 低音障害型感音難聴症例の BSR, FFR 同時記録 (左). 低音障害型感音難聴 6 例の BSR 域値 (○), FFR 域値 (■) と純音域値との比較 (右).

をもつ感音難聴症例において, FFR 域値と純音域値との関係を検討した. 平坦なオーゾグラムをもつ感音難聴症例での FFR 域値は, 純音域値と $0 \sim +10$ dB で一致していた (図1). この FFR 域値と純音域値との関係にもとづいて, 高音障害型および低音障害型感音難聴症例において, FFR の周波数特異性について検討した.

FFR の蝸牛の起源についての報告は, 正常聴力者⁵⁾と難聴症例³⁾¹⁰⁾とで, それぞれおこなわれた. Davis⁵⁾は, 正常聴力者での検討から 500 Hz の刺激音によって誘発される FFR は蝸牛の基底回転に起源をもつ反応であると報告した. その理由として, 正常聴力者の FFR 域値が比較的高いこと, 神経の同期性興奮は頂回

転よりも基底回転の方がおこりやすいことをあげている⁵⁾. 一方, 高音障害型難聴症例 (低音域の純音域値は正常) において, 500 Hz の刺激音による FFR は記録でき, FFR 域値は正常聴力者の FFR 域値と近似していた³⁾¹⁰⁾. さらに, 本検討における高音障害型感音難聴症例 (低音域の純音域値も中等度に上昇) においても, 500 Hz FFR 域値が純音域値と $0 \sim +10$ dB で一致する周波数は, 500 Hz であった (図2). これら高音障害型感音難聴症例で記録された FFR は, 蝸牛の頂回転寄りに起源をもつ反応と考えられる. これは, FFR の蝸牛の起源が基底回転にあるという先きの報告⁵⁾と矛盾している.

FFR の蝸牛の起源についての矛盾した報告

について結論をだすためには、低音障害型感音難聴症例での検討が必要である。なぜならば、低音障害型感音難聴症例では、通常、蝸牛の中回転ないし頂回転は障害を受けているが、蝸牛の基底回転は障害を受けていないか、障害を受けていても軽微であると考えられるからである。もし、500 Hz FFR の蝸牛の起源が基底回転にあるならば、低音障害型感音難聴症例においてえられる FFR 域値は、正常聴力者の FFR 域値 (30~40 dB)³⁾ に近似するか、あるいは高音域の純音域値が 30~40 dB 以上に上昇している場合には、高音域の純音域値と 0~+10 dB で一致するはずである。一方、もし、500 Hz FFR の蝸牛の起源が 500 Hz に対応する cochlear partition (頂回転) にあるならば、低音障害型感音難聴症例においてえられる FFR 域値は、500 Hz 純音域値と 0~+10 dB で一致するはずである。

低音障害型感音難聴症例における検討では、500 Hz FFR 域値が純音域値と 0~+10 dB で一致する周波数は、500 Hz であった。しかも 500 Hz 純音域値および 500 Hz FFR 域値の両者ともに 40 dB であった1例をのぞく全例

において、500 Hz FFR 域値は、正常聴力者の FFR 域値 (30~40 dB) よりも上昇していた (図3)。それゆえ、500 Hz の刺激音によって誘発される FFR の周波数特異性は、500 Hz に存在すると結論できる。

以上、高音障害型感音難聴症例および低音障害型感音難聴症例における検討から、BSR,

FFR による中、低音域聴覚域値測定が可能である。そのためには、まず、伝音難聴と感音難聴との鑑別をおこなう。すなわち、BSR 域値と FFR 域値との域値差が 20~30 dB で、BSR 潜時が正常よりも延長している場合には、伝音難聴である³⁾⁴⁾。BSR 域値と FFR 域値との域値差が 10 dB 以内、または BSR 潜時が正常の潜時とほぼ一致する場合には、感音難聴である³⁾⁴⁾。伝音難聴の場合の純音域値測定は、BSR 域値より 10~20 dB 低い値が 500 Hz ないし 1000 Hz 純音域値であり、FFR 域値より 30~40 dB 低い値が 500 Hz 純音域値である。感音難聴の場合の純音域値測定は、BSR 域値と ± 10 dB の値が 500 Hz ないし 1000 Hz 純音域値であり、FFR 域値と 0~-10 dB の値が 500 Hz 純音域値である。

結 論

刺激音に位相一定の 500 Hz トーンバーストを用いた BSR, FFR 同時記録法により、BSR より 500 Hz および 1000 Hz 純音域値の測定、FFR より 500 Hz 純音域値の測定が可能である。

本論文の要旨は、第78回日本耳鼻咽喉科学会総会 (昭和52年5月) において口演した。

本研究の一部は、文部省科学研究費 No. 148275 の補助によりおこなわれた。

引 用 文 献

- 1) Kodera, K., Yamane, H., Yamada, O. and Suzuki, J.: The effect of onset, offset and rise-decay times of tone bursts on brain stem response. Scand. Audiol. (in press)
- 2) 山田 修, 山根 仁, 小寺一興: 周波数対応反応 (FFR) 臨床応用のための検討. 耳鼻臨床 69: 955~962, 1976.
- 3) Yamada, O., Yamane, H. and Kodera, K.: Simultaneous recordings of the brain stem response and the frequency-following response to low-frequency tone. Electroenceph. clin. Neurophysiol. 43: 362~370, 1977.
- 4) Yamada, O., Yagi, T., Yamane, H. and Suzuki, J.: Clinical evaluation of auditory evoked brain stem response. Auris-Nasus-Larynx 2: 97~105, 1975.
- 5) Davis, H.: Principles of electric response audiometry. Ann Otolaryngol. 85: Suppl.

- 28, 1976.
- 6) Koderá, K., Yamane, H., Yamada, O. and Suzuki, J.: Brain stem response audiometry at speech frequencies. *Audio'ogy* 16: 469~479, 1977.
- 7) Suzuki, T., Hirai, Y. and Horiuchi, K.: Auditory brain stem response to pure tone stimuli. *Scand. Audiol.* 6: 51~56, 1977.
- 8) Moushegian, G., Rupert, A.L. and Stillman, R. D.: Scalp-recorded early responses in man to frequencies in the speech range. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* 35: 665~667, 1973.
- 9) 山根 仁, 山田 修, 小寺一興: Brain stem-response の臨床応用—低音域の聴力推定の可能性について—*Audio'ogy Japan* 19: 302~309, 1976.
- 10) Huis in't Ve'd, F., Osterhammel, P. and Terkil'dsen, K.: The frequency selectivity of the 500 Hz frequency following response. *Scand. Audiol.* 6: 35~42, 1977.

原稿到着: 昭和52年8月29日
別刷請求先: 山田 修
〒173 東京都板橋区加賀2-11-1
帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室