実験的異常 ABR のパワースペクトル

順天堂大学医学部耳鼻咽喉科学教室

(主任：河村正三教授)

加藤 栄一，市川銀一郎，森福 孝之

順天堂大学医学部中央電算機室

江原 義郎

緒 言

従来、聴性脳幹反応 (auditory brain stem response: 以下 ABR と略す) は、ある一定反応成分の消失、ピーク間潜時の延長、振幅の減少など、アナログ波形上の変化により判定されるのが一般的である。

ABR の構成周波数の検討 (パワースペクトルなど) については、それが、ABR の判定にどれほど有用な情報を与えてくれるのかという検討は十分でないと思われる。正常 ABR についてのパワースペクトル解析はすでに数々の報告がある^{1)~9)}。パワースペクトルとは、ある信号を構成している数々の周波数成分の、それぞれのエネルギー (振幅の 2 乗) を求めたものである。

今回我々は、異常な反応形態を示す ABR のパワースペクトル解析を行なった。ABR の形態的变化がパワースペクトル解析上にどのような変化をもたらすかに注目した。そして、パワースペクトルのパターンから ABR の変化をとらえることにより、臨床的診断意義についての基礎的検討を行なった。

対象ならびに方法

ネコの正常 ABR 16 例、聴覚中枢路破壊実験による異常 ABR 67 例の合計 83 例を対象として検討した。

ABR の記録に際し、音刺激は Dana Japan 502A より発生させた 0.2 msec のクリニックを使用し、音刺激間隔は 120 msec とした。tube stimulator (Dana Japan DA-50) より音を与えた。記録は頭頂一耳介誘導にて行なった。処理装置は Sanei 7TO8 を用い、解析時間 10.24 msec、加算回数 100 回とし、X-Y レコーダおよびデータレコーダ (TEAC R-210A) に記録した。フィルタの周波数通過帯域は 30~2500 Hz (24 dB/oct)、信号解析周波数分解能は 97.66 Hz とした。

まず、ABR の波形を各反応成分の出現パターンご

とに分類した。そして、Sanei 7TO8 を用い、高速フーリエ変換 (FFT) を行ない、パワースペクトルを求めた。なお、分類はあくまで反応波形のパターンのみに注目した。そして、分類ごとのパワースペクトルの傾向を比較検討した。

パワースペクトルの縦軸に関しては、各々のエネルギーの最大値が Sanei 7TO8 の画面いっぱいに振れるように調整したもので、相対的大きさを示しているものである。

結 果

1) 正常 ABR について

図 1 にネコの正常 ABR 4 例とそのパワースペクトルを示した。いずれのパワースペクトルも三峰性で、100~200 Hz, 700~800 Hz, 1000~1200 Hz 付近にピークを認めた。我々は、三峰性各ピークの低周波数成分より、各々、A ピーク、B ピーク、C ピークと名づけた。三峰性ピークはほぼ同様な周波数帯域にそれぞれ出現しており、また、各ピークのエネルギー比 (相対的な大きさ) も同様な傾向を示し (A ピーク > B ピーク ≈ C ピーク)、正常 ABR におけるパワースペクトルは、その出現性に比較的安全性があるものと思われた。

2) 異常 ABR について

ネコの異常 ABR とそのパワースペクトルの例を図 2 の a~f に示した。

a. ABR の第 I 波のみが出現しているパターン：パワースペクトル (図 2 a) は、A ピークを認めるが、30~1100 Hz 位までに広くパワーが分布していた。

b. 第 I 波と第 II 波のみ出現し、第 III 波以降が消失しているパターン：パワースペクトル (図 2 b) は、二峰性で、B ピークが消失している。そして、C ピークが A ピークより相対的に大となっている。

図1 ネコの正常 ABR とそのパワースペクトル

c. 第III波, 第IV波, 第V波が出現し, 第I波と第II波が消失しているパターン: パワースペクトル (図2 c) は, Cピークが消失し, Bピークがやや高周波数領域へ移動している。

d. 第V波のみ出現しているパターン: パワースペクトル (図2 d) は, Aピークと低周波数領域に移動したBピークが認められる。Cピークは認められない。そして, Aピークが相対的に小さくなっている。

e. 第I波から第IV波までが出現しているが, 第V波以降が消失し, しかもI-IV波間ピーク潜時が延長しているパターン: パワースペクトル (図2 e) は, 正常 ABR と同様に, Aピーク, Bピーク, Cピークと三峰性ピークを認めるが, BピークとCピークが低周波数領域へ移動し, Aピークが相対的に小さくなっている。

f. 第I波から第V波まで出現しているが, やはりI-V波間ピーク潜時が延長しているパターン: パワースペクトル (図2 f) は, 第I波から第IV波までが出現しているが, I-IV波間ピーク潜時が延長しているパターン (図2 e) と同様, 三峰性ピークを認めるが, BピークとCピークが低周波数領域へ移動し, Aピークが相対的に小さくなっている。

図3に, 異常な ABR と各々のパワースペクトルの特徴を模式図で示した。なお, 最下段には正常 ABR とそのパワースペクトルを示してある。また, 表1にパワースペクトルの特徴的な変化, すなわち, (1)三峰性各ピークの移動, (2)各ピークのエネルギー比の変化(相対的な大きさの変化), (3)いずれかのピークの消失, について, 分かりやすく記号で表示した。

図2 ネコの異常 ABR とそのパワースペクトル (a~f)

- a : 右蝸牛神経核破壊, 右上オリブ核破壊, 右耳刺激, 頭頂—右耳介誘導
 b : 右上オリブ核破壊, 右耳刺激, 頭頂—右耳介誘導
 c : 左内耳破壊, 右耳刺激, 頭頂—左耳介誘導
 d : 左内耳破壊, 左耳刺激, 頭頂—左耳介誘導
 e : 右下丘破壊, 左耳刺激, 頭頂—左耳介誘導
 f : 大動脈結紮直後, 右耳刺激, 頭頂—右耳介誘導

図3 ネコの異常な ABR と各々のパワースペクトルの特徴 (模式図)——52例よりの分類—

表1 ネコの異常 ABR のパワースペクトルの特徴

異常 ABR のパターン \ 各ピーク	A	B	C
I 波	○	×	×
I II 波	↓	×	○
III IV or III IV V 波	○	→	×
V 波	↓	←	×
I—IV or I—V 波間ピーク潜時の延長	○	←	←

○：正常→高周波数領域への移動

×：消失←：低周波数領域への移動

↓：相対的大きさの減少

第 I 波のみの ABR では、A ピークを認め、B ピーク、C ピークが消失した。第 I 波、第 II 波のみの ABR では、B ピークが消失し、A ピークの相対的大きさが減少した。一方、第 III 波、第 IV 波を認める ABR、あるいは、第 III 波、第 IV 波、第 V 波を認める ABR では、B ピークがやや高周波数領域へ移動し、C ピークが消失した。そして、第 V 波のみの ABR では、B ピークの低周波数領域への移動と C ピークの消失が認められた。また、I—IV 波間ピーク潜時が延長し、第 V 波が消失した ABR、あるいは、I—V 波間ピーク潜時が延長した

ABR では、B ピーク、C ピークの低周波数領域への移動を認めた。

考 察

正常なパターンを示す ABR のパワースペクトル解析についての報告はすでに数々なされている^{1)~9)}。Elberling^{1),2)}は、ABR の主要周波数成分が 250Hz 以下であると主張したが、Kevanishvili ら³⁾は、正常 ABR のパワースペクトルでは、150Hz、500Hz、900Hz 付近にピークがあるとした。一方、内田ら⁴⁾は、300~3000Hz の周波数通過帯域で、ネコでは 750Hz と 1200Hz 付近にピークを認め、ヒトでは 550Hz 付近にピークを認めるとしている。また、鈴木ら^{5)~7)}は、ABR は 50~150Hz (ピーク I)、500~600Hz (ピーク II)、1000~1100Hz (ピーク III) の 3 個の主要周波数成分を持つとしている。筆者ら^{8),9)}も、正常 ABR のパワースペクトルは、ネコでは、100~200Hz、650~800Hz、950~1200Hz 付近に、ヒトでは、100~200Hz、600~800Hz、1000~1100Hz 付近に 3 つのピークを示すとすでに報告した。また、各々のピークについては、筆者ら⁸⁾は低周波数成分より、A ピーク、B ピーク、C ピークと呼称した。鈴木ら⁷⁾も 1982 年の報告で、各ピークを、A、B、C、と呼んでいる。

今回のネコの正常 ABR のパワースペクトルも、図

1に示したように三峰性ピークを示した。Aピークは100~200Hz, Bピークは700~800Hz, Cピークは1000~1200Hz付近となった。また、各ピークのエネルギー比(相対的大きさ)は、Aピーク>Bピーク≒Cピークであった。今回検討したネコの正常ABR 16例すべてでこのような傾向があり、その出現性に比較的稳定性があるものと考えられた。

ネコとヒトにおける正常ABRのパワースペクトルの若干の相違は、(1). Bピークがネコでは700~800Hz付近であり、ヒトでの筆者ら⁹⁾の報告(600~800Hz), Kevanishviliら³⁾の報告(500Hz), 鈴木ら^{5)~7)}の報告(500~600Hz)に比べ、ネコの方がその主な周波数がやや高いこと(この点については、内田ら⁴⁾もネコのBピークに相応するピークを750Hzと報告しており、我々の今回の結果と一致する), (2). 三峰性各ピークのエネルギー比(相対的大きさ)に関して、著者ら⁹⁾は、ヒトでは、Aピーク>Bピーク>Cピークとなっていると報告したが(Kevanishviliら³⁾や鈴木ら^{5)~7)}の報告と一致する), ネコでは図1に示したように、Aピーク>Bピーク≒Cピークとなり、BピークとCピークがほぼ同じかややCピークの方がかえて大きいこと、などである。

次に、今回のネコの異常ABRのパワースペクトルについて検討してみたい。異常ABRをパワースペクトルの傾向ごとに分類してみると(図3, 表1), (1)三峰性各ピークの移動, (2)各ピークのエネルギー比の変化(相対的大きさの変化), (3)いずれかのピークの消失, などが特徴的な変化として認められた。

第I波, 第II波のみを認める例では、Bピークが消失し、Aピークの相対的な大きさが減少している。筆者ら⁹⁾は、ヒトのABRの前半成分は主にCピーク、後半成分は主にBピーク、そしてABRの緩徐波成分、いわゆるslow ABRは主にAピークより構成されるのではと推測した。第I波, 第II波のみ出現しているABRでは後半成分が消失しているため、Bピークが消失したと思われる。また、第V波が出現していないので、第V波を中心とする緩徐波成分がほとんど現われないため、Aピークの相対的大きさが減少すると考えられる。

逆に、第III波, 第IV波を認めるABR, あるいは第III波, 第IV波, 第V波を認めるABRでは、Cピークが消失し、Bピークがやや高周波数領域へ移動している。この結果よりも、CピークはABRの前半成分を構成する主要成分であると考えられ、筆者ら⁹⁾の報告と一致

する。

I—IV波間あるいはI—V波間ピーク潜時の延長したABRの場合では、BピークとCピークの低周波数領域への移動を認めた。これは、ABRの各波間ピーク潜時が長くなるため、各速波成分の周期が正常ABRの場合に比べて長くなる。したがって、速波成分を主に構成すると考えられるBピーク、Cピークが一樣に低周波数領域へ移動するものと思われる。

以上のように、アナログ波形上異常なパターンを示すABRの場合、そのパワースペクトルにも正常の場合と異なる変化がみられ、かつ、パワースペクトルの特徴から逆に異常ABRのアナログ波形を分類することができた。しかし、今回異常ABRに関して、形態的变化のみに注目しパワースペクトル解析を行なったこと、ABRの各反応成分の潜時、刺激音圧を考慮しなかったことなど問題がある。また、はっきりとした変化がアナログ波形上に認められたABRのみ選んでパワースペクトルを求めたため、パワースペクトルの上に変化を認めたが、はたして、アナログ波形上の微妙な変化がパワースペクトルの上にどれほど反映されるかも疑問であり、今後の課題である。

ABRパワースペクトル解析はまだ数々の問題点がある。しかし、異常ABRをパワースペクトルの特徴から分類することにより、正常ABRとの区別が可能であり、脳神経学的アプローチにおいて、臨床診断の手段にパワースペクトル解析は応用できるのではないかと考えられた。

ま と め

- 1) ネコの正常ABRのパワースペクトルは三峰性ピークを示した。各ピークの周波数帯域は、100~200Hz(Aピーク), 700~800Hz(Bピーク), 1000~1200Hz(Cピーク)付近であった。また、各ピークの相対的大きさは、Aピーク>Bピーク≒Cピークであった。
- 2) 異常ABRのパワースペクトルでは、正常ABRのパワースペクトルで認められた三峰性各ピークの変化、すなわち、(1)三峰性各ピークの移動、(2)各ピークのエネルギー比の変化(相対的大きさの変化)、(3)いずれかのピークの消失、などが認められた。
- 3) ABRのパワースペクトル解析により、ABRの正常、異常の区別が可能であった。また、脳神経学的診断の面での応用が今後期待できると思われる。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜った河村正三教授に深く感謝の意を表します。

なお、本論文の要旨は第28回日本オーディオロジー学会にて報告した。

Experimental Study on Power Spectra of the Abnormal ABR

Eiichi Katoh, Ginichiro Ichikawa, Takayuki Morifuku and Yoshiro Ehara (Department of Otorhinolaryngology, Juntendo University, School of Medicine)

Power spectral analysis of normal and abnormal ABRs were experimentally investigated in cats. In the normal ABR, three major peaks were recognized at around 100-200Hz (A peak), 700-800Hz (B peak) and 1000-1200Hz (C peak) (A peak > B peak $\approx$ C peak). In the abnormal ABRs, their power spectra revealed different distribution in accordance with the ABR modality: shift of the each peak to lower or higher frequency range, and changes in power balance of each peak. The morphological abnormalities of ABR are possibly classified by power spectral analysis clearly enough to apply this data for clinical use in neurological field.

文 献

1) Elberling, C.: Action potentials recorded from

the promontory and the surface, compared with recordings from the ear canal in man. *Scand. Audiol.*, **5**; 69-78, 1976.

2) Elberling, C.: Auditory electrophysiology: Spectral analysis of cochlear and brain stem evoked potentials. *Scand. Audiol.*, **8**; 57-64, 1979.

3) Kevanishvili, Z. and Aphonchenko, V.: Frequency composition of brain stem auditory evoked potentials. *Scand. Audiol.*, **8**; 51-55, 1979.

4) 内田利男, 他: 速反応 (ABR, MLR) におけるパワースペクトル解析. *Audiology Japan*, **23**; 231-232, 1980.

5) 鈴木篤郎, 坂部長正, 宮下善和: 聴性脳幹反応の周波数分析. *Audiology Japan*, **24**; 173-177, 1981.

6) 鈴木篤郎, 小林潔子, 平林 源: 聴性脳幹反応の周波数分析. *Audiology Japan*, **25**; 631-635, 1982.

7) Suzuki, T. et al.: Power spectral analysis of auditory brain stem responses to pure tone stimuli. *Scand. Audiol.*, **11**; 25-30, 1982.

8) Katoh, E., Kawamura, S., Ichikawa, G., Uchida, T. and Uehara, N.: Diagnostic values of power spectra in ABR. 16th International Congress of Audiology; **40**; 1982.

9) Katoh, E., Kawamura, S., Ichikawa, G., Uchida, T. and Uehara, N.: Clinical application of power spectra in ABR. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, **56**; 61, 1983.

(受付60. 5.21)