メニエール病における蝸牛基底板進行波速度の検討 —— Derived ABR の手法を用いた測定 ——

青柳 優・金 慶訓・小池 吉郎

Basilar Membrane Travelling Wave Velocity in Meniere's Disease —— Measurement by Derived ABR Technique ——

Masaru Aoyagi, Yoshinori Kim, Yoshio Koike

Department of Otolaryngology, Yamagata University School of Medicine

This study shows that auditory brainstem response (ABR) can be used to measure the basilar membrane travelling wave velocity (TWV). TWV was calculated from the latency difference between wave V of the different derived ABRs and the cochlear location distance between the appropriate derived band center frequency. The latency of wave V of derived ABR produced by six noise masked ABRs with the use of high pass filtered noises and the location of the corresponding cochlear partition (distance from the stapes footplate) were measured and five TWVs were estimated from these data.

Ten subjects with normal hearing, seven patients with Ménière's disease and eight patients with sensori-neural hearing loss (SNHL) were examined. The TWV in the SNHL group was within normal limits at all frequencies, whereas the TWV at 8 kHz in the Ménière group greatly exceeded that of the normal and SNHL group. This finding suggests that the measurement of basilar membrane TWV using derived ABR contributes to the diagnosis of Ménière's disease and the estimation of inner ear pathology.

Key words: derived ABR, travelling wave velocity, Ménière's disease, endolymphatic hydrops

はじめに

Teas ら (1962)¹⁾ によって開発された high pass filtered noise による選択的マスキングの手法を用いると、蝸牛基底板における任意の周波数帯域(狭帯域)に由来する ABR (derived ABR) を得ることができる。この手法を用い、得られた derived ABR の所見から純音聴力検査にほぼ準じた周

波数帯域の聴力測定が可能であることが知られている。いずれの報告^{2)~5)} でも、周波数特異性という点では他覚的聴力検査法としてはこの手法が優れているとしており、本邦では小出ら (1985)⁵⁾ が derived ABR による他覚的聴力検査について報告している。一方、high pass filtered noise による選択的マスキングの高い周波数特異性を利用し、蝸牛基底板の小分画に対する刺激による ABR の各波、及び蝸電図の AP の潜時により蝸牛基

底板進行波速度を測定した報告がある。特に Parker and Thornton (1987a, 1978b)⁶⁾⁷⁾ は系統的に刺激条件および得られた derived ABR の再現性につき検討し、蝸牛基板進行波速度を報告した。また、Eggermont (1979)³⁾ は、high pass filtered noise の手法により導いた狭帯域 AP (narrow-band AP; NAP) により蝸牛基板速度を検討し、さらにメニエール病症例と聴力正常例間で N AP 潜時の比較を行い報告した²⁾。しかし、本邦での蝸牛基板進行波速度、特に臨床例での報告はない。

今回我々は、derived ABR の手法を用いてヒトの蝸牛基板進行波速度を測定し、その臨床応用について検討することを目的として、正常成人、内耳性難聴症例、メニエール病症例を対象として、(1)刺激条件(選択的マスキング)の検討、(2)狭帯域 ABR の潜時の検討、(3)蝸牛基板進行波速度の算定を行い、(4)内耳病態による進行波速度への影響について検討した。

対象と方法

対象は聴力正常な成人10名10耳(22～26歳、平均24.3歳)、メニエール病症例8名8耳(38～61歳、平均55.4歳)、及び内耳性難聴症例7名7耳(44～62歳、平均56.5歳)である。

検査は被検者を防音室内のベッドに安楽に仰臥させ、安静を得るため被検者にジアゼパム2～4mgを投与し、入眠後に行った。なお、検査は正常人においては右耳、メニエール病と内耳性難聴症例においては患側耳にだけ施行した。

ABR の刺激音としてはクリック音(持続時間0.2ms, 刺激間隔75ms)を audible signal controller (DANA Japan DA502) より、選択的マスキングとしては high pass filtered noise を noise stimulator (DANA Japan DA507) より発生させ、電氣的に混合して気導受話器 TDH-49 を介して被検者の単耳に与えた。選択的マスキングとしては6種、即ち9600, 6600, 3300, 1650, 825, 412Hz を遮断周波数(遮断傾斜特性90dB/Oct.)として使用した(表1)。図1は今回使用した各 high pass filtered noise の音響パワースペクトルである。

ABR 記録は頭頂-耳垂の双極誘導とし、脳波用皿電極を電極ペーストにより接着固定し、接地電極は前額部に置いた。ABR は周波数帯域80～

表1 high pass filtered noise の遮断周波数

	derived band		中心周波数 (CF)
	F _{low}	F _{high}	
A	6600 - 9600 Hz		7959 Hz
B	3300 - 6600 Hz		4667 Hz
C	1650 - 3300 Hz		2333 Hz
D	825 - 1650 Hz		1167 Hz
E	412 - 825 Hz		583 Hz

$$CF = \sqrt{F_{low} \times F_{high}}$$

図1 各 high pass filtered noise の音響パワースペクトル

1500Hz の生体用前置増幅器で増幅後、シグナルプロセッサ 7T17 (NEC 三栄) により、解析時間20.4msec, 加算回数1000回で加算平均し、フロッピーディスクに収納し、また、一部は on line で自作のプログラムにより以下の解析を行った。

図2には derived ABR 記録の原理を示す。広帯域音響スペクトルを有するクリック音単独刺激では蝸牛基板全体に由来する ABR (A) が得られる。この ABR をちょうどマスクする音圧の白色雑音を与えると ABR は消失するが、与える雑音を high pass filtered noise にすると得られる ABR はその遮断周波数より低い周波数領域部分に由来する反応となる。ABR をマスクするのに必要な白色雑音と同じ音圧で、xHz, 及び yHz の遮断周波数 (x>y) の high pass filtered noise を与え、各々の刺激条件で得られる ABR をそれ

図2 derived ABR 記録の原理

A: クリック音単独刺激で得られる ABR 波形。B・C: クリック音刺激と同時に x , 及び y Hz の遮断周波数を有する high pass filtered noise を ABR をマスクするのに必要な白色雑音と同じ音圧で与えた場合に得られる ABR 波形, D: B の ABR 波形と C の ABR 波形の差 (derived ABR)。これは蝸牛基底板周波数帯域の x Hz と y Hz との間の部分 (D の段, 基底板シェーマの白抜き部分) に由来する ABR 波形ということになる。

ぞれ ABR (x) (B) と ABR (y) (C) とすると, 2 つの ABR の差の波形, ABR ($x-y$) (D) は, 蝸牛基底板周波数帯域の x Hz と y Hz との間の部分に由来する ABR ということになり, これを derived ABR と呼ぶ。

実際の derived ABR 検査に当たっては, 次のような順序で記録を行った。即ち, まず 70 dBnHL (以下 dB) のクリック音単独刺激 ABR (ABR 原波形) を記録する。次に, 6 種の遮断周波数を有する high pass filtered noise (80 dB) を, それぞれクリック音 (70 dB) と電氣的に混合し, 被検者の単耳に与えて ABR (noise masked ABR) を記録する。最後に, 各々の noise masked ABR をコンピュータにより, on line で波形の減算操作を行い, 5 本の derived ABR を求めた。

蝸牛基底板進行波速度の求め方は次のような手順で行った (図3)。

(1) 任意の蝸牛基底板小分画 ($x-y$ Hz 領域) に対応した derived ABR の V 波潜時 T (msec) を測定する。Noise masked ABR の V 波潜時付近で, これよりやや遅れたところにある大きな陽性波を derived ABR の V 波と同定したが, 波の形状が全体として滑らかなサイン波状でなく, IV-V complex 様の場合には, 陽性波の右肩にあたる部分, 即ち勾配が急に变化する部分の潜時をもって derived ABR の V 波潜時とした。

(2) 同様にその他の蝸牛基底板小分画 ($x'-y'$ Hz 領域) に対応した derived ABR' の V 波潜時 T' (msec) を測定する。

(3) 各々基底板小分画の鐙骨底からの距離を小分画の中心周波数と Bekesy (1963)⁸⁾ の報告より, α, α' (mm) を算定する。

(4) 図3の式に上記の値を代入し, 進行波速度を求める。

図3 蝸牛基底板進行波速度の求め方の手順

2つの蝸牛基底板小分画(x-y Hz 領域 [α mm] と x'-y' Hz 領域 [α' mm]) に対応した derived ABR のV潜時 (▼) を各々 T msec と T' msec とすると, 図中の式から $\alpha - \alpha'$ 間における蝸牛基底板進行波速度 (m/sec) が求められる。

図4 正常成人における各クリック音の音圧による周波数帯域ごとの蝸牛基底板進行波速度
説明文中の数字は, それぞれ刺激音圧と masker 音圧を示す。70/80 dB は刺激音圧 70 dB, masker 音 80 dB である。

6種の遮断周波数を有する high pass filtered noise により5種の蝸牛小分画由来の derived ABR が得られる。それらにより4種の周波数帯域における蝸牛基底板進行波速度を算定した。

結 果

1. 正常成人における蝸牛基底板進行波速度

聴力正常成人においてクリック音の音圧を変化させた蝸牛基底板進行波速度を検討した。測定に使用したクリック音の音圧は, 70, 60, 及び 40 dB の3種であり, それぞれの刺激音圧での masker 音圧は, 80, 60, 40 dB とした。それぞれの周波数帯域における進行波速度の平均および標準偏差を図4に示したが, 進行波速度は低周波数領域ほど低くなる傾向を示した。しかし, 各刺激音圧における進行波速度の間には有意差は認められなかった。

2. メニエール病, 及び内耳性難聴症例

今回検討したメニエール病症例, 及び内耳性難聴症例の聴力像を図5に示す。メニエール病症例

図5 メニエール病症例, 及び内耳性難聴症例の聴力像

図6 正常成人, メニエール病症例, 内耳性難聴症例における各周波数帯域の進行波速度の平均値

図7 8kHzの周波数帯域における正常成人, メニエール病症例, 内耳性難聴症例の蝸牛基底板進行波速度の平均値と標準偏差
●と○は個人のデータ, ○はメニエール病発作2週以内の症例を示す。

では低温障害型と水平型難聴が, 内耳性難聴症例では高音障害型が多かった。

蝸牛基底板進行波速度の測定には, 刺激音圧は, control との比較のためクリック音 70 dB, masker 80 dB とした。

正常成人, メニエール病症例, 内耳性難聴症例の各々における各周波数帯域の進行波速度の平均値を図6に示す。正常成人と内耳性難聴症例では進行波速度は各周波数帯域ではほぼ同様の値を示したのに対して, メニエール病症例では高周波数帯

域 (8 kHz) で著明に高い値 (平均 23.2 m/sec) を示した。

8 kHz の周波数帯域における各群の蝸牛基底板進行波速度の平均値と標準偏差を図7に示す。メニエール病症例では正常成人, 及び内耳性難聴症例と比較して有意に ($p < 0.01$) 進行波速度が高かった。また, メニエール病症例の中でも, 発作期の症例ではその進行波速度がより速い傾向にあった。

図8 報告者による正常成人における蝸牛基底板進行波速度の違い

Parker (1978), 小出 (1985), 及び著者らは derived ABR の手法を用い, Eggermont (1979) は narrow-band AP の手法を用いている。

考 察

1. 正常成人における蝸牛基底板進行波速度

臨床電気生理学的に蝸牛基底板進行波速度を測定する方法には derived ABR による方法と蝸電図の narrow-band AP を用いる方法がある。正常成人において刺激音圧 70 dB, masker 音圧 80 dB の刺激条件にて測定した過去の報告を見ると, Parker (1978)⁶⁾, 及び小出 (1985)⁵⁾ は derived ABR の手法を用い, Eggermont (1979)³⁾ は narrow-band AP の手法で測定している。今回の測定結果も含めて比較してみると, 図8に示すように蝸牛基底板進行波速度はどの報告でも低周波数領域ほど低く, 高周波数領域ほど高くなる傾向がある。Parker (1978)⁶⁾ は中心周波数 5.1 kHz の周波数領域までしか測定していないので, これを除くと 8 kHz の周波数領域における進行波速度は小出 (1985)⁵⁾ の報告が最高で 20 m/sec であり, 我々の測定結果 (13 m/sec) が最も低かった。

2. derived ABR の周波数特異性について

周波数特異性のある ABR の測定には, トーンピップ等の周波数特異性の高い刺激を使用して ABR を記録する方法と, 今回使用した選択的マスキングにより蝸牛の限局した狭帯域に由来する ABR を記録する方法がある。前者は検査手技が

簡便なため, 日常の ABR 検査による閾値検査に利用されているが, 1 kHz 以下の低周波数での特性が設定できないこと, ある程度の刺激強度ではその周波数特異性を示さなくなり, クリック音刺激と同様に基底回転の反応をも反映する ABR 記録となるなどの問題点を有する。一方, 選択的マスキング法は, 中低周波数帯域において周波数特性を持った ABR を測定するために開発された手法である。これにより任意の蝸牛小分画に由来した ABR を測定することが可能であるが, その周波数特異性は遮断周波数特性に依存する。今回の測定での遮断周波数特性は約 90 dB/Oct. であり, 過去の報告とほぼ同様であった。

3. derived ABR 測定における耳小骨筋反射の影響について

今回の蝸牛進行波速度の測定にあたって使用した刺激は, クリック音 70 dB, masker 80 dB であるが, この程度の音圧では耳小骨筋反射が出現することも考えられ, その影響も考慮しなければならない。そこで, 本実験に先立って high pass filtered noise を使用して耳小骨筋反射の出現を聴力正常成人3名について検討した。その結果, 阿瀬ら (1982)⁹⁾ の報告と同様に, 白色雑音と 500, 1000, 2000 Hz の high pass filtered noise では 90 dB で耳小骨筋反射が出現したが, 4000, 8000 Hz の high pass filtered noise では 90 dB でも出現しなかった。従って, 今回の derived ABR の測定では耳小骨筋反射の影響はほとんどないものと考えられた。

4. 刺激音圧と蝸牛基底板進行波速度の関係

正常成人においては, 今回検討した周波数帯域での各刺激音圧における進行波速度の間には有意差は認められなかった。一方, 低周波数領域ほど進行波速度は低下する傾向がみられ, 検討したどの音圧でも同様の傾向が認められた (図4)。このことは, 蝸牛基底板進行波速度は測定する周波数帯域に依存するものであり, 刺激音圧は余り関係しないことを示唆する所見と考えられる。従って, 聴力域値の異なる難聴症例において刺激音圧を固定して測定しても, 症例間で進行波速度の比較は可能であると考えられた。

5. 蝸牛基底板進行波速度とメニエール病の病態

今回の検討では, 高周波数帯域 (8 kHz) における進行波速度はメニエール病症例では正常成人,

及び内耳性難聴症例より速い傾向を認め、更に、発作期の2症例では間歇期の症例により速い傾向を認めたが、これは Thornton & Farrell (1991)³⁾の報告の中でも論じられているように、内リンパ水腫によって蝸牛内圧の上昇が起こり、蝸牛基底板の物理特性の変化が生じたために進行波速度の変化をきたしたものと推測される。即ち、進行波速度を測定することにより、内リンパ水腫を証明することが可能であることが示唆され、メニエール病の診断に有用であると考えられた。Thornton & Farrell (1991)³⁾は、内リンパ水腫における進行波速度の亢進は可逆的であり、治療により改善すると報告している。今回の我々の検討でも、発作中の症例では間歇期の症例より進行波速度が早い傾向が観察されており、メニエール病における進行波速度の変化が可逆性である可能性が示唆された。

まとめ

derived ABR の手法を用いて、正常成人10名10耳、メニエール病症例8名8耳、及び内耳性難聴症例7名7耳を対象として蝸牛基底板進行波速度を検討した。

(1) 正常成人においては、高周波数領域ほど進行波速度は高い傾向がみられたが、各刺激音圧における進行波速度の間には有意差は認められなかった。

(2) 内耳性難聴における蝸牛基底板進行波速度は正常成人と同様であったが、メニエール病では高周波数(8kHz)で進行波速度は有意に高い値を示し、発作期の症例は間歇期の症例より高い傾向にあった。

(3) 本法による蝸牛基底板進行波速度の測定は、メニエール病、特にその内耳病態の診断に臨床的に有用であると考えられた。

文 献

- 1) Teas DC, Eldredge DH, Davis H : Cochlear response to acoustic transients : an interpretation of wholenerve action potentials. J Acoust Soc Am 34 : 1438-1459, 1962
- 2) Eggermont JJ : Analysis of compound action potential responses to tone bursts in the human and guinea pig cochlea. J Acoust Soc Am 60 : 1132-1139, 1976
- 3) Eggermont JJ : Narrow-band AP latencies in normal and recruiting human ears. J Acoust Soc Am 65 : 463-470, 1979
- 4) Thornton ARD, Farrell G : Apparent travelling wave velocity changes in cases of endolymphatic hydrops. Scand Audiol 20 : 13-18, 1991
- 5) 小出富士夫, 吉江信夫, 阿瀬雄治 : Derived ABR による聴力測定. 日耳鼻 88 : 747-759, 1985
- 6) Parker DJ, Thornton ARD : Cochlear travelling wave velocities calculated from the derived components of the cochlear nerve and brainstem evoked response of the human auditory system. Scand Audiol 7 : 67-70, 1987
- 7) Parker DJ, Thornton ARD : The validity of the derived cochlear nerve and brainstem evoked responses of the human auditory system. Scand Audiol 7 : 45-52, 1987
- 8) Békésy G : Hearing theories and complex sounds. J Acoust Soc Am 35 : 588-600, 1963
- 9) 阿瀬雄治, 小出富士夫, 吉江信夫, 他 : Derived ABR における耳小骨筋反射の影響. Audiol Jpn 25 : 311-312, 1982

(原稿到着 : 平成 4 年 10 月 29 日
別刷請求先 : 青柳 優
〒990-23 山形市飯田西 2 丁目 2 番 2
山形大学医学部耳鼻咽喉科学教室)