臨 床

他覚的聴力検査としての MASTER[®] の有用性についての検討

武田真紀子 ・ 畠 史子 ・ 長谷川賢作
裕田 猛真* ・ 北野 博也

Evaluation of the Audiometric Usefulness of the Auditory Steady-state Response Using the Multiple Auditory Steady-state Response

Makiko Takeda, Fumiko Hata, Kensaku Hasegawa and Hiroya Kitano

(Tottori University)

Takema Sakoda

(Wakayama Nisseki Medical Center)

Objective: To evaluate the audiometric usefulness of the auditory steady-state response (ASSR) using the multiple auditory steady-state response (MASTER[®]).

Design: ①In normal adults (aged 25–45 years old), comparisons of the behavioral thresholds for pure tones and the ASSR thresholds were compared. ②In supposedly normal infants (aged 3–45 months old), the click ABR thresholds and ASSR thresholds were compared. ③In patients (aged 6–81 years old), the behavioral thresholds for pure tones, the ASSR thresholds, and click ABR thresholds were compared.

Results: ①In normal adults, the behavioral thresholds for pure tones of 0.5, 1, 2, and 4 kHz were 9.7 ± 4 , 7.8 ± 3.5 , 8.9 ± 5 , and 6.1 ± 6.3 dB, respectively. In addition, the ASSR thresholds for carrier frequencies of 0.5, 1, 2, and 4 kHz were 40.6 ± 9.4 , 33.9 ± 7 , 29.4 ± 5.4 , and 32.8 ± 4.6 dB, respectively. ②In the infants, the click ABR thresholds were 20 ± 7.3 dB, while the ASSR thresholds for carrier frequencies of 0.5, 1, 2, and 4 kHz were 55 ± 9.3 , 44.4 ± 13.9 , 34.8 ± 11.6 , and 40.7 ± 14.4 dB, respectively. ③In the patients, correlation coefficients of behavioral thresholds and ASSR thresholds were 0.65 at 0.5 kHz, 0.85 at 1 kHz, 0.82 at 2 kHz, and 0.77 at 4 kHz. The correlation coefficients of behavioral thresholds and click ABR thresholds were 0.80 at 0.5 kHz, 0.86 at 1 kHz, 0.90 at 2 kHz, and 0.83 at 4 kHz.

Conclusion: On average, the thresholds for the ASSR were higher than the behavioral thresholds, and the discrepancies were larger at low frequencies. For a better physiologic audiometry estimation of the lower frequencies, the optimal modulation frequency should be investigated.

Key words : auditory steady-state response (ASSR), ABR, pure tone audiometry

はじめに

正弦波的振幅変調音 (sinusoidally amplitude modulated tone: SAM 音) を用いて得られる ASSR¹⁾ は, ABR よりも

周波数特異性が高く低音域までの他覚的閾値が得られる検査として近年注目されている。Bio-Logic 社から市販された MASTER[®] (multiple auditory steady-state response)

は、合成 SAM 音を用いることで左右両耳の 4 周波数の聴力を同時に判定できるため、検査時間が短縮され臨床応用が可能になったとされる²⁾。われわれの施設で行った症例をもとに、標準純音聴力検査（以下、純音）、ASSR、ABR の各閾値の統計学的解析を行い、その有用性と問題点について検討した。

対 象

まず聴力正常者での検討を目的とし、難聴を有しない成人 25～45 歳（中央値：27 歳）の 11 名（男女比＝8：3）22 耳を対象として純音と ASSR の各周波数の閾値を比較した。また、乳幼児例は ABR の閾値が 30 dBnHL 以下で、ほぼ正常聴力と推定される生後 3 ヶ月～3 歳（中央値：5 ヶ月）の乳幼児 16 名（男女比＝8：8）を対象とし、ABR と ASSR の閾値を比較した。乳幼児に関してはトリクロリールシロップ[®]またはエスクレ坐薬[®]を使用し、睡眠下で検査を行った。乳幼児例は、新生児聴覚スクリーニング後の精査として検査を行ったものが半数であった（表 1）。次に、2004 年 4 月から 2005 年 6 月に鳥取大学医学部耳鼻咽喉科において聴力の精査を行った 6～81 歳（中央値：52 歳）の 65 名（男女比＝31：34）を対象として、純音と ASSR および ABR の閾値の相関を調べた。対象症例の疾患の内訳は突発性難聴をはじめとし

表 1 乳幼児例の内訳（生後 3 ヶ月～3 歳）

新生児聴覚スクリーニング後	8
乳幼児健診後	6
言語発達遅滞	2
計 16 例	

表 2 対象例の疾患の内訳（6～81 歳）

突発性難聴	19	慢性中耳炎	10
音響外傷	1	真珠腫性中耳炎	5
低音障害型感音難聴	1	癒着性中耳炎	1
一側聾	5	耳小骨奇形	1
前庭水管拡大症	1	鼓膜炎	1
遺伝性進行性難聴	1		
錐体尖嚢腫	2	原因不明感音難聴	9
脳腫瘍	4	原因不明混合難聴	2
大動脈炎症候群	1		
めまい	1		

計 65 例

図 1 対象症例の聴力像

た感音難聴が 37 例（57%）であった（表 2）。また、0.5 kHz と 4 kHz の閾値の差が 20 dB 以内の症例が 108 耳（83%）であり、水平型あるいは漸傾型の聴力像がほとんどであった（図 1）。

方 法

1. ASSR

Bio-Logic 社の MASTER[®] を用い、音源はインサートイヤホンより提示した。搬送周波数 0.5, 1, 2, 4 kHz に対し、変調周波数は MASTER[®] のデフォルトのまま右 91, 94, 96, 99 Hz、左 82, 84, 87, 89 Hz の条件を用い、刺激音の変調は AM² 変調を使用した。4 周波数の左右同時測定で、80 dBHL 以上は 1 周波数ずつの測定を行った。関電極を頭頂部、基準電極を後頭部、接地電極を前額部において記録した。

2. ABR

Bio-Logic 社の auditory evoked response Ver. 2 を使用し、音源は ASSR と同じインサートイヤホンから click 音を提示し、関電極を頭頂部、基準電極を耳後部、接地電極を前額部において記録した。

純音、ABR、ASSR のいずれもスケールアウトのデータは除いて統計学的解析を行った。

結 果

1. 成人聴力正常例の純音と ASSR の閾値

純音閾値に対する ASSR の閾値は、0.5 kHz において平均 9.7 dB に対し平均 40.6 dBnHL、1 kHz において平均 7.8 dB に対し平均 33.9 dBnHL、2 kHz において平均 8.9 dB に対し平均 29.4 dBnHL、4 kHz において平均 6.1 dB

表 3 成人聴力正常者における純音と ASSR の閾値 (N=22 耳)

	0.5 kHz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
純音 (dB)	9.7 ± 4	7.8 ± 3.5	8.9 ± 5	6.1 ± 6.3
ASSR (dBnHL)	40.6 ± 9.4	33.9 ± 7	29.4 ± 5.4	32.8 ± 4.6

平均 ± 1 SD

表 4 ABR 30 dBnHL 以下の乳幼児例における ASSR の閾値

	ABR	ASSR			
		0.5 kHz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
N (耳数)	27	20	25	27	27
平均 (dBnHL) ± 1 SD	20 ± 7.3	55 ± 9.3	44.4 ± 13.9	34.8 ± 11.6	40.7 ± 14.4

表 5 純音と ASSR, ABR の相関解析結果のまとめ

	純音と ASSR			純音と ABR		
	耳数	相関係数	自由度調整 R ² 値	耳数	相関係数	自由度調整 R ² 値
0.5 kHz	87	0.65	0.42	49	0.80	0.62
1 kHz	101	0.85	0.71	51	0.86	0.73
2 kHz	106	0.82	0.66	50	0.90	0.81
4 kHz	99	0.77	0.59	49	0.83	0.69

に対し平均 32.8 dBnHL であり, ASSR の閾値が純音閾値より約 20 dB 高い値を示し, 特に 0.5 kHz において ASSR の閾値が純音閾値より約 30 dB 高く, ばらつきが多かった (表 3).

2. 乳幼児聴力正常例の ABR と ASSR の閾値

ABR の閾値が平均 20 dBnHL であるのに対し, ASSR の各周波数の閾値は 0.5 kHz で平均 55 dBnHL, 1 kHz で平均 44.4 dBnHL, 2 kHz で平均 34.8 dBnHL, 4 kHz で平均 40.7 dBnHL と高く, 特に 0.5 kHz の閾値が高い傾向がみられた (表 4). 60 dB から 10 dB ステップで音圧を下げて測定を行ったが, 0.5 kHz の ASSR は 60 dBnHL でも反応が得られなかったために解析から省いた症例があり, 1 ~ 4 kHz の他の周波数より反応の検出が悪かった.

3. 純音と ASSR, ABR の閾値の相関 (6 ~ 81 歳)

各周波数における純音と ASSR の閾値の間には有意な相関を認めた ($p < 0.0001$). 相関係数は 0.5 kHz において 0.65, 1 kHz において 0.85, 2 kHz において 0.82, 4 kHz において 0.77 であり, 1 kHz および 2 kHz の相関

が最も高くばらつきも少なく, 0.5 kHz の相関が最も低くばらつきが多かった (図 2). また, 閾値が得られた耳数が 1 ~ 4 kHz においては 100 耳前後であったのに対し, 0.5 kHz の ASSR は 87 耳と検出が悪かった. 同症例のうち ABR も同時に行った症例を解析したところ, やはり各周波数において純音と ABR の閾値の間に有意な相関を認めた ($p < 0.0001$). その相関係数は 0.5 kHz において 0.80, 1 kHz において 0.86, 2 kHz において 0.90, 4 kHz において 0.83 であり, 純音との相関が最も高いのは ASSR と同様に 1, 2 kHz であった (図 3). 各周波数における純音との相関は ABR と ASSR は同等であった (表 5).

考 察

他覚的聴力検査としては ABR が汎用されており信頼度も高いが, ABR の刺激音は click 音を用いるため周波数特異性が低く, 特に低音域の聴力を反映しないとされる. ABR によって低音域の閾値を得るため tone-pip, tone-

図2 純音閾値と ASSR 閾値の相関

burst などの刺激音が用いられてきたが、反応の検出度、閾値の信頼性に関してあまり満足いく結果が得られていない³⁾。周波数特異性の高い SAM 音を用いて得られる ASSR は純音との相関が高いとされ、近年他覚的検査として注目を集めている^{4)~9)}。

変調周波数に関しては amplitude-modulated (AM) 音に対し、AM 変調と FM 変調を同時に加える mixed-modulated (MM)、さらに exponentially-modulated (AM²) 音を使用すると反応の検出率が上がるが、AM 音と比べ周波数特異性が下がるとされる¹⁰⁾。また、80 Hz 付近の

変調周波数を使用すると睡眠下の小児の反応が得られやすいとされるが¹¹⁾、今回 AM² 音を使用し 80 Hz 付近の変調周波数を用いたわれわれの経験では睡眠下の乳幼児においても 0.5 kHz の ASSR は検出しにくい傾向であった。0.5 kHz の ASSR に関してはわれわれと同様の報告もあるが^{12)~15)}、他の周波数と同様の純音との相関を示した良好な成績の報告もある⁶⁾¹⁶⁾。それらの例では、われわれの用いた変調周波数とは異なる刺激音を用いたか、検査時間が長く設定してあるために検出が良かった可能性もある。また、対象症例が小児であるため behavioral

図3 純音閾値とABR閾値の相関

audiometry の閾値が悪かったために 0.5 kHz の相関が良かった可能性も考えられる。

今回の検討において、0.5 kHz においても純音と click 音刺激の ABR の閾値の間に有意な相関がみられたことは、対象聴力の聴力像が水平型あるいは漸傾型がほとんどであったことに起因すると考える。しかし、0.5 kHz において ASSR と純音との閾値の相関が ABR との相関を上回らなかったことは、低周波数域の他覚的検査として用いるためには周波数特異性を保ちながら検出率が最善となる変調周波数、測定条件の検討がさらに必要であると考えた。

補充現象のために難聴者の ASSR の閾値と純音閾値が近似し、正常聴力者では両者の乖離が大きくなることは指摘されているが²⁾¹⁰⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、今回の正常者および難聴者の相関関係からもそのことが裏付けられた。今後、複数施設のデータを用いて、MASTER® で得られた閾値に対し、市販のもう一つの機器である Audera® のように標準偏差を示し適正な補正値を示すことができればより実用的な検査となりうると考える。

MASTER® では ABR の測定と同等の 30 分～1 時間の短時間で左右同時に複数周波数の閾値が得られ聴力像のプロファイルを描くことが可能である。今回の検討では、0.5

～4 kHz のすべての周波数において純音と ASSR の閾値が 30 dB 以内であった症例は 126 耳中 72 耳 (57%) と、純音とほぼ一致する例は比較的多かった。

また, MASTER[®] の閾値の判定が FFT 解析を用いた自動判定であることは, 肉眼で判定できない反応を閾値として判定することができ, 客観的検査が可能である。今後 behavioral audiometry の困難な生後 5 ヶ月までの乳幼児や発達遅滞のある症例の他覚的検査として大いに期待されるが, 純音閾値と一致しない症例もあるので周波数特異性と検出率が最善となる変調周波数, 測定条件の設定がさらに必要であると考えた。

まとめ

1. 聴力正常成人の純音と ASSR の閾値を検討したところ, ASSR の閾値は 0.5 kHz において純音閾値より約 30 dB 高く, 1～4 kHz において約 20 dB 純音閾値より高かった。

2. 80 Hz 付近の変調周波数を用いた睡眠下の乳幼児例の記録においても, ABR の閾値が平均 20 dBnHL であるのに対し, ASSR の各周波数の閾値は 35～55 dBnHL と高く, 特に 0.5 kHz の反応が検出されにくく閾値が高い傾向がみられた。

3. 6～81 歳を対象とした純音と ABR, ASSR の各閾値の相関では, 0.5～4 kHz の各周波数において純音に対する ABR と ASSR の相関は同等であった。

4. MASTER[®] のさらなる臨床応用については, 0.5 kHz の検出度を改善するため変調周波数, 測定条件をさらに検討し S/N 比を改善する必要があると考えた。

5. MASTER[®] で得られた閾値に対して標準偏差を示すことができれば, より実用的な検査となりうると考えた。

参考文献

- 1) Richards FW and Clark GM : Steady-state evoked potentials to amplitude modulated tones. Evoked Potentials II, (ed by Nodar RH and Barber C). pp 163～168, Butterworth, Boston, 1984.
- 2) Lins OG, Picton PE, Picton TW, et al. : Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. J Acoust Soc Am 97 : 3051～3063, 1995.
- 3) 大西信治郎 : 他覚的聴力検査, 聴性脳幹反応. 211～221 頁, メジカルビュー社, 東京, 1985.
- 4) 伊藤 吏, 渡辺知緒, 阿部靖弘, 他 : 聴性定常反応を用いた他覚的聴力検査システム MASTER[®] の有用性について. Audiology Japan 48 : 128～134, 2005.
- 5) 増田正次, 井上泰宏, 佐藤美奈子, 他 : 純音聴力レベルと聴性定常反応を利用した推定聴力レベルとの比較. Audiology Japan 47 : 207～213, 2004.
- 6) Stueve MP and O'Rourke C : Estimation of hearing loss in children: comparison of auditory steady-state response, auditory brainstem response, and behavioral test methods. Am J Audiol 12 : 125～136, 2003.
- 7) Picton TW, Dimitrijevic A, Perez-Abalo MC, et al. : Estimating audiometric thresholds using auditory steady-state responses. J Am Acad Audiol 16 : 140～156, 2005.
- 8) Picton TW, John MS, Dimitrijevic A, et al. : Human auditory steady-state responses. Int J Audiol 42 : 177～219, 2003.
- 9) 神田幸彦, 酒井秀嗣 : 当施設で行っている乳幼児精密聴力検査としての MASTER の検討. Audiology Japan 48 : 187～195, 2005.
- 10) John MS and Picton TW : Human auditory steady-state responses to amplitude-modulated tones: phases and latency measurements. Hear Res 141 : 57～79, 2003.
- 11) 青柳 優, 鈴木 豊, 渡辺知緒, 他 : 変調周波数追従反応の成立機序に関する検討. Audiology Japan 47 : 214～221, 2004.
- 12) John MS, Brown DK, Muir PJ, et al. : Recording auditory steady-state responses in young infants. Ear Hear 13 : 1～36, 2004.
- 13) Rickards F, Tan L, Cohen L, et al. : Auditory steady-state evoked potentials in newborns. Br J Audiol 28 : 327～337, 1994.
- 14) Rance G, Rickards F, Cohen L, et al. : The automated prediction of hearing thresholds in sleeping subjects using auditory steady-state potentials. Ear Hear 16 : 499～507, 1995.
- 15) Cone-Wesson B, Rickards F, Poulis C, et al. : The auditory steady-state responses: clinical observations and applications in infants and children. J Am Audiol 13 : 270～282, 2002.
- 16) Schmulian D, Swanepoel D and Hugo R : Predicting pure-tone thresholds with dichotic multiple frequency auditory steady state responses. J Am Acad Audiol 16 : 5～17, 2005.
- 17) Swanepoel D, Hugo R and Roode R : Auditory steady-state responses for children with severe to profound hearing loss. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 130 : 531～535, 2004.
- 18) Dimitrijevic A, John MS, Van Roon P, et al. : Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses. J Am Acad Audiol 13 : 205～224, 2002.

原稿受付 : 平成17年 8 月 24 日
原稿採択 : 平成17年10月12日
別刷請求先 : 武田真紀子
〒683-8504 鳥取県米子市西町36-1
鳥取大学医学部耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野