

いる。彼女らは New York の聾学校における難聴児1,150人に対する調査で、全体の4%が当時の自閉症診断基準を満たしたが、その半数で自閉症の診断が難聴よりも数年遅れていたと述べている。自閉症の側からみると、自閉症児に数%の両側高度難聴児が含まれるといった調査結果も報告されており<sup>7)</sup>、両者の重複例は決して稀なものではないことが考えられる。

本研究において、早期診断群の3例は生後2か月以内に難聴と診断され、それから半年以内に補聴器装着が開始されている。乳児期の発達経過で異常を指摘されたのは3例中1例のみで、他の2例と比較しても全身の筋緊張低下が著明であった。PDD としての特徴が保護者または言語聴覚士 (ST) に気付かれるようになったのは、早くとも1歳7か月時であった。3例の共通項は周囲への関わり方が不自然ということであり、音への反応の有無よりも対人関係のとり方や行動の特徴が集団場面で目立ち、PDD の傾向に気付かれやすかった。当センターでは、ST が発達障害の評価について熟知していたことも、早期発見に大きく影響したと考えられた。PDD としての特徴への気づきが他の4例と比較して遅かった症例2は、3歳時における1対1場面でのコミュニケーションに他の4例ほどの支障は生じていなかった。保育園に入園した3歳時に、その行動的特徴から初めて PDD としての特徴が明確になった。この症例のみ、発達指数が正常範囲であった。幼児期診断群が早期診断群と比較して異なっている点は、幼児期の補聴器装着後においても言語刺激に対する反応が低いことと、言語習得が困難なことであった。症例4の6歳時における WPPSI 知能検査では、動作性 IQ は117であったが、言語性 IQ は45以下と有意な乖離が認められた。

欧米では乳幼児の発達およびその障害に対する関心の高さから、3歳未満の児に対する早期診断および介入への研究がすすんでいる。Zwaigenbaum ら<sup>8)</sup>はハイリスク乳児の研究から、2歳までの間にあらわれる PDD の早期徴

候を以下のようにまとめた；固視や追視の非典型性、非典型的な運動のマナーリズム、動作模倣の発達遅延、反復的で限定された玩具遊び、視線を合わせない、呼名反応に乏しい、対人的喃語やジェスチャーの発達遅延などである。これらの徴候は単一では非特異的なものになりがちだが、われわれの研究では集団場面における行動観察によって正常発達の難聴児との区別を行えた。

PDD の原因はまだ明らかにはされていないが、複数の遺伝子異常などを含む多因子の可能性があり<sup>1)</sup>、それが共通項は多いが多様な表現型を生み出しているものと考えられる。難聴と PDD が併存した症例について、PDD の多因子性の中に、難聴と関連する原因のものが含まれる例や、偶然の合併として起こった例のどちらもあり得る。本研究で検討した5例のうち、難聴と発達障害の双方に影響を及ぼしうる要因をもっていたのは2例 (症例3, 5) であり、それぞれ胎内感染<sup>9)</sup>および周産期の問題の可能性が高いと考えられた。

## ま と め

言語を含むコミュニケーション発達への介入方法は難聴と PDD とでは異なる部分が多く、出来るだけ早期から児の障害と特性に合わせた介入が求められる。そのため、乳児期から幼児期初期の間における行動的特徴には留意する必要がある。幼児期の発達指数でみた特徴として、60未満では他者と視線が合わない、周囲への関心が低い、ジェスチャーによる表出がみられないことがあった。発達指数90以上の例では、1歳台でジェスチャーや指差しが出来ていた、保護者との情緒的やりとりが乏しかった、こだわりの強さが目立ったという特徴がみられた。

## 文 献

- 1) Levy SE, Mandell DS, Schultz RT.: Autism. Lancet 2009; 374: 1627-38
- 2) Jure R, Rapin I, Tuchman RF.: Hearing-impaired autistic children. Dev Med Child Neurol 1991; 33: 1062-72

- 3) American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition (DSM-IV). 1994, American Psychiatric Association, Washington DC. (高橋三郎, 大野 裕, 染矢俊幸訳: DSM-IV 精神疾患の診断・統計マニュアル. 医学書院, 東京; 1995: 82-95頁)
- 4) 北 葵子, 前田知佳子, 村井ふみ, 他: 新生児聴覚スクリーニングと埼玉県立小児医療センターにおける難聴乳児と母親のための初期リハビリテーションプログラム—難聴ベビー外来開設 8 年の経過と展望—. 埼小医誌 2008; 24: 205-10
- 5) Centers for Disease Control and Prevention.: MMWR 2007 Feb; 56(SS-1): 12-27
- 6) Hayes RW, Gordon AG.: Auditory abnormalities in autistic children. Lancet 1977; 2: 767
- 7) Rosenhall U, Nordin V, Sandstrom M, et al.: Autism and hearing loss. J Autism Dev Disord 1999; 29: 350-57
- 8) Zwaigenbaum L, Bryson S, Lord C, et al.: Clinical assessment and management of toddlers with suspected autism spectrum disorder: insights from studies of high-risk infants. Pediatrics 2009; 123: 1383-91
- 9) Kimani JW, Buchman CA, Booker JK, et al.: Sensorineural hearing loss in a pediatric population: association of congenital cytomegalovirus infection with intracranial abnormalities. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2010; 136: 999-1004

原稿受理 2011年1月26日

別刷請求先:

〒339-8551 埼玉県さいたま市岩槻区馬込2100  
埼玉県立小児医療センター神経科 田中 学

## Characteristics of cases with comorbid profound deafness and pervasive developmental disorders

Manabu Tanaka<sup>1)</sup>, Nodoka Adachi<sup>2)</sup>, Satoshi Asanuma<sup>3)</sup>, Hideaki Sakata<sup>3)</sup>

- 1) Division of Neurology, Saitama Children's Medical Center  
2) Division of Otorhinolaryngology, Saitama Children's Medical Center  
3) Department of Speech, Language and Hearing Therapy, Faculty of Health Sciences, Mejiro University

Pervasive developmental disorders (PDD) including autism and profound deafness are both particularly difficult to diagnose in infancy and early childhood. Communication in PDD children is so strikingly impaired that it may resemble communication in deaf children, but the specific intervention methods are different. Our objective is to determine the characteristics in cases of comorbid profound deafness and PDD. We conducted a retrospective review of five children with comorbid bilateral sensorineural hearing loss and PDD. An early intervention group (n=3) was found in a newborn hearing screening program, and a late intervention group (n=2) was identified by language development delay. PDD was recognized in children of both groups by analysis of behavior profiles in a group setting. They had the same inappropriate interpersonal communication characteristics. The late intervention group tended to be less likely to respond to speech and to acquire language. These overlap cases need early intervention based on their characteristics.

**Key words:** pervasive developmental disorder, autism, bilateral profound deafness, newborn hearing screening, early intervention

原著

## ASSR 検査における入眠導入時間と検査時間の検討

横田 進<sup>1)</sup>, 榎本 英雄<sup>1)</sup>, 安達のどか<sup>2)</sup>  
浅沼 聡<sup>2)</sup>, 坂田 英明<sup>3)</sup>

1) 埼玉県立小児医療センター検査技術部

2) 埼玉県立小児医療センター耳鼻咽喉科

3) 目白大学保健医療学部言語聴覚学科

気導 ASSR (聴性定常反応) 検査の効率的な運用を目指し、睡眠導入剤投与からの睡眠導入時間と検査時間および検査時間と難聴程度との関係を検討した。対象は睡眠導入時間、検査時間等の把握ができ、左右搬送周波数250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz すべてを測定できた患児144例、平均年齢4.1±3.4歳とした。ASSR 検査は Navigator Pro<sup>®</sup>を用い、睡眠導入剤は2回投与を限度とした。

睡眠導入剤1回投与で検査が完了した割合は60.7%であり、平均睡眠導入時間は40分前後であった。睡眠導入剤ごとの内訳は、トリクロリールが62.8%、ラボナが41.7%、エスクレが63.6%であった。検査時間は、1時間24分±26分であった。我々が規定した閾値を合計した難聴指標と検査時間には正の相関が認められた。検査時間の短縮には、他の聴覚検査や前回値を考慮して、開始刺激音圧を決定する必要がある。

キーワード: ASSR, MASTER, 睡眠導入剤, 睡眠導入時間, 検査時間

### はじめに

自動聴性脳幹反応検査装置 (自動 ABR) が広く新生児聴覚スクリーニングに用いられるようになり、その後の耳鼻科医による聴覚の確定診断はきわめて重要となった<sup>1)</sup>。精密聴力検査の聴性脳幹反応 (ABR) は他覚的聴力検査法の中で最も普及している。しかし、気導 ABR 検査においてクリック音を用いた場合は、2~8 kHz の聴力は反応閾値に反映されるものの、低中音域の聴力は反映されない<sup>2)</sup>。低周波数のトーンバーストによる気導 ABR は、周波数特性異性および閾値の信頼性がまだ確かなものとはなっていない。このため、低音域の聴力評価に聴性定常反応 (ASSR) の有用性が高まり普及

しつつある<sup>3)</sup>。

気導 ASSR 検査は、検査時間が長いという指摘がある。また、小児においては、睡眠中の検査が必要であり、睡眠導入剤を用いても昼間に長時間の睡眠状態を保つのは難しく<sup>4)</sup>、途中覚醒により検査が中断あるいは中止を余儀なくされることも少なくない。このため、気導 ASSR 検査には患児はもとより保護者にも負担がかかる。

研究目的は、睡眠導入剤の種類による睡眠導入時間と検査時間の調査、および難聴の程度と気導 ASSR 検査時間の関係を明らかにし、効率的な検査運用のための検討である。

## 対象および方法

### 1. 対象

埼玉県立小児医療センター耳鼻咽喉科を受診し、睡眠導入剤投与時刻、睡眠導入時間、検査時間の把握ができ、両耳の気導 ASSR 検査 (以下、ASSR 検査とする) ができた患児 144 例を対象とした。内訳は ASSR 検査のみ行った患児が 99 例 (男児 47 例, 女児 52 例, 平均年齢  $3.8 \pm 3.2$  歳), 同日に気導 ABR 検査 (以下、ABR 検査とする) を併用した患児が 45 例 (男児 24 例, 女児 21 例, 平均年齢  $4.4 \pm 3.7$  歳) である。

### 2. 睡眠導入剤

睡眠導入剤は、トリクロリール<sup>®</sup>シロップ 10% (アルフレッサ ファーマ株式会社; トリクロホスナトリウム, 以下トリクロリールとする), ラボナ<sup>®</sup>錠 (田辺三菱製薬株式会社; ペントバルビタールカルシウム, 以下ラボナとする), エスクレ<sup>®</sup>注腸用キット「500」(久光製薬株式会社; 抱水クロラル, 以下エスクレとする) の 3 種類の中から主治医が選択した。1 剤目で入眠できない場合は 1 回の追加を限度とし, 1 時間を目安に保護者の承諾が得られた場合に追加投与を行った。トリクロリール 1 剤目投与量は体重 10 kg 未満が 0.5 ml/kg, 20 kg までは 1.0 ml/kg, 25 kg 以下を 20 ml とした。ラボナは体重 3 kg から 6 kg 未満が 10 mg, 6 kg から 9 kg 未満が 20 mg で 21 kg 未満までは 3 kg ごとに 10 mg ずつ増量し, 21 kg から 25 kg 未満は 60 mg, それ以降は 40 kg 未満までは 5 kg ごとに 10 mg ずつ増量した。エスクレは体重 5 kg から 10 kg 未満が 250 mg, 10 kg から 25 kg 未満が 500 mg, 25 kg から 40 kg 未満を 750 mg とした。第 2 剤目は, 1 剤目の半量とした。検査当日はなるべく睡眠不足で来院途中に眠らないように事前に説明し, 授乳がある場合には保護者に睡眠導入剤服用後に様子をみながら与えるように指導した。

### 3. 測定操作

検査は脳波検査用のシールドルーム内で照明を落として行った。

### 1) ASSR 検査

測定装置は, Navigator Pro<sup>®</sup> MASTER<sup>®</sup> (Bio-logic 社製) を用いた。

皮膚前処理と電極装着, インサートイヤホンの装着については, 付属の測定マニュアルに従った。

主な測定条件は, サンプリング点 1024 点, 解析時間 1024 ms を 1 epoch, 16 epoch を 1 sweep とし刺激音圧と最高加算回数との関係を表に示す。刺激音には両耳 4 周波数同時刺激の基準となる搬送周波数 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz を用い, 60~100 Hz の 8 つの変調周波数の複合正弦波的振幅変調音により測定を行い, さらに搬送周波数 250 Hz の測定も行った。

### 2) ABR 検査

測定装置は, MEB2200<sup>®</sup> (日本光電社製) を用いた。皮膚前処理と電極装着, ヘッドフォンの装着については, 付属の測定マニュアルに従った。

主な測定条件は, 感度  $10 \mu\text{V}/\text{div}$ , 刺激頻度 20 Hz, 刺激音圧 20~80 dB (80 dB で反応が認められない場合 100 dB), クリック音刺激を用いた。

## 4. 睡眠導入時間と検査時間の計測

### 1) 睡眠導入時間

① 睡眠導入剤を投与してから, 入眠し検査が可能になるまでの時間とした。

② 電極装着中に覚醒した場合は, 再入眠までの時間を含めた時間とした。

③ 睡眠導入剤の追加をした場合は, 1 剤目の投与からの時間とした。

### 2) 検査時間

電極装着から検査終了までで, 途中覚醒時間を除いた実時間とした。

### 5. 閾値を合計した難聴指標

閾値を合計した難聴指標は, 両耳の 5 周波数帯の閾値を合計した数値と規定した。例えば, 搬送周波数 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz の左右のそれぞれの閾値が, 左側 90, 90, 100, 100, 100 で, 右側 30, 30, 40, 40, 30 である場合は, 650 となる。閾値がスケールオーバーの時は, 各周波数帯の測定可能上限を閾値とし

た。250 Hz の場合は 100 dB, 500 ~ 4 kHz は 115 dB とした。両耳とも 5 周波数帯で測定閾値が下限値の場合は難聴指標 200 となり, すべてが上限値の場合は 1120 である。

6. 統計処理

ASSR 検査時間と閾値を合計した難聴指標との相関係数の有意差検定を行った。

結 果

1. 睡眠導入剤の使用状況

睡眠導入剤 1 剤目の内訳は, トリクロリールが 121 名 (84.0%), ラボナが 12 名 (8.3%), エスクレが 11 名 (7.7%) であった。1 回の睡眠導入剤投与で入眠し検査が完了した患児は, 88 例 (60.7%) であり, 睡眠導入剤のごとの内訳は, トリクロリールが 62.8%, ラボナが 41.7%, エスクレが 63.6% であった。

1 回の投与で入眠できず 2 回目を追加した患児および検査途中で覚醒し 2 回目を追加した患児は, 56 例 (38.9%) であった。睡眠導入剤の 1 回目投与と 2 回目投与の内訳は, 1 回目がトリクロリールで 2 回目がラボナの組み合わせが 60.6%, ラボナとラボナが 9.1%, トリクロリールとトリクロリールが 4.5%, エスクレとエスクレが 4.5%, トリクロリールとエスクレが 3.0%, ラボナとエスクレが 1.5%, エスクレとトリクロリールが 0.7% であった。

2. 1 回の睡眠導入剤投与で ASSR 検査が終了した患児の睡眠導入時間

ASSR 検査を単独で実施し, 1 回の睡眠導入剤投与で入眠した患児 65 例の平均睡眠導入時間は, トリクロリールが 41 ± 18 分 (56 例), ラボナが 37 ± 3 分 (2 例), エスクレが 36 ± 15 分 (7 例) であった。各薬剤の最短時間から最長時間は, トリクロリールが 14 分から 1 時間 27 分, ラボナが 35 分から 40 分, エスクレが 15 分から 55 分であった。

3. ASSR 検査時間

ASSR 検査を単独で実施し, 搬送周波数 250 Hz から 4 kHz までの 5 周波数の ASSR 検査が両耳できた患児 99 例の電極装着から検査終了までの検査時間の分布を図 1 に示す。平均検査

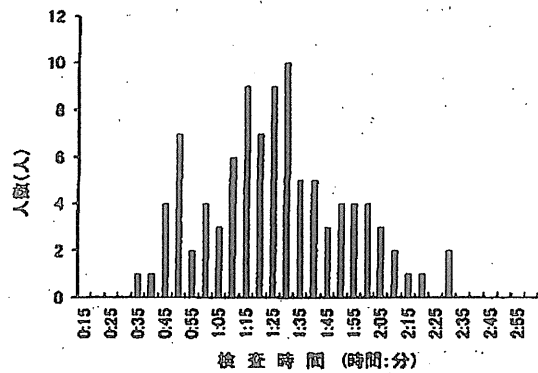


図 1 電極装着から検査終了までの検査時間 (n=99)

時間は 1 時間 24 分 ± 26 分であり, 最短時間は 30 分, 最長時間は 2 時間 26 分であった。

4. 睡眠導入時間と ASSR 検査時間

ASSR 検査を単独で実施した患児の睡眠導入時間と ASSR 検査時間の状況を図 2 に示す。睡眠導入剤 1 回の投与で入眠した患児は 65 例, 2 回の投与で入眠した患児は 34 例であった。睡眠導入剤投与から検査終了までの時間は, 最短が 1 時間 4 分で, 最長 4 時間 11 分であった。

5. 同日に ASSR と ABR の併用検査を行った検査時間

ASSR と ABR の併用検査を行った 99 例の平均検査時間は 2 時間 7 分 ± 42 分であり, 最短時間は 1 時間 10 分, 最長時間は 3 時間 40 分であった。ASSR 検査と ABR 検査の順序は主治医の指示に従った。

6. 閾値を合計した難聴指標と ASSR 検査時間

閾値を合計した難聴指標と検査時間の関係を図 3 に示す。両者の関係は, 回帰直線が  $y = 0.026x + 66.6$ , 相関係数  $r = 0.287$  ( $p < 0.01$ ) であった。

考 察

小児の脳神経学的な生理機能検査では, 睡眠導入剤を投与して入眠してから測定操作に入ることが多い。睡眠導入剤時間の報告は, 脳波検査に比べ ASSR 検査, ABR 検査などの耳鼻科系検査については少ない。入眠後に覚醒しやすい時期は, 脳波検査では電極装着時が多いが,

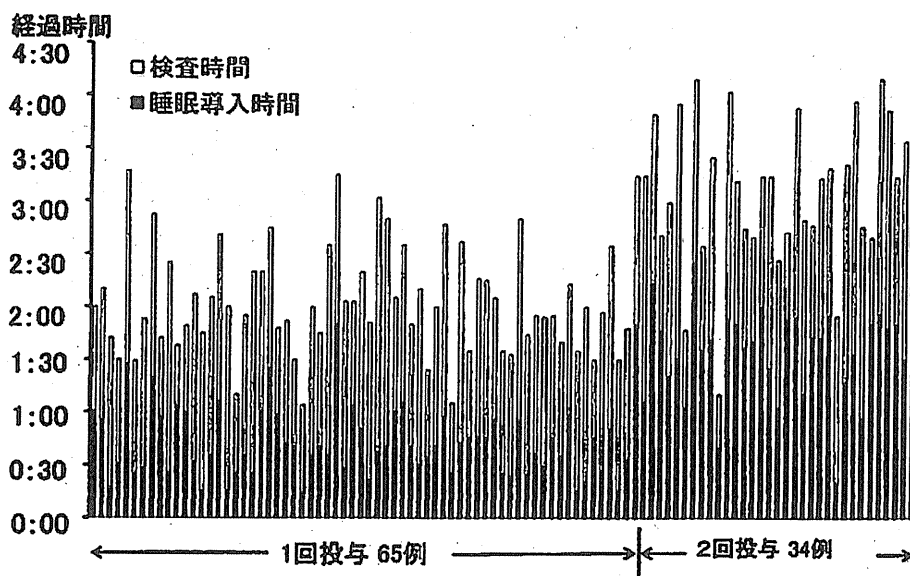


図2 睡眠導入時間と ASSR 検査時間

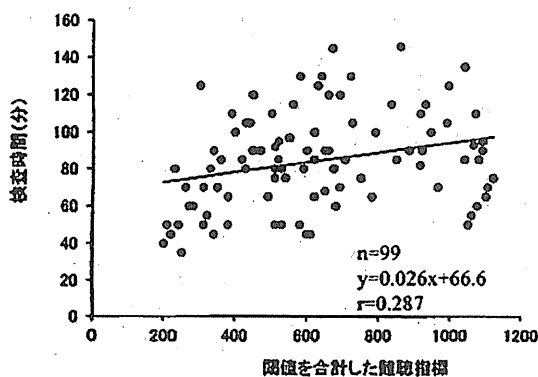


図3 閾値を合計した聴聴指標と検査時間

ASSR 検査, ABR 検査では電極装着時よりも音刺激を行っている全般である。したがって, ASSR 検査, ABR 検査時は深い睡眠の持続が要求される。このため, 自然睡眠下での検査を行わず睡眠導入剤を用いている。

我々は, Navigator Pro<sup>®</sup>による ASSR 検査を採用していることから睡眠中の測定が必要になる。なぜならば, Navigator Pro<sup>®</sup>は 80 Hz を中心とした変調周波数を用いていることから, 覚醒時には背景脳波により 80 Hz 調周波数追従反応の出現性が低下するが, 睡眠時には良好になるためである<sup>2)</sup>。80 Hz 変調周波数追従反応

の起源は, 睡眠時にも活動の低下を認めない部位で, 中脳や脳幹より末梢の中樞聴覚路であると考えられている<sup>5)</sup>。

睡眠導入剤投与時の問題点は, トリクロリールは口腔内注入後に嘔吐したり, エスクレは注腸直後に排便してしまい再投与するために, 患児の負担および検査開始までの時間の増加である。高阪ら<sup>6)</sup>は, 脳波検査における睡眠導入時間はトリクロリールが 30 分, ラボナが 35 分, エスクレが 39 分であったと報告している。飯塚<sup>7)</sup>は ABR 検査時のトリクロリール投与後の睡眠導入時間について, 生後 1 から 3 カ月が 60.9 分, 4 歳代が 85.2 分であり年齢が上がるに従い睡眠導入時間が延長する傾向がみられたとしている。我々の検討では, トリクロリールが  $41 \pm 18$  分, ラボナは 2 例であるが  $37 \pm 3$  分, エスクレが  $36 \pm 15$  分であった。トリクロリールについては, 飯塚の報告よりも短く, 高阪らの報告よりも長かった。我々は 1 剤目で入眠できない場合は, 保護者に 1 時間を目安に 2 剤目の追加を勧め, 承諾を得られた場合に追加していることから, 飯塚の報告と差が出たと考えられる。ラボナとエスクレは, 高阪らの報告とはほぼ同様であった。

ASSR 検査時間について伊藤ら<sup>8)</sup>は, 両耳 4

周波数同時測定において、音刺激開始から検査終了までが最短25分、最長115分、平均57分であり、90分以内にほとんどの症例で検査を終了することができたとしている。また、検査時間に1時間以上を費やした症例が35例中11例あり、特に一側性難聴の7症例は50分以上の時間を要したと報告している。Lutsら<sup>9)</sup>は約1時間かかるという。両者の報告は4周波数測定における時間であるが、我々はさらに搬送周波数250 Hzを追加測定しているために平均1時間24分、最短は30分、最長は2時間26分とより時間を要している。搬送周波数500 Hzを用いた測定において、閾値が他の周波数よりも大きい傾向にあり、聴覚フィルタの幅に関与すると考えられており<sup>9)</sup>、さらに低い周波数ではその傾向が高まると思われる。現在我々は250 Hzを測定しているが、他の聴力検査との比較していることもあり、測定の存続については今後検討してゆきたい。

ASSR 検査時間の短縮には、前回値や他の聴力検査結果が有る無しの開始刺激音圧の設定と加算回数が大きく関与している。Navigator Pro<sup>®</sup>では加算回数が、刺激音圧でデフォルト(表)が決められており、低い音圧では40 sweepsが最大値であり、1回刺激の解析時間が1024 msで、16 epochsを1 sweepとすると約655秒かかる。加算回数については伊藤ら<sup>10)</sup>は、16 sweepsで十分であるとしている。我々は加算回数のデフォルト値まで継続はせず、F値の変化とnoise levelを見ながら安定している場合は最大sweep数の半分くらいで次の音圧に刺激を変えている。また、閾値の推定ができそうな場合は、その前後の音圧を再度測定し閾値の推定値を決定している。

我々が規定した閾値を合計した難聴指標には、難聴が高度になるに従い値が大きくなる特徴を持たせた。検査時間は、難聴指標が大きくなるに従い延びる傾向が認められた(図3)。これは、Navigator Pro<sup>®</sup>の4周波数を同時に測定できる刺激音圧の上限が80 dBであり、それ以上は1周波数ずつの測定になり、検査時間が増加する要因でもある。一方、難聴指標が最高

表 刺激音圧と最高加算回数との関係

刺激音圧 (dB)	最高 sweeps
20~29	40
30~79	32
80~89	12
90~99	12
100~115	10

値の1120付近では、逆に検査時間が短い症例が認められた。これは、80 dBを超える刺激音圧ではその音圧範囲における最高のsweep数(表)が聴覚器を保護するために少なく設定されていることから、80 dB以下で測定している時よりも時間がかからないためと考えられる。

MASTER<sup>®</sup>測定の問題点として、音圧を順次下げて測定していく中で、それまでに反応が認められなかった音圧に反応が現れる場合があり、神田ら<sup>11)</sup>も同様の指摘をしている。この場合は、その音圧あるいは前後の音圧で複数回の測定をしなければならず、さらに時間を要す原因になる。

ASSR 検査では、事前に保護者に睡眠不足で来院し、睡眠導入剤の投与を受け、長い時間の睡眠持続が必要であることを十分に説明し、理解と協力をいただくことが大切である。また、同日にABR検査もできた場合は、1日で検査が済むために保護者と患児負担の軽減および聴力を評価するために臨床的な意義が高いと思われる。しかし、ASSR検査とABR検査を同日に実施した場合の診療報酬は、平成22年4月の改正においてASSR検査の800点のみの算定となり、診療施設の負担になる点が課題である。

## まとめ

1. 睡眠導入剤(眠剤)1剤を投与してからASSR検査が可能になる割合は65.7%であり、入眠時間の平均は40分前後であった。トリクロロールは1剤で入眠できた薬剤の86.2%を占め、ラボナあるいはエスクレを含め67.5%は1剤で入眠できた。
2. ASSR検査時間は、1時間24分±26分であった。検査時間を短縮させるためには、他の

聴覚検査や前回値を考慮して、開始刺激音圧を決めることも必要である。

3. 閾値を合計した難聴指標から求めた難聴の程度と ASSR 検査時間には正の相関が認められた。

4. 睡眠導入剤投与前は、睡眠不足にしておくことが睡眠導入時間の短縮と睡眠の持続に寄与し、事前に保護者に睡眠不足の重要性を説明し、協力を得ることが大切である。

稿を終わるにあたり、日常検査業務にてご協力およびご指導をいただいた同僚の臨床検査技師 中沢弘子主任、岩田敏弘副部長、飯田昌男部長に深謝致します。

### 文 献

- 1) 坂田英明, 安達のか: 新生児聴覚スクリーニング後の精密聴力検査. 医学のあゆみ 2005; 213: 1009-1010
- 2) 青柳 優, 横田雅司, 鈴木 豊, 他: 80 Hz 変調周波数追従反応の臨床応用. Audiology Japan 1998; 41: 221-227
- 3) 寺岡正人, 兵頭 純, 高橋信雄, 他: 聴性定常反応を用いた他覚的聴力検査機器の小児への使用経験. Audiology Japan 2009; 52: 112-19
- 4) 青柳 優: 聴性定常反応—解説と将来の展望—. Audiology Japan 2006; 49: 761-76
- 5) 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 2004; 47: 214-21
- 6) 高阪好充, 石川達也, 木野久美子, 他: 脳波検査における睡眠導入について—自然睡眠と3種の睡眠薬の比較—. 脳と発達 1999; 31: 153-58
- 7) 飯塚直樹: ABR (聴性脳幹反応) 検査時におけるトリクロリールの睡眠導入時間について. 東三医学会誌 2009; 31: 68-71
- 8) 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 2005; 48: 128-34
- 9) Luts H, Wouters J: Hearing assessment by recording multiple auditory steady-state responses: the influence of test duration. Int J Audiol. 2004; 43: 471-78
- 10) 伊藤 吏, 渡辺知緒, 阿部靖弘, 他: 聴性定常反応の閾値に対する加算回数と背景ノイズの影響. Audiology Japan 2009; 52: 126-32
- 11) 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—AABR, ABR, DPOAE, tympanometry との比較—. Audiology Japan 2005; 48: 187-95

原稿受理 2011年1月20日

別刷請求先:

〒339-8551 埼玉県さいたま市岩槻区大字馬込2100

埼玉県立小児医療センター 検査技術部  
横田 進

## Sleep-induction and testing time in ASSR tests

Susumu Yokota<sup>1)</sup>, Hideo Enomoto<sup>1)</sup>, Nodoka Adachi<sup>2)</sup>, Satoshi Asanuma<sup>2)</sup>, Hideaki Sakata<sup>3)</sup>

1) Department of Clinical Laboratory, Saitama Children's Medical Center

2) Division of Otorhinolaryngology, Saitama Children's Medical Center

3) Department of Speech, Language and Hearing Therapy, Faculty of Health Sciences, Mejiro University Clinic

We studied the relationships between the sleep-induction time from the administration of hypnotics to the test time and between the test time and the extent of hearing loss, aiming at more efficient air-conduction ASSR (auditory steady-state responses) testing. We tested 144 patients with an average age of  $4.1 \pm 3.4$  for whom the sleep-induction and testing times could be obtained and measurements could be made for all carrier frequencies (250, 500, 1 K, 2 K, and 4 kHz) for both ears. Navigator Pro was used for ASSR testing with a limitation of using sleep-inducing drugs up to twice the normal dose. The rate for completing the testing with a single dose of a sleep-inducing drug was 60.7% (62.8% for Tricloryl syrup, 41.7% for Rabona, and 63.6% for Escre). The average sleep-induction time was approximately 40 minutes, and the testing time was  $84 \pm 26$  minutes. There was a positive relationship between an originally created hearing-loss measure and the testing time. In order to shorten the testing time, it is necessary to determine the initial stimulation intensity, considering other hearing tests and previous values.

Key words: ASSR, MASTER, hypnotic, sleep-induction time, testing time



# インサートイヤホンによる SPL フィッティングのための デシベル換算手順

富澤晃文<sup>1,2)</sup>, 坂田英明<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>目白大学保健医療学部言語聴覚学科

<sup>2)</sup>目白大学クリニック

要旨：インサートイヤホンにより得られた聴力検査値を音圧レベルへ換算する手順について、補聴器適合の観点から論じた。2cm<sup>3</sup> SPL, 外耳道内 SPL へのデシベル尺度間の換算に用いる CDD (カプラーダイヤル差), RECD (実耳-カプラー差) の和が REDD (実耳-ダイヤル差) と一致するか, 2種のイヤモード条件下で実測して妥当性を検証した。3A, 5A のインサートイヤホンの特性差, HA-1, HA-2 の 2cm<sup>3</sup> カプラーの特性差, さらにプロープチューブマイクロホンを使用して RECD と REDD が測定された。4000Hz 以下の周波数域において, 両インサートイヤホン間, 両カプラー間には 5dB ほどの差がみられ, CDD に影響すると考えられた。CDD+RECD の和は, 両イヤモード条件下とも REDD と 3dB 以内の僅差で一致しており, 適正な CDD と各耳の RECD の測定により, SPL への閾値変換が可能であることが示された。

## キーワード

インサートイヤホン, 補聴器適合, デシベル尺度, 音圧レベル, 実耳特性

## はじめに

近年, わが国の補聴臨床においてもインサートイヤホン (insert earphones: 挿入形イヤホン) を利用した試みが報告されている<sup>1,2)</sup>。インサートイヤホンは1980年代に Killion によって開発された小型・軽量の聴力検査用イヤホンであり, 現在 3A と 5A の 2タイプが使用されているが, これらは耳載せ形の気導受話器との互換性が考慮されたものである<sup>3,4)</sup>。同イヤホンの特徴の一つに, イヤモード (耳かけ形補聴器用) と結合すると補聴器装着時と同値の実耳特性を反映した聴覚閾値を測定できるという利点がある。この実耳特性については, 低年齢になるほど外耳道容積が小さくなるために鼓膜面音圧が強まり, RECD (real-ear-to-coupler difference: 実耳-カプラー差) が増すことが報告されており, 成人難聴者はもとより, 特に乳児・幼児の補聴器適合

においては同イヤホンの利用が期待される<sup>5)</sup>。

実耳特性に対応した補聴器適合法として, インサートイヤホンによる SPL フィッティングが挙げられる (図 1)。本手法では, 聴力検査値は音圧レベル (sound pressure level: SPL) 上に表示される<sup>6,7)</sup>。標準的な手続きとしては, まずオーディオメータにインサートイヤホンを接続し, イヤモード (もしくはイヤチップ) を検査耳に装着して純音聴力検査を実施する。続いて, 得られた聴力レベル (hearing level: HL) を音圧レベルに変換し, 補聴器の出力特性と聴力検査値を同一の音圧レベル尺度上で比較するという手順を踏む<sup>6-8)</sup>。この手法で用いられる音圧レベルには, 2cm<sup>3</sup> SPL (2cm<sup>3</sup> coupler SPL), 外耳道内 SPL (ear canal SPL) の 2通りがあるが<sup>9,10)</sup>, これらは聴力レベルとの間で換算値の加減算により相互にデシベル尺度間の変換が可能となる (図 2)<sup>8)</sup>。換算値には RECD の他に, CDD (2cm<sup>3</sup>

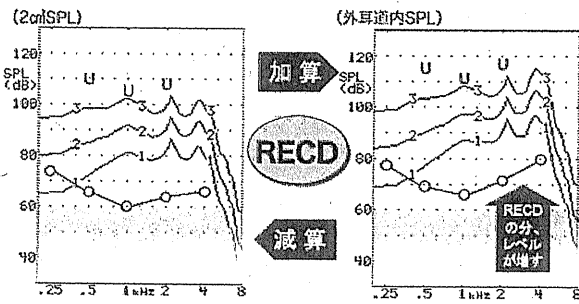


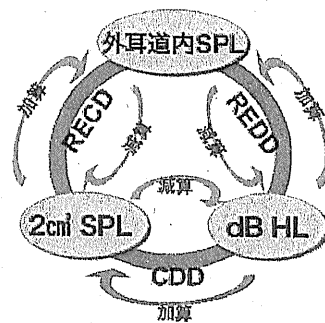
図1 インサートイヤホンによる SPL フィッティングの解説

SPL フィッティングでは、聴力検査値と補聴器の出力レベルを同一の音圧レベル尺度上で比較する。左図が 2cm<sup>3</sup> SPL による方法、右図が外耳道内 SPL による方法で、○印はオーディオメータにインサートイヤホンを接続して、ダイヤルレベルで 60dBHL フラットの聴覚閾値が得られたときの例を示す。U 印は、不快レベル (いずれも 105dBHL) の例を示す。補聴器の出力特性曲線は 1=50dB SPL, 2=70dB SPL, 3=90dB SPL のフラット特性の純音入力によるもので、図上で聴覚閾値・不快レベルとノンリニア補聴器の増幅特性を音圧レベル上で比較することが可能となっている。RECD は、インサートイヤホンによる聴力検査値、補聴器の出力レベルの双方に対して影響するため、右図は左図に比べて RECD の分、数値が増している。

coupler-to-dial difference: カブラ-ダイヤル差), REDD (real-ear-to-dial difference: 実耳-ダイヤル差) が利用されるが、これらには使用するイヤホンや音響カブラの種類による固有の特性差を算入する必要がある<sup>7)</sup>。本研究は、インサートイヤホンによる SPL フィッティングに必要なデシベル換算値を各イヤホン、カブラごとに測定して、音圧レベルへの換算手順の妥当性を検討することを目的とした。

方 法

CDD に影響する音響的要因になりうる、(1)インサートイヤホンの特性差、(2)2cm<sup>3</sup> カブラの特性差を測定した。また(3)RECD, (4)REDD を測定し、実測した REDD が CDD+RECD の和と一致するか検証した。(1)~(4)の測定には、補聴器特性測定装置 (Frye electronics 社 FONIX FP-35) を使用し、測定周波数は 200~8000Hz とした。音響カブラは全て FONIX 用の製品を用い、入力信号にはフラット特性のコンジットノイズ信号 (70dB SPL) を使用



CDD (カブラ-ダイヤル差) : 2cc coupler-to-dial difference  
 RECD (実耳-カブラ差) : real-ear-to-coupler difference  
 REDD (実耳-ダイヤル差) : real-ear-to-dial difference  
 ※ REDD=CDD+RECD

図2 デシベルの輪

聴力レベル (dBHL), 2cm<sup>3</sup> SPL, 外耳道内 SPL の3つのデシベル尺度は、換算値の加減算によって相互に変換が可能となる。2cm<sup>3</sup> SPL と外耳道内 SPL による2通りの SPL フィッティング法の関係も、この図上でとらえることができる。本図は Revit (2002)<sup>8)</sup> を参考に作成した。

した。なお、今回の一連の測定は、耳かけ形補聴器への適用を想定している。

(1) イヤホンの特性差: 3A と 5A の2種のインサートイヤホン (いずれもインピーダンス=10Ω) の出力特性のレベル差を比較した。各イヤホンの標準プラグをミニプラグに変換し、FONIX FP-35 のスピーカ用出力端子に接続した。イヤホン先端のニップル部には E-A-R LINK 3A フォームチップを結合し、2cm<sup>3</sup> HA-1 カブラに粘着剤で固定した。測定には、FONIX FP-35 のエレクトレットコンデンサーマイクロホンを使用した。

(2) 2cm<sup>3</sup> カブラの特性差: インサートイヤホン をオーディオメータに接続して使用する場合、聴力レベル用に機器の較正を行わなければならない。ISO 389-2 によると、較正に用いる音響カブラには、Brüel & Kjaer 社の DB-0138 (2cm<sup>3</sup> HA-2), IEC-711 (擬似耳), 2cm<sup>3</sup> HA-1 の3つがあり、それぞれの較正值が検査周波数別に定められているが、DB-0138 カブラによる較正が基準として推奨されている。当施設が使用するオーディオメータ (Interacoustics 社 AD229e) は、2cm<sup>3</sup> HA-1 カブラにより 3A インサートイヤホン用の較正を実施したものであるが、HA-1 カブラでオーディオメータの較正を行っても、耳かけ形補聴器の特性測定には HA-2 カブラが使用される。両カブラは同容積とはいえ、特性差があるとすればその差は CDD に算入すべきである。このため、HA-1, HA-2 の各カブラの特性差を測るこ

ととした。FONIX FP-35に3A インサートイヤホンをHA-1 (3A フォームチップをカプラ入音孔に粘着剤で固定), HA-2 (カプラのチューブ部とイヤホンのニップル部を結合) の各カプラに接続し, エレクトレットコンデンサーマイクロホンでレベル差を測定した。

(3) RECD: 外耳・中耳に異常のない健常成人1名1耳に, 音孔径のみを変えて作製した2種のイヤモールド (耳かけ形補聴器用) を装着し, 2条件の外耳道内の音響特性下でRECD測定を行った。イヤモールドAは音孔にホーン加工 ( $\phi=3.0\text{mm}$ ) を施し, Bは音孔を狭く ( $\phi=1.5\text{mm}$ ) した。両イヤモールドともプローブチューブ挿入用の平行ベントを開け, 音孔径が異なる以外は, 材質 (硬質アクリル製)・外形ともに同じになるよう作製したものである。測定には3A インサートイヤホンを用いて, まずHA-2カプラ内で基準レベルを測定した後に, 同イヤホンに各イヤモールドを結合して, 外耳道内でのレベル差を比較した。(3)の測定には, すべてFONIX FP-35のプローブチューブマイクロホンを使用した。

(4) REDD: オーディオメータ (AD229e) に3A インサートイヤホンを接続し, (3)と同様に, イヤモールドA・Bを耳に装着して, FONIX FP-35のプローブチューブマイクロホンで外耳道内レベルを測定した。オーディオメータのダイヤルレベルを70dBに設定し, 提示された純音の外耳道内音圧レベルを検

査周波数ごとに測定した後に, 得られた測定値からダイヤルレベル分の70を減じてREDDを算出した。

## 結 果

(1) イヤホンの特性差: インサートイヤホンの特性差を, 図3に示した。同図は, 3Aを基準レベル (0dB) として測定したときの5Aの特性曲線を, 左右の各イヤホンごとに示したものである。3A, 5Aは, 左イヤホン, 右イヤホンで同特性を示していた。5Aと3Aのレベル差はほぼ5dB以内に収まっていたが, 3Aに比べて5Aの方が500Hz以下の低音域のレベルが5dBほど低かった。また6000Hz以上の高音域では, 10dB以上のレベル差が生じていた。

(2) 2cm<sup>3</sup>カプラの特性差: HA-1カプラを基準レベル (0dB) としたときのHA-2カプラの特性を, 図4に示した。HA-1カプラによる平坦な基準特性に対し, HA-2カプラは1000~4000Hz間で最大5dBほど, 6000Hz付近では8dBほどレベルが増していた。オーディオメータの較正に用いたHA-1カプラと, 耳かけ形補聴器の特性測定に用いるHA-2カプラではレベル差があることが示された。

(3) RECD: イヤモールドA・B装着下のRECD

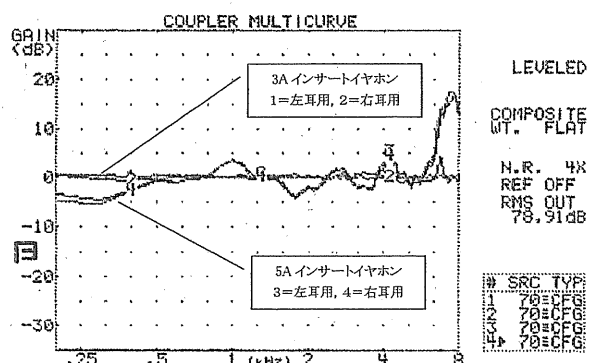


図3 3Aと5Aのインサートイヤホンの特性比較  
3Aを基準レベル (0dB) として, 5Aの出力特性を2cm<sup>3</sup>HA-1カプラでエレクトレットコンデンサーマイクロホンにて測定した。両イヤホンとも, 左耳用と右耳用の2つのイヤホンを測定した。

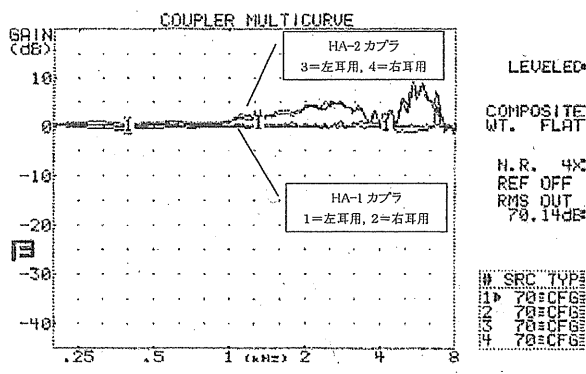


図4 HA-1とHA-2の2cm<sup>3</sup>カプラの特性比較  
HA-1カプラを基準レベル (0dB) として, HA-2カプラの出力特性を測定した。3Aインサートイヤホン (左耳用と右耳用) をHA-1 (3A フォームチップをカプラ入音孔に粘着剤で固定), HA-2 (カプラのチューブ部とイヤホンのニップル部を結合) の各カプラに接続し, エレクトレットコンデンサーマイクロホンでレベル差を得た。

の特性を、HA-2 カプラの特性を基準レベル (0dB) として示したものを図5に示した。AとBによる RECD の差は、2000Hz より高い周波数域において増していた。イヤモードAとBの音孔の大きさによる音響効果が実耳でレベル差となって表れたことになる。

(4) REDD: イヤモードA・B装着下の各検査周波数における REDD を、表1に示した。(3)と同様のイヤモードA・Bによるレベル差が、2000Hz より高い周波数域に生じていた。

以上の(1)から(4)を基に、 $CDD + RECD = REDD$  の式が成り立つかどうか、各測定値を加算して検証した(表2)。CDD+RECDの和と REDD の差は、イヤモードA・Bともに4000Hz以下の周波数域においては、3dB以内(レンジ: -0.8~+2.2dB)の僅差に収まっていたが、6000Hzと8000Hzにおいて差は4~8dBまで増していた。

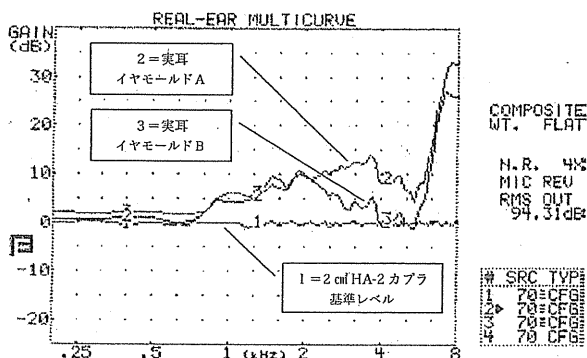


図5 HA-2 カプラと実耳(イヤモードA, B装着下)の特性比較

HA-2カプラを基準レベル(0dB)として、イヤモードA, B装着下の実耳特性を測定した。基準レベルと実耳特性との差がRECDを表す。3Aインサートイヤホンとプローブチューブマイクロホンを用いて測定した。

考 察

本研究の主旨は、インサートイヤホンによる SPL フィッティングが用いるデシベル換算手順を、イヤホン、カプラの特性差を含めて示すことにある。

まずCDDについて述べる。CDDの値は、使用オーディオメータからのイヤホンの出力レベルと2cm³カプラの特性によって決まる。(1)における3Aと5Aの2種のインサートイヤホンの特性比較の結果では、250~4000Hzの周波数帯においてはほぼ平坦な特性であった。しかし、両イヤホン間には最大で±5dBほどのレベル差がみられ、6000Hz以上の周波数域ではレベル差が10dB以上も増していたことから、3A・5Aのイヤホン別にオーディオメータの較正を実施するのが適切と考えられた。また、(2)における2cm³カプラ間の特性比較の結果も特性差がみられ、1000Hz以上の周波数域においてHA-2カプラの方が最大で8dBほどレベルが増していた。HA-1とHA-2の両カプラは同容積であるが、形状と結合法の違いからレベル差が生じたものと考えられる。このようにイヤホン、カプラともに同一特性でなかったことから、CDDは検査・測定に使用するイヤホン、カプラを用いて測定すべきといえる。

次にRECD, REDDについて述べる。RECDに影響する要因として、外耳道容積が主に挙げられているが<sup>5)</sup>、本研究ではイヤモードの音孔加工によりRECDを変化させた。RECDに影響する音響的変数として容積のみならず、イヤモード、外耳道・鼓膜インピーダンス、測定システムといった複数の伝達特性による要因を考慮すべきと思われる。表2をみると、4000Hz以下において、2種のイヤモードの条件下でCDD+RECDの和がREDDと3dB以内の僅差で一致したことから、主要周波数帯

表1 イヤモードA, B使用下の REDD

	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	(Hz)
イヤモードA	17.7	8.7	3.5	6.9	10.6	16.2	17.3	9.6	9.5	18.9	(dB)
イヤモードB	18.4	9.8	4.4	8.7	13.4	17.2	8.3	0.8	5.4	12.6	〃

ISO 389-2により、3Aインサートイヤホン用に較正されたオーディオメータ(AD 229e)を使用し、プローブチューブマイクロホン(FONIX FP-35)にて測定した。オーディオメータのダイヤルレベル70dB時の、イヤモードA・B装着下の外耳道内出力レベルを測定して、70を差し引いてREDDを算出した。

表2 CDD+RECD の和と REDD との差

		250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000	(Hz)
2 cm <sup>3</sup> カ プ ラ	RETSPL (HA-2 DB-0138)	14.0	5.5	2.0	0.0	2.0	3.0	3.5	5.5	2.0	0.0	(dB)
	RETSPL(HA-1)	14.5	6.0	2.0	0.0	2.5	2.5	2.5	0.0	-2.5	-3.5	〃
	① CDD(HA-2)	16.2	7.0	2.9	1.5	2.8	6.8	6.3	-0.7	2.9	-5.9	〃
イ ヤ モ ー ル ド A	② RECD	0.8	1.0	0.9	4.3	7.8	9.5	11.8	8.1	11.3	33.1	〃
	③ CDD+RECD(①+②)	17.0	8.0	3.8	5.8	10.6	16.3	18.1	7.4	14.2	27.2	〃
	④ REDD	17.7	8.7	3.5	6.9	10.6	16.2	17.3	9.6	9.5	18.9	〃
	④-③の差	0.7	0.7	-0.3	1.1	0.0	-0.1	-0.8	2.2	-4.7	-8.3	〃
イ ヤ モ ー ル ド B	⑤ RECD	1.9	2.1	1.8	5.9	9.7	10.0	2.8	-0.5	7.6	26.1	〃
	⑥ CDD+RECD(①+⑤)	18.1	9.1	4.7	6.4	12.5	16.8	9.1	-1.2	10.5	20.2	〃
	⑦ REDD	18.4	9.8	4.4	8.7	13.4	17.2	8.3	0.8	5.4	12.6	〃
	⑦-⑥の差	0.3	0.7	-0.3	1.3	0.9	0.4	-0.8	2.0	-5.1	-7.6	〃

2cm<sup>3</sup> カプラ (DB-0138 HA-2, HA-1) の基準等価閾値音圧レベル (reference equivalent threshold SPL: RETSPL), および使用オージオメータ (AD229e) から得た CDD (FONIX HA-2 カプラによる), 実耳測定で得た RECD, REDD をイヤモールド別に示した。推定 RECD (=CDD+RECD) と実測された REDD の差は, 4000Hz 以下の周波数域では -0.8~+2.2dB 以内の僅差であった。これらは 3A インサートイヤホンによって測定された。

における RECD の測定上の信頼性は高いことが示唆された。一方で 6000Hz 以上において差が増していたが, Revit (2002) はプローブチューブマイクロホンの挿入深度による測定誤差は高周波数になるほど増すことを述べており<sup>8)</sup>, 今回の測定結果もプローブチューブに関わる誤差が混入したと思われる。4000Hz 以下において僅差となった理由として, 例えば実耳測定法の 1 つである REAR (real-ear-aided response) 測定にはスピーカから検査音を提示する音場測定の手順が含まれるが, RECD, REDD 測定には音場測定が含まれないため, 今回は純粋にプローブチューブ使用に伴う測定誤差のみしか影響しなかったことが考えられる。プローブチューブによる高音域の誤差には留意すべきではあるが, Scollie 他 (1998), Munro 他 (2003) は RECD の測定上の信頼性が高いことを報告しており<sup>6,7)</sup>, 音場測定の手順を含まない RECD, REDD は, いくつかある実耳測定手順の中でも特に安定した測定法といえる。

ここで実耳特性を考慮したデシベル換算法の意義について考察する。表 2 の結果は, 4000Hz 以下では, いずれのイヤモールド条件下においても CDD

+RECD の和が実測された REDD と一致することを示しており, Revit (2002) による「デシベルの輪」の換算原理<sup>8)</sup> の妥当性が支持されたといえる。聴力レベルの音圧レベルへの換算手順を具体的数値例によって図示すると, 図 6 のようになる<sup>7)</sup>。本換算法の原理は, 一度, 適正な測定法で使用機器の CDD を得ておけば, インサートイヤホンによる聴力検査値を基に 2cm<sup>3</sup> SPL によるフィッティング法を適用でき, さらに各耳の RECD も個別に得られれば, 外耳道内 SPL によるフィッティング法を適用できることを示している。すなわち, 換算値の加算により, 聴力検査値を 2cm<sup>3</sup> SPL か, 外耳道内 SPL のいずれかの音圧レベルに推定値として導くことができ, 同一のデシベル尺度上にある補聴器の出力レベルと比較できることになる。応用例の一つとして, Mueller 他 (2002) は, 不快レベルをインサートイヤホンで測定する手法について解説しているが<sup>9)</sup>, これは補聴器の最大出力音圧レベルの処方の際して, 不快レベルの音圧レベルへの換算を利用したものである。

このように, 本研究が論じる換算手順は成人にも適用可能であるが, 臨床上的有用性が最も高いと考

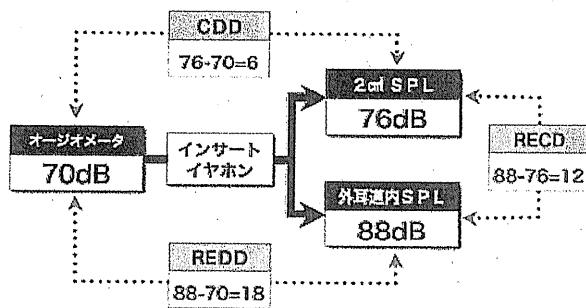


図6 聴覚閾値の音圧レベル (2cm<sup>3</sup>SPL, 外耳道内 SPL) への換算手順

CDDは、検査・測定で使用するオーディオメータ、イヤホン、音響カプラから測定して得る。RECDは補聴器特性測定用の音響カプラと実耳のレベル差から、REDDは検査に用いるオーディオメータ、イヤホンによる実耳レベルから得る。本図の例では、オーディオメータによる聴覚閾値 (70dBHL) にCDD (6dB) を加算すると2cm<sup>3</sup>SPL (76dB SPL) へ変換される。オーディオメータによる聴覚閾値 (70dBHL) にCDD + RECD (6+12=18dB)、もしくはREDD (18dB) を加算すると、外耳道内SPL (88dB SPL) へ変換される。このように、換算値の利用によってインサートイヤホンによる聴力検査値 (dBHL) を2つの音圧レベルのいずれかに導くことができる。本図は、Munro (2003)<sup>9)</sup>を参考に作成した。

えられるのは、外耳道が小さくRECDが大きい乳児・幼児の聴力測定、補聴器特性処方に対してであろう。本邦においては、インサートイヤホン・オーディオメトリ、実耳測定ともに試行的段階にあると思われるが、同イヤホンがイヤモールドとの結合によって実耳特性を反映し、かつ乳児・幼児の左右耳別の純音聴力測定法においても利用しうること考え合わせると<sup>1,5,10)</sup>、今後、低年齢児に対するインサートイヤホンによる2通りのSPLフィッティング法の臨床的意義についてさらなる検討が求められるところと思われる。

本研究の要旨は、第55回日本聴覚医学会学術講演会において口演した。

#### 註

1) 乳児・幼児の聴覚閾値を音圧レベルへ換算すべき理由の1つとして、成人の耳を基準とした聴力レベル尺度は、外耳道容積が小さく、成人とのRECDの差が大きい低年齢児には適さないという問題が挙

げられる<sup>5,6)</sup>。小さな外耳道容積においては高周波数になるほど鼓膜面音圧が増すため、オーディオメータの0dBが正常耳の最小可聴閾値の基準レベルを表さないからである。

2) 音圧レベルは音波の圧力20μPaを基準音 (0dB) にした物理的尺度であるが、音波が伝播する音場条件によってレベルが変わる。すなわち音源のパワーが等しくても、2cm<sup>3</sup>カプラ内と外耳道内では音圧レベルは異なる値を示す。2cm<sup>3</sup>SPLによるフィッティング法には筆者らの方法<sup>11)</sup>があるが、これは大和田法<sup>12)</sup>の原理 (2cm<sup>3</sup>SPLヒヤリングメータによる聴覚閾値を補聴器特性図と重ね合わせるもの) をオーディオメータとインサートイヤホンに基づく手順に応用したものである。外耳道内SPLによるフィッティング法には、SeewaldらのDSL法<sup>5)</sup>がある。前者の2cm<sup>3</sup>SPLによる手順にRECDの算入は不要であるが、後者は外耳道内レベルを基にするため必要となる。

#### A procedure of decibel conversion for SPL fitting using insert earphones

Akifumi Tomizawa<sup>1,2)</sup>, Hideaki Sakata<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Mejiro University, <sup>2)</sup>Mejiro University Clinic

The purpose of this study was to verify the validity of the conversion procedure for a hearing aid prescription based on deriving dB sound pressure level (SPL; 2cm<sup>3</sup>SPL or ear canal SPL). The procedure used dBHL audiometric data obtained with insert earphones, adding the coupler-to-dial difference (CDD) and the real-ear-to-coupler difference (RECD) to convert the data to SPL. To evaluate the acoustic factors affecting the CDD and the RECD, the difference of the acoustic level between 2 insert earphones (3A and 5A) and between 2 types of 2cm<sup>3</sup> couplers (HA-1 and HA-2) were measured. The RECD and the real-ear-to-dial difference (REDD) of the direct output level of the audiometer were measured in the real-ear worn 2 acoustically modified earmolds, with a FONIX FP-

35 probe tube-microphone system. The predicted REDD (CDD + RECD) values were compared to the measured REDD to verify the converting procedure. The results showed that the 2 insert earphones were acoustically different within 5dB in the 200~4000Hz range and over 10dB at around 6000 Hz. The difference between the 2 couplers increased as frequencies rose above 1000Hz. The predicted REDD corresponded to the measured REDD within 250~4000Hz in each earmold, the difference did not exceed 3dB. The results demonstrated the converting procedure was valid and reliable for dB transformation. The CDD measured for an individual audiometer and the RECD measured in the real-ear can be used for deriving the SPL.

#### 参考文献

- 1) 富澤晃文, 加藤靖佳: 聴覚障害乳幼児における補聴効果の検証手順について—インサートイヤホンを使用した visual reinforcement audiometry の応用—. 心身障害学研究 22: 113-122, 2003
- 2) 福元儀智, 杉原三郎, 友森操, 他: インサートイヤホン, SPL メータによる MCL を指標とした補聴器フィッティング. Audiology Japan 44: 95-100, 2001
- 3) Killion M: New insert earphones for audiometry, Hearing Instruments 35 (July): 28, 46, 1984
- 4) Wilber LA: Transducers for audiologic testing. in Katz J (ed), Handbook of clinical audiology (5th Ed). Lippincott William & Wilkins Co. Ltd, Philadelphia, 2002, pp88-95
- 5) Scollie SD, Seewald RC: Hearing aid fitting and verification procedures for children. in Katz J (ed), Handbook of clinical audiology (5th Ed). Lippincott William & Wilkins Co. Ltd, Philadelphia, 2002, pp678-706
- 6) Scollie SD, Seewald RC, Conelisse LE, et al: Validity and repeatability of level-independent HL to SPL transforms. Ear and Hearing 19: 407-413, 1998
- 7) Munro KJ, Davis J: Deriving the real-ear SPL of audiometric data using the “coupler to dial difference” and the “real ear to coupler difference”. Ear and Hearing 24: 100-110, 2003
- 8) Revit LJ: Real-ear measures. in Valent M (ed), Strategies for selecting and verifying hearing aid fittings (2nd Ed). Thieme Medical Publishers, New York, 2002, pp66-124
- 9) Mueller HG, Hornsby B: Selection, verification, and validation of maximum output. in Valent M (ed), Strategies for selecting and verifying hearing aid fittings (2nd Ed). Thieme Medical Publishers, New York, 2002, pp23-65
- 10) 富澤晃文, 佐久間嘉子, 遠藤まゆみ, 他: 0歳6ヵ月前に補聴器装用を開始した乳児3例—補聴器形の選択, VRA 閾値, RECD, きこえの発達評価について—. 小児耳鼻 31: 330-337, 2010
- 11) 富澤晃文, 加藤大典: 聴覚障害乳幼児におけるノンリニア補聴器の特性評価の一手順—2cm<sup>3</sup>カプラ内音圧レベルへの閾値換算を用いて—. Audiology Japan 51: 648-655, 2008
- 12) 大和田健次郎: 補聴器のフィッティング (三訂版)。岩崎学術出版社, 東京, 2004

(2011年1月13日受稿 2011年2月9日受理)

別冊請求先: 〒339-8501

埼玉県さいたま市岩槻区浮谷320

目白大学保健医療学部言語聴覚学科

富澤晃文

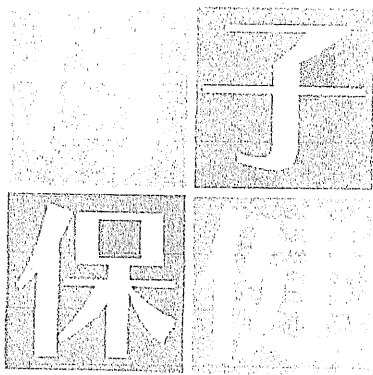
Akifumi Tomizawa

Department of Speech, Language and

Hearing Therapy, Mejiro University

320 Ukiya, Iwatsuki-ku, Saitama, 339-

8501, Japan



主な内容

- ◆インタビュー ことばの発達 ..... 1
- 日常生活でできる 体験や経験を増やそう ..... 4
- 精神神経発達の視点から考える ことばの遅れ ..... 6
- 耳の聞こえとことば ..... 8
- 東日本大震災で被災した 妊産婦及び乳幼児に対する保健指導について ..... 10
- 第32回母子保健奨励賞 ..... 13
- セミナー情報 ..... 17

2011年5月号  
 平成23年5月1日発行  
 通巻第625号(毎月1日発行)  
<http://www.mcfh.or.jp>  
03(63)14-(1959)8月11日第三種郵便物認可

**重要ビタミン**

大切なあなたのために...

化学調味料・食塩を無添加  
 リケン「素材力だし」  
<http://www.rikenvitamin.jp/>

今月のテーマ

# ことばの発達

## ◆インタビュー

子どもの発達支援を考えるSTの会代表 言語聴覚士 中川 信子

ことばが早いか遅いかは、子育て中の大きな気がかりのひとつです。「ことばの発達は個人差が大きい」といわれる一方で、親のかかわりや環境の影響、ときにはコミュニケーションの障言が潜む可能性もあるからでしょう。

そもそも、ことばやコミュニケーション力の発達を促すために親は何ができるのか、具体的な方法はあるのか。また、ことばが遅いときはどうすればいいのか? 気になるポイントについて、言語聴覚士でことばの発達に問題を抱える子の支援に取り組む、「子どもの発達支援を考えるSTの会」代表の中川信子先生に聞きました。

### 言語発達の基礎は 応答性の高いかわり

——1歳前に話し始める子がいる一方で、3歳近くになってもことばが出ない子もいます。健診でもことばの相談は多いそうですね。

中川 ええ。そのとき、親だけでなく相談を受ける側も、ことばがいくつ出ているかという「言えることば」とらわれがちです。しかし、言語発達は「わかるのが先で言えるのはあと」という法則があって、言えることばは氷山の一角です。水面下に9割の「わかること」が沈んでいます。言えることば

を水鉄砲から出る水にととえるなら、わかることばという水がタンクにたまらなければ出てこない。まずは体験を通してわかることばを増やしてあげる、タンクの水を増やすようなかわりが大事です。加えてもうひとつ、この人に伝えたい、わかってほしいという意欲がある。「ママ」ということばが理解できて言える力があっても、お母さんが振り向いてくれなければことばにはなりません。コミュニケーションの意欲を育てることが重要です。

——なるほど。ことばになる以前の蓄積や意欲が大事なんですね。

中川 実はそれは、乳児期の親子のか

かわりにあります。赤ちゃんが「アー」と声を出すと、お母さんやお父さんが「なあに?」と答える。自分が働きかけると注目してくれるということを通して、赤ちゃんは親が自分に興味を持っていることを知る。このかわりこそ言語発達の基礎。ことばの発達を促すには「これが花よ」と教えることより、子どもの気持ちに敏感に反応する応答

**言語発達は**

.....

わかるのが先で言えるのがあと

初期は個人差が大きい

**ほほえみのある明日へ** 明日をもっとおおいしく **meiji**

★母乳栄養の赤ちゃんの成長をめざす。「母乳サイエンス」

母乳は赤ちゃんの成長に欠かせない大切な栄養源です。4000人以上のお母さま方にご協力いただいた母乳を研究し、成分を母乳に近づけています。

母乳は赤ちゃんの成長に欠かせない大切な栄養源です。4000人以上のお母さま方にご協力いただいた母乳を研究し、成分を母乳に近づけています。

明治乳業株式会社

**栄養バランスアップミルク** 明日をもっとおおいしく **meiji**

明治ステップなら不足しがちな栄養をおいしく、バランスよく補えます。

★母乳食では不足しがちな鉄分・カルシウム補給に。

★風味がよく、すっきりとした飲みやすいおいしさです。

明治乳業株式会社



◆小児

# 耳の聞こえとことば

目白大学保健医療学部言語聴覚学科、目白大学クリニック 坂田 英明・富澤 晃文

乳幼児期は聴覚と脳、ことばがそれぞれ密接に関与しながら発達していくとき。難聴はことばの発達だけでなく、子どもの育ちにさまざまな影響をおよぼすため、とりわけ早期発見と対応が必要だといわれます。

そのための検査と診断、問題があったときの対応について、目白大学クリニックの坂田英明先生と富澤晃文先生にお書きいただきました。

## 赤ちゃんの聞こえ

耳は、ことばを習得するとき重要な役割を担います。母親が赤ちゃんをやさしく抱きながら語りかける光景がよくみられますが、耳は、音やことばを聞くための入り口です。赤ちゃんの耳に音が届いて、その刺激が神経を通じて脳まで伝わると、赤ちゃんは音を感じます。赤ちゃんの脳は、身近な人の声や生活音を聞く経験を重ねると、次第にその音の意味や声の特徴を知り、やがてはことばを聞いて理解できるように育っていきます。耳は音から栄養素を受けとり、脳の発達を促す大切な役割を担っている器官といえます。

脳科学の研究では、聴覚に関わる脳の機能は2～3歳までの早期に神経ネットワークの多くが形成されることが明らかになっており、この時期の聴覚的な経験はことばの習得に大きく影響することが専門家の間では知られてい

ます。耳が聞こえにくい状態は一般に難聴とよばれます。乳幼児期から両耳に難聴があると、発達のさまざまな面に影響が表れ、ことばの発達の遅れ、発音の問題、コミュニケーション上の困難も生じるため、早期から適切な対応をとることが必要です。

## 難聴の影響

乳幼児期の難聴はことばの習得に大きな影響を与えますが、元々の聴覚の役割には、ことばやコミュニケーション以外に幅広い内容が含まれています。

音からは周囲の状況の変化を知ることができます。目と違って耳は閉じることができませんし、死角もありません。音にはそれぞれ方向感があり、音の世界は立体的に感じられます。突然の大きな音に驚き、危険を察知することもできます。音の風景や音楽の知覚も、聴覚の大切な働きのひとつです。

自然の音を聞いて心安らいだり、かつて大好きだった曲をふと耳にして昔の思い出が急に彷彿とされることもあります。このように、聴覚は情感や記憶とも関わりの深いきわめて人間的な感覚であるといえます。難聴による音情報の不足は、これらの点においても、大なり小なり影響を与えるものです。

難聴それ自体は聞こえにくいという障害ですが、子どもが成長するにしたがって、コミュニケーション、読み書きの力、学力、社会参加、自己イメージの形成などに、二次的、三次的に影響が広がってしまうことも少なくありません。このため聴覚障害児の教育は、家族や教育関係者の多くのエネルギーを必要としますが、心理・教育面も含めた長期的な発達支援の視野をもって、子どもの育ちを支えることが大切です。

## 難聴に対する対応

先天性の難聴は1000人に1人の発生率といわれます。近年、わが国でも新生児聴覚スクリーニング検査が広まりました。日本全国の全出生児がスクリーニング検査を受けるまでに至っていませんが、現在、約70%の産科・産院で機器によるスクリーニング検査を母子が退院する前に実施しています。

年度更新教材

新刊

### 母子保健の主なる統計 平成21年度刊行

編集協力 財団法人母子衛生研究会  
体裁 B5判 160ページ  
定価 1,890円(本体1,800円)

新刊

### わが国の母子保健 平成22年刊行

編集協力 財団法人母子衛生研究会  
体裁 B5判 140ページ  
定価 1,890円(本体1,800円)

★お問い合わせ 母子保健事業団 TEL 03-4334-1188 FAX 03-4334-1181

近刊

### 予防接種ガイドブック

本書は「予防接種実施要領」で示された「予防接種と子どもの健康」を分かりやすく再編成し、その内容を掲載しています。

■予防接種を受けましょう/ワクチンの種類と特徴/予防接種の有効性/予防接種と副反応・接種間隔/予防接種の対象となる病気およびワクチン/予防接種を受けに行く前に/他

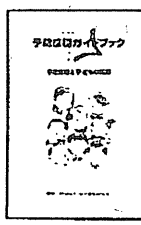
編集指導 平山宗宏  
(母子保育会日本子ども家庭総合研究所名譽所長)

編集協力 財団法人母子衛生研究会

体裁 A6判 32ページ

定価 84円(本体80円) 送料別 200部以上78円(本体75円)

★お問い合わせ 母子保健事業団 TEL 03-4334-1188 FAX 03-4334-1181



赤ちゃんの難聴の精密検査・診断は、小児難聴に対応できる専門の耳鼻科で行われます。脳波を利用した聴力検査(ABR、ASSR)のほか、内耳からの放射音を利用した検査(OAE)も行われます。難聴の原因は遺伝子異常によるもの、聴覚器官の奇形によるもの、胎生期のサイトメガロウイルス感染によるものなどがあり、調べることも可能ですが、検査によって原因が特定できない場合もあります。

いくつかの検査結果を総合的に判断し、治療困難なタイプの難聴だと判断された場合は、早期の対応が必要です。音やことばを聞くには、まず補聴器を使用してできるだけ聞こえを補うのが一般的です。米国のガイドラインでは、先天性の高度難聴がある場合、生後6か月までに補聴器を使用した教育を始めることが推奨されています。

多くの親にとってわが子の難聴は予期せぬ出来事であり、受け容れがたい現実です。両親が建設的な手立てを理解し、「やってみよう」と思えるまでにはさまざまな葛藤がありますが、両親の子育てに対する自信を回復させることがまず何よりも大切です。

初期にはカウンセリングを含めた両親支援が重視されますが、音や声かけを楽しめるような親子間の関わりの活性化をねらった指導や助言も行われます。歌あそび、音あそびも取り入れられます。リハビリテーション・教育を行う機関には、難聴幼児通園施設、ろう学校の早期教育相談、地域のセンターや、病院やクリニックの専門外来な

どがあり、言語聴覚士やろう学校教員などが関わります。それぞれの機関によって教育方針に特色があり、聴覚を重視した教育を展開する施設もありますが、近年では、早期から手話を積極的に併用する施設も増えています。

近年の補聴器はデジタル技術の進歩によって、性能が格段に向上しています。また難聴が重く補聴器の効果が少ない場合は人工内耳が使用されることもあります。人工内耳の手術は両親が希望する場合に行われ、現在、手術年齢の下限は1歳6か月が目処とされています。

コミュニケーションの方法は口話・手話・補聴器・人工内耳とあり、その子に合わせて選択していきます。

## 耳の聞こえとことばの発達

現在では、たとえ重い難聴があっても、新生児聴覚スクリーニングによる早期発見と補聴器・人工内耳の使用によって、より自然に耳からことばを習得できる環境が整いつつあります。表

は、初期の聞こえとことばの発達の筋道を示しています。適切な補聴とていねいな関わりによって、徐々に発達が見られるようになります。

注意すべき点は、新生児聴覚スクリーニングが全出生児を対象に実施されていないため、早期に難聴を発見されない子どもがいることです。また、後天的に難聴が発症する場合があります。耳に障害があっても発声器官自体に異常があるわけではないので、0歳時にさかんな声出しや喃語が見られる時期があります。発声や泣き声が正常だからといって聴力に異常がないとはいえません。子どもの健診の際には、聞こえとことばの発達について注意深く見る必要があります。

耳に障害のある子どもの医療・教育の状況は、現在も変化の途上にあります。今後も医療・補聴テクノロジーや、母子保健・ハビリテーション・教育の進展と連携に伴って、子どもたちの育ちの様相も大きく変わっていくことでしょう。

表 0歳からの聞こえとことばの発達

発達段階 1	音に気づく、音へ注意を向けはじめる : 音と周囲の出来事に関連づけはじめる
発達段階 2	音源をみつけようとする : 音の意味を理解しはじめる; 意図的に声を出しはじめる
発達段階 3	音源をみつける、音源を追う : 音の意味を理解する; 意図的に声を出す
発達段階 4	音/ことばの理解が増す : 声をコミュニケーションのために使う
発達段階 5	聴覚的な言語理解がはじまる : 話しことばを使う; 会話によるやりとりがはじまる

## Information

# リンゴ病(伝染性紅斑)の流行が続いています

国立感染症研究所感染症情報センターの感染症発生动向調査によると、リンゴ病の報告数は2010年秋から例年より増加しています。おそらく、今後も例年よりも増加した状態が継続し、2011年夏に流行のピークを迎えることになると推測されています。

妊婦が初感染した場合、胎児水腫や流産につながる可能性があるため注意が必要です。感染経路は通常は

飛沫感染もしくは接触感染であるため、手洗いやうがい、マスクの着用などが有効だと考えられます。

国立感染症研究所感染症情報センター  
リンゴ病(伝染性紅斑)についての詳しい情報はこちら  
<http://idsc.nih.go.jp/disease/erythema/index.html>

# Short-Term Functional and Morphological Changes in Guinea Pig Cochlea Following Intratympanic Application of Burow's Solution

Mitsuya Suzuki, MD; Hitoshi Iwamura, MD; Akinori Kashio, MD;  
Takashi Sakamoto, MD; Tatsuya Yamasoba, MD

**Objectives:** Burow's solution, comprising aluminum sulfate and acetic acid, is an otic drug formulation applied to the tympanic cavity. We characterized the relationship between the auditory brain stem response (ABR) thresholds and the area of the capillary basement membrane anionic sites in the stria vascularis after the application of Burow's solution.

**Methods:** We used cationic polyethylenimine (PEI) to observe changes in the capillary basement membrane anionic sites in the stria vascularis. Burow's solution was dropped directly onto the round window membrane and retained for 2 hours. The ABRs were recorded at 4, 8, and 20 kHz immediately before surgery and before decapitation. The cochlea was extirpated immediately or 2 days after the surgery and immersed in cationic PEI solution. The PEI distribution associated with the capillary basement membrane anionic sites was measured in the basal and third turns.

**Results:** The ABR threshold shifts at 4, 8, and 20 kHz were significantly increased immediately after the surgery, whereas those at 4 and 8 kHz, but not at 20 kHz, had recovered 2 days after the surgery. Further, the PEI distribution was significantly decreased immediately after the surgery and had recovered 2 days after the surgery.

**Conclusions:** Although Burow's solution may cause an acetic low pH in the stria vascularis and a temporary ABR threshold shift at 4 and 8 kHz, the permanent ABR threshold shift at 20 kHz cannot be attributed to the acetic low pH.

**Key Words:** acetic acid, aluminum sulfate, basement membrane anionic site, Burow's solution, intratympanic injection, ototoxicity.

## INTRODUCTION

Burow's solution is widely used in eardrop formulations for treating refractory otorrhea caused by chronic otitis externa or chronic otitis media. Burow's solution, the principal components of which are aluminum sulfate and acetic acid, has astringent and antibacterial properties. It is an acidic preparation with a low pH (3.7), and its intratympanic administration has been feared to lead to hair cell loss in the inner ear. Among possible routes from the tympanic cavity to the inner ear, including the round and oval windows, bony fistulas, and microfissures, the most important route is thought to be through the round window membrane (RWM).<sup>1</sup>

Serin et al<sup>2</sup> reported that the placement of Gelfoam soaked in 13% Burow's solution in the tympanic cavity of guinea pigs did not result in any shift in the auditory brain stem response (ABR) threshold at 1, 4, or 8 kHz. Recently, we reported that Burow's solution dropped directly onto the RWM is toxic to outer hair cells in the basal turn, especially in its lower half.<sup>3</sup> In addition, the ABR thresholds at 20

kHz demonstrated alterations after retention of Burow's solution on the RWM for 2 hours.<sup>3</sup> It has been demonstrated that application of acetic acid to the RWM decreases the pH of the perilymph and endolymph, thereby leading to a decrease in the endocochlear potentials.<sup>4</sup> In our previous study, we speculated that Burow's solution, the principal component of which is acetic acid, may reduce the pH of the perilymph and endolymph, inducing depression of sodium-potassium adenosine triphosphatase activity in the stria vascularis. Although application of Burow's solution may reduce the pH of the inner ear tissue and cause subsequent hearing loss, the relationship and underlying mechanisms of this process remain unclear. Anionic sites have been demonstrated on the capillary basement membrane (BM) in the inner ear.<sup>5</sup> It has been demonstrated that the area of the capillary BM anionic sites is reduced under acidosis.<sup>5</sup> We investigated the relationship between the ABR threshold and the capillary BM anionic sites in the stria vascularis after application of Burow's solution. Previous studies have demonstrated changes in anionic sites on the BM in the

From the Department of Otolaryngology, Sakura Medical Center, Toho University, Sakura City (Suzuki), and the Department of Otolaryngology, University of Tokyo, Tokyo (Iwamura, Kashio, Sakamoto, Yamasoba), Japan.

**Correspondence:** Mitsuya Suzuki, MD, Dept of Otolaryngology, Sakura Medical Center, Toho University, 564-1 Shimo-shizu, Sakura City, Chiba 285-0841, Japan.

stria vascularis shown by cationic polyethylenimine (PEI).<sup>5-7</sup> If a decrease in pH is indeed caused by the application of Burow's solution, the number of capillary BM anionic sites in the stria vascularis should be reduced. To clarify the relationship between the ABR threshold and pH changes in the stria vascularis, we examined the short-term changes in the ABR and observed changes in the capillary BM anionic sites in the strial vessels.

#### MATERIALS AND METHODS

The study population comprised 22 healthy Hartley albino guinea pigs (weight, 250 to 300 g) with normal Preyer's reflexes. The experimental protocol used in this study was approved by the University of Tokyo Committee for the Use and Care of Animals.

*Pharmacologic Preparation.* Burow's solution, which has an acetic odor, comprises aluminum acetate (approximately 13%) and has a pH of 3.7: 22.5 g aluminum sulfate, 10.0 g calcium carbonate, 25.0 mL acetic acid, and 75.0 mL purified water.

*Surgical Procedure and Administration of Burow's Solution.* The animals were anesthetized with intramuscular injections of xylazine hydrochloride (10 mg/kg) and ketamine hydrochloride (40 mg/kg). Under aseptic conditions, an incision was made in the left postauricular region. The cribriform area in the left temporal bone was exposed, and a small hole was carefully made in the tympanic bulla for direct visualization of the RWM. In 6 of the 22 animals, 0.1 mL of distilled water, adjusted to pH 7.4 with hydrochloric acid or sodium hydroxide, was dropped directly onto the RWM with the help of a surgical microscope, and retained for 2 hours (control group). In the case of the remaining 16 animals, 0.1 mL of Burow's solution was dropped directly onto the RWM and retained for 2 hours. Subsequently, small pieces of sponge were used to absorb and remove each solution, with care taken not to rupture the RWM. After the solutions were completely removed, the bony defect in the tympanic bulla was sealed with the fascia, and the skin was sutured.

*ABR Measurement.* The ABRs were recorded at 4, 8, and 20 kHz in the control and experimental animals immediately before surgery and decapitation. For the ABR measurements, the animals were anesthetized with an intramuscular injection of a mixture of xylazine hydrochloride (10 mg/kg) and ketamine hydrochloride (40 mg/kg). Needle electrodes were placed subcutaneously at the vertex (active electrode), beneath the pinna of the left ear (reference electrode), and beneath the right ear (ground electrode). The sound stimulus was a 7-ms tone burst with a rise-fall time of 1 ms at 4, 8, and 20 kHz. The

responses to 1,024 sweeps were averaged at each intensity level (in 5-dB steps) to assess the threshold, which was defined as the lowest intensity at which a clear, reproducible waveform was visible in the trace. When an ABR waveform could not be elicited, the threshold was assumed to be 5 dB greater than the maximum intensity produced by the system (105 dB sound pressure level). The threshold shift was calculated by subtracting the baseline threshold from the threshold recorded immediately before euthanasia.

*Administration of PEI Solution and Tissue Preparation.* In the current study, the left temporal bone was removed. For examination of the initial effect of the application of Burow's solution on the stria vascularis, the 6 control animals and 8 of the experimental animals (group 1) were anesthetized and decapitated immediately after the surgery. To examine the delayed effect of the application of Burow's solution on the stria vascularis, we anesthetized and decapitated the remaining 8 experimental animals 2 days after the surgery (group 2). The left bony labyrinth was removed from each animal. A small hole was made in the cochlear apex, the stapes was removed, and the round window was opened. Each labyrinth was briefly rinsed with 0.1 mol/L cacodylate buffer for 1 minute and then immersed for 15 minutes in a 0.5% cationic PEI solution (molecular weight, 1,800 d) prepared in 0.1 mol/L cacodylate buffer adjusted to pH 7.4 with hydrochloric acid. Each bony labyrinth was then rinsed in 0.1 mol/L cacodylate buffer for a few minutes in order to wash out any remaining PEI solution. All of the bony labyrinths were immersed in 2% phosphotungstic acid and 2.5% glutaraldehyde at 4°C for 3 hours to stain the PEI particles and fix the tissue. Each bony labyrinth was decalcified by immersion in 10% ethylenediaminetetraacetic acid solution for 2 weeks. Next, the bony labyrinths were rinsed with 0.1 mol/L cacodylate buffer and postfixed in 1% osmium tetroxide at 4°C for 2 hours. The cochlea was removed from each bony labyrinth and cut into 2 parts along the modiolus. All of the specimens were dehydrated through a series of graded alcohol solutions, treated with propylene oxide, and embedded in epoxy resin. Ultrathin sections of the basal and third turns of the cochlea were double-stained and then examined with a transmission electron microscope. The number and size of the PEI particles in the capillary BM of the stria vascularis were measured.

*Data Analysis.* The BM is divided into 3 layers: the lamina densa, the lamina rara externa, and the lamina rara interna (Fig 1). Since the cationic PEI particles are attracted to the anionic sites in all 3 lay-