

が聴こえていません”といわれた新生児の両親は、耳鼻科の小児難聴の専門医へ紹介されてくる。思いがけない説明に衝撃を受け、精神衰弱のような状態で受診する母親も少なくない。この説明は“なにも聞こえていない”ととれるため、両親が希望を失いかねず、厳に慎まなければいけない。スクリーニングでふるいにかけられた新生児は、軽～重度難聴まで幅広く含まれ、どの程度であるか不明であるからである。むしろ“すこし聞こえに問題がある可能性が否定できないので、専門の先生に耳のほうはよく調べてもらいましょう。よい耳鼻科の先生を紹介します”のような表現をすべきである。その後は耳鼻咽喉科の専門医がよく調べ、70dB以上の難聴と診断されれば身体障害者手帳の発行をし、聴能学習あるいは聴能訓練のために適切な教育機関へ紹介する。

最後に、聴覚スクリーニングの対象となるのは、現在、新生児の1%程度と見込まれる。業者をはじめと

して、インターネットのホームページに“生後6カ月までに発見して補聴をし、教育する必要がある”と書いてあることが多いため、6カ月以後に発見され、耳鼻科の小児難聴の専門医の前で“もう手遅れでしょうか”と尋ねる母親が少なくない。しかしけっして遅すぎることはない。ただし発見が2歳以降では教育に時間がかかる。わが国では言語聴覚士は制度化されていてもaudiologistは制度化されていないのが問題である。わが国で新生児聴覚スクリーニングを定着させるには、audiologistの育成、検査機器の低価格化、スクリーニング担当者の教育、耳鼻咽喉科専門医の講習、乳幼児の聴覚学習聴能訓練の機関の整備が必要であるが、現状はどれも不完全のままである。

□加我君孝／Kimitaka KAGA

東京大学大学院医学系研究科外科学専攻耳鼻咽喉科学分野

* * *

新生児聴覚スクリーニングと新たな課題
—人工内耳手術の発展および聾文化 (Deaf Culture) の理解—

加 我 君 孝

耳鼻咽喉科展望
第46巻 第4号別刷
2003年8月

新生児聴覚スクリーニングと新たな課題

—人工内耳手術の発展および聾文化 (Deaf Culture) の理解—

加 我 君 孝
か が きみ たか

1. はじめに

新生児聴覚スクリーニングを厚生労働省が実施する計画であると伝える平成11年8月29日付の朝日新聞の第1面を飾る記事はさまざまな分野の人に波紋を投げかけた(図1)。最も衝撃を受けたのは一般の耳鼻咽喉科医と聾の人々である。このような話は耳鼻咽喉科医にとって寝耳に水であった。「日本耳鼻咽喉科学会はどのように対応するのか、これまで取り組んだ3歳聴覚検診でもスムーズにいかない

地域があるのに耳鼻科医が生まれたばかりの新生児を検査に行く余裕などあるであろうか」と早合点する人もいた。著者は平成9年から始まった、厚生労働省の班会議の一つ“新生児期の効果的な聴覚スクリーニング方法と療育体制に関する研究”班のメンバーの一人として参加していたので、この新聞の記事の意味するところがすぐにわかった。この班会議は自動ABRのALGOを用いての20,000人のスクリーニングを行う研究目的のものであったのであるが、担当する母子保健課が、欧米ではすでにこのス



図1

クリーニングは研究段階は終えて、すでに実施されている。米国では実施する州の数がどんどん増えているような現状では、研究ではなく実施の段階に入るべきであると述べるようになった。このように方向が100%変わったばかりのところであった。財務省への予算獲得の準備が始まったことを示唆する記事であった。

聾の人々も衝撃を受けた。この新聞記事小見出しには、難聴に生まれると治療しても言語能力に支障が生じ知能の発達にも影響が残るとはっきり書かれていることと、最終目標がまるで聾の人がいない世界を作ることが目的であるかのようにもとれるからである。健聴者でも聴いて話す言語がなければ、知能は低下すると考える人はまだ少ない。このような考えは間違いである。班会議でもそのような発言をする人もいたぐらいである。このような間違った考えは、世界の代表的な小児の知能テストのWISC-Rが言語性IQと動作性IQに分けて算出されるようになってきていることも影響している(図2)。聾の人々は手話も併用して使う。我が国でも視覚言語の手話をコミュニケーションに使う文化を聾文化(Deaf Culture)と自らが定義しその社会的認知を期待する動きが約10年前から生まれている。彼らが聴覚スクリーニングを警戒するのも無理ない。

平成13年より厚生労働省の新生児聴覚スクリーニングのモデル事業が始まった。すぐに参加したのは岡山県である。その後、秋田、埼玉、神奈川の一部、佐賀、大阪、東京が始めた。

聴覚スクリーニングの価値が高く評価される源は「生後6ヵ月までの早期に難聴を発見し補聴すれば誰もが3歳には普通児の90%に近い言語能力を獲得する」という1999年のItanoの論文に遡る¹⁾。これまでも補聴器を使うことで確かに100dBの重い難聴でも普通の子供のように発達する高度難聴児が例外的に存在し、早期発見と対策の意義を知ることができた。著者もそのようなスター的な症例をしばしばビデオを用いて紹介してきた。しかし同じ100dBでも聴覚活用が悪い例も厳として多数存在する。そのような場合、教育に問題があるのか家庭に問題があるのか知的に悪いのか学習障害ではないかなど脳の発達に神経学的な問題がないかなどを心配する。ただし手話に切り替えると手話によるコミュニケーションは容易となるが聴覚による言語の獲得は難しくなることが少なくない。しかし、手話によって文

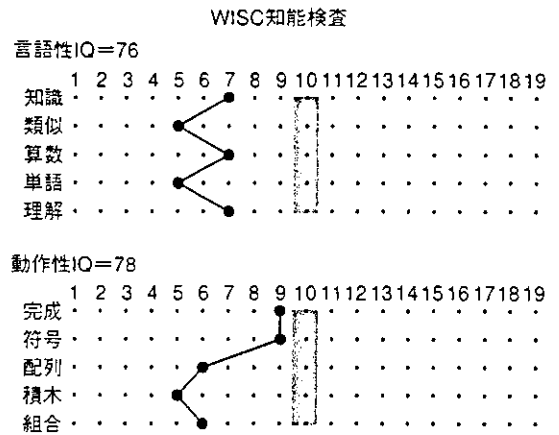


図2 知能検査の例 12歳、女子、両側中等度難聴 子供の場合は言語性と動作性に分けて評価する。

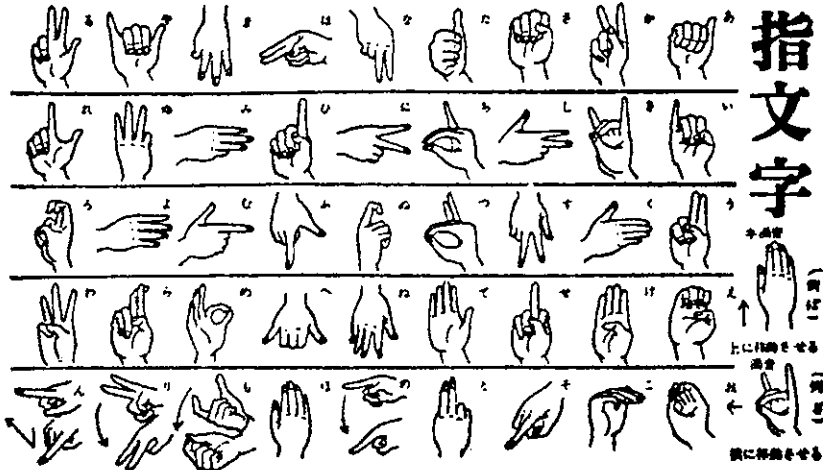
字を習得し自由に手話でコミュニケーションができるようになり日常生活が円滑になる。ともあれ、聴力が重度の先天性難聴児は2歳半を過ぎると cued speech や指文字や手話のような視覚言語を併用するか(図3)、人工内耳の手術を3歳児前後に行うべきか選択に迷う(図4)。

人工内耳の新しい医療は医師国家試験にも出題されるようになり、他科でもその存在が知られつつある。しかし我が国には一部のろう学校に人工内耳に反対する教師も存在する。すなわち新しい医療の理解が不足している。一方、手話と文字をコミュニケーション手段とする聾文化を知る人は少ない。しかし、今や人工内耳の有用性と聾文化の理解を避けることはできなくなっている。

2. 聴覚障害児教育の歴史と耳鼻咽喉科

我が国の聴覚障害児の教育の歴史を表1にまとめた。江戸時代が終わるまで聴覚障害児の教育は身ぶり言語と文字の学習であったと考えられる。幕末に我が国の開国と近代化を主張した松下村塾で教えた吉田松陰は30歳で小伝馬の監獄で刑死となったが、その日記の中に弟が聾啞であるが、良い教育法があるはずであると記述している。明治になって欧州の手話が入ってきた。我が国で初めて設立された京都盲啞院では「手話」が用いられた。それ以来130年になる。約100年前の明治31年に電話の発明で知られるグラハム・ベルが来日し口話法を紹介した。ベルの妻は高度難聴者である。ヘレンケラーとも親しかった(図5)。そのすぐ後の大正2年に名古屋聾啞学校で口話法が導入された。

口話法とは、相手が話すときに口唇の動きを視覚

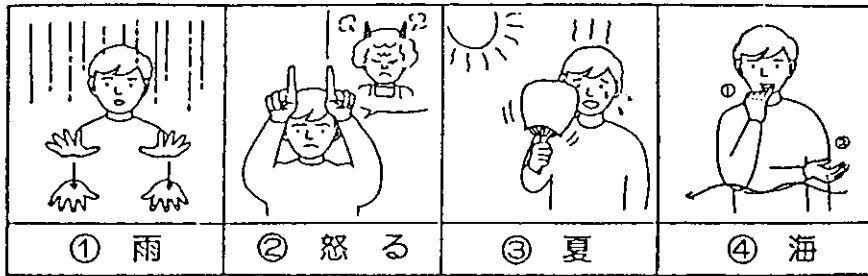


(a) 指文字



(b) cued speech の例
口型と指の組合せで発声する。

状態の特徴を語源にした手話



(c) 手話の例 視覚的な単語をつなげて表示する。

図3

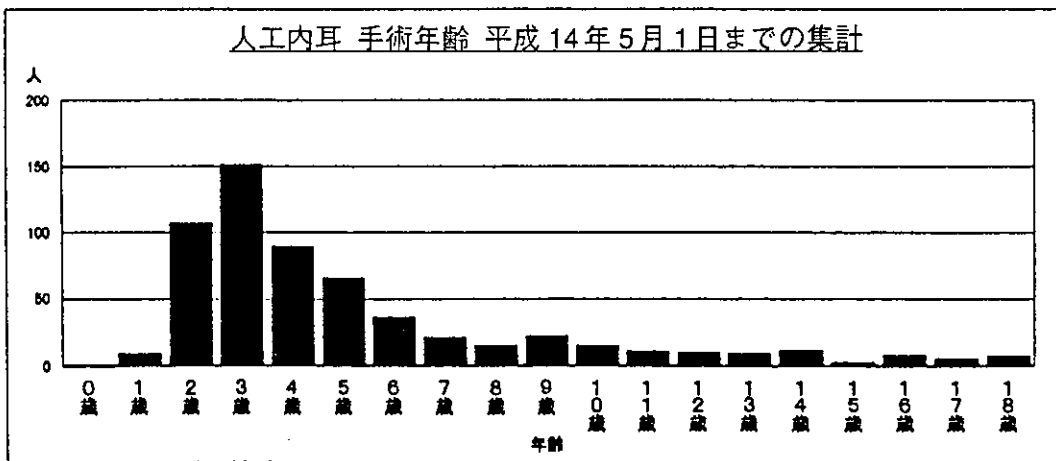


図4 日本学校保健会調査 (H15年)
先天性難聴の手術：3歳にピークがある。このピークの人工内耳の子供は2～3年のうちに小学校に就学する。

的に読み取り (読話: lip reading), 自分も声を出し音声言語で話し意思を伝達する教育方法である。大正9年には宣教師のライシャワーによって口話を重視する私立聾学校が設立された。これが現在東京町田市にあるライシャワー・クレイマー学園の日本

聾学校である。ライシャワーの子息が後に米国の駐日大使となったライシャワーである。その姉が難聴者であった。現在も我が国唯一の私立のろう学校でその熱心な教育法は高く評価がされている。関東で人工内耳の生徒が最も多く学んでいる。

表1 我が国の聴覚障害児教育の歴史

(1) 聴覚障害児教育の模索期[明治7~明治30年]	
明治 7年	京都盲啞院の設立。「手話法」が主流
明治 13年	ミラノでの「第2回聾啞者教育国際会議」で「口話法」で教育を進めることに決まる
(2) 口話法の基礎期[明治31年~大正15年]	
明治 31年	グラハムベルが来日。口話法を紹介
大正 2年	名古屋聾啞学校で口話法導入
大正 9年	ライシャワーによって口話法の私立聾学校設立
大正 14年	東京聾啞学校で口話法の採用が決定
(3) 口話法の拡充期[昭和元年~昭和20年]	
昭和 2年	名古屋聾啞学校によって「言語中心主義」「説話先進主義」「発語自然主義」が提唱、補聴器は真空管式~電氣的増幅式の開発へ
(4) 補聴下の口話法の充実と多様化の時期[昭和20年~昭和40年]	
昭和 23年	聾啞学校の就学義務化
昭和 24年	身体障害者福祉法施行
昭和 37年	東京都内小学校に聴覚学級開設
	東京都立聾学校内に重複障害学級設置
昭和 40年	東京都立聾学校幼稚園部に3歳児学級設置
補聴器の性能が著しく向上したため、補聴器用の可能性が広がり、音声言語による教育を目指した口話法が一層充実	
(5) 早期教育と聴性脳幹反応の発見[昭和40年~現在]	
昭和 41年	母と子の教室で早期教育(小林理研)
昭和 43年	難聴幼児聴能言語訓練教室(富士見台聴こえと言葉の教室)
昭和 45年	JewettによるABRの発見
昭和 50年代	保健所の3~4ヵ月健診と早期発見による聴能訓練の開始 難聴幼児通園施設(かなりあ学園)が認可
(6) 人工内耳の手術	
平成 5年	小児の難聴に対する人工内耳手術 人工内耳手術健康保険に採用
(7) 平成13年厚生労働省モデル事業・新生児聴覚スクリーニング始まる	
	岡山、神奈川、秋田、埼玉、佐賀、大阪、東京など



図5 左よりグラハムベル、ヘレンケラー、サリバン(米国、厚生省資料)

昭和になって口話法は普及した。戦後になり、昭和24年にヘレンケラーの応援もあり身体障害者福祉法が成立した。その中に聴覚障害が含まれた。学校教育法の成立によって小・中学校への義務教育化と同時に聾学校の就学義務化が実施された。戦後は補聴器が真空管式からトランジスターさらにICに変わり、小型化すると同時に性能が著しく向上し、単なる口話ではなく現在のような補聴器を装着して口話法を学ぶ聴覚口話法が実施されるようになって現在に至る。

戦後間もなく岡山大学の高原滋夫先生は教授に就任すると外来に Better hearing clinic を開設し、これを「耳の保健所」と称して無自覚の小児の難聴の早期発見早期教育を行った。しかし、この時代は早期発見のための誘発電位も脳波の音刺激に対する K complex を調べるか、脳波の加算法による大脳聴覚誘発電位 (SVR, long latency response) しか方

法がなかったため正確には他覚的診断ができない時代であった。当時、普通小・中学校に学ぶ中等度の難聴児は補聴することもなく放置されていた。高原教授は昭和32年に米国の難聴児学級を視察し、補聴器を装着して学ぶ中等度難聴児に強い印象を受けて帰国した。その後、岡山市の教育委員会、ロータリークラブの支援をもらい、昭和36年に最初の難聴学級が岡山市内山下小学校に設置された。その時の入学の条件は聴力が60dB以下であり、現在とはかけ離れた軽い基準であることがわかる。しかし、難聴学級はその後全国に開設されるようになった。

高原教授は難聴学級の生徒をフォローしているうちに、次のような考えをもつに至る。「しかし学校で指導しても進度が遅いという子供も出てくる。どうしても幼児から聴能訓練・発語訓練を始めなければ駄目だと思った。それで考えたのが岡山市にある聾啞児施設の大元寮を転用することであった。寄宿に入る子供の数が減ってきたのでその施設が空いてきた。そこを利用して幼児のための教育施設、また診断施設を作った(昭和44年)。」昭和44年4月に「幼児の難聴言語障害クリニック(かなりあ学園)」が発足した。この施設は昭和50年、厚生労働省の我が国初めての難聴幼児通園施設として認可された。このような岡山の動きとは別に東京では、昭和41年に東京大学耳鼻科の切替一郎教授は補聴研究

表2 聾学校特殊教育教員免許状保有状況調査(平成12年5月1日現在)
平成13年5月・文部科学省初等中等局特別支援教育課調べ(特別支援教育No.3)

○聾学校における免許保有者数

都道府県名	免許	在籍校種の免許を保有	
		人数	%
1	北海道	65	27%
2	青森	14	21%
3	岩手	26	44%
4	宮城	32	33%
5	秋田	17	41%
6	山形	26	41%
7	福島	36	54%
8	茨城	18	20%
9	栃木	15	25%
10	群馬	9	17%
11	埼玉	33	24%
12	千葉	46	44%
13	東京	102	31%
14	神奈川	71	36%
15	新潟	18	20%
16	富山	14	22%
17	石川	14	33%
18	福井	3	8%
19	山梨	6	18%
20	長野	8	11%
21	岐阜	5	10%
22	静岡	47	43%
23	愛知	76	34%
24	三重	4	4%
25	滋賀	12	23%
26	京都	14	19%
27	大阪	66	37%
28	兵庫	35	27%
29	奈良	13	21%
30	和歌山	15	25%
31	鳥取	8	21%
32	島根	21	30%
33	岡山	12	24%
34	広島	23	32%
35	山口	8	12%
36	徳島	17	36%
37	香川	12	26%
38	愛媛	21	26%
39	高知	7	20%
40	福岡	31	26%
41	佐賀	4	10%
42	長崎	14	16%
43	熊本	7	17%
44	大分	9	21%
45	宮崎	7	12%
46	鹿児島	13	22%
47	沖縄	3	8%

価やCORの開発を進めると同時に、田中美郷先生が早期発見された子供の早期教育法を実践していた。母親に難聴のしくみ、難聴の病態生理、補聴器、言葉の教育法などをシリーズで教育した。これをホームトレーニングプログラムと名付け、その後、昭和44年に帝京大学に異動してからさらに発展させ難聴教育を平成8年まで実践した。このような考え方は“家庭学習”ともいう。現在は田中美郷教育研究所で活発に続けている。

1970年(昭和45年)、聴性脳幹反応(ABR)が米国のJewettによって発見され、睡眠時でも新生児の聴力を正確に測定できるようになった。その結果、超早期発見超早期教育が可能になった。しかし、幼小児の健診制度があるにもかかわらず多くは1~2歳で発見された。

全く新しい治療法である人工内耳手術が我が国で行われるようになり、平成5年頃より少しずつ小児に対しても行われるようになった。目的は補聴器を使っても効果の乏しい高度難聴児に対し人工内耳により聴覚口話を可能にすることである。その成果はすでに述べたように目覚ましい。手術年齢も2歳半以降と、より低年齢になっている。

平成11年から始まった厚生労働省の新生児聴覚スクリーニングのモデル事業により、新生児期における発見を目指すようになった。補聴器の装用月齢が生後6ヵ月までになるように推奨されるようになった。このように歴史を振り返ると現在の人工内耳手術まで終始一貫我が国の教育では聴覚口話法の実現を目指してきたことがわかる。しかし、人工内耳を希望せず、補聴器で聴覚補償が困難な場合は、視覚的言語である読話による口話か、指文字、Cued speech、そして手話を選ぶことになる。これは保存的治療を選ぶか手術的治療を選ぶかという命題に類似している。手術の場合は説明と同意が必要である。人工内耳手術が医学的に適応がある場合でも手術を選ばない患者も少なくない。同じように手話によるコミュニケーションと教育や社会生活を選ぶのも患者の基本的権利であることは言うまでもない。問題は、その両方について判断し選択できるように情報が十分に説明されているかである。その両方をバランスよく説明しているかが問題である。

3. 聴覚口話教育とろう学校

我が国のろう学校は100校ある。そのうち私立が

会を開催し、医学、教育、工学の各領域の専門家と共に難聴幼児の早期発見、補聴下の早期教育が鍵であると考えた。小林理学研究所(リオン)に「母と子の教室」という名の早期教育の教室の方向づけがなされ難聴幼児の聴覚補償に関する実践研究を目的とする「幼児教室」が設置された。この「母と子の教室」はその後26年間続いた。その後、聴覚障害児と共に歩む会「トライアングル」という名の教室になって活動が続いている。一方信州大学では鈴木篤郎教授が難聴児の早期発見診断のために他覚的評

すでに述べた日本ろう話学校（ライシャワー・クレイマー学園）1校（東京都町田市）だけである。補聴器の早期活用による口話教育を実践してきた日本ろう話学校は、早くから、人工内耳手術例を受け入れてきた。著者の関係では東大病院で人工内耳手術を受けた1例と川崎市療育センターで発見した難聴児も数名が教育を受けている。ミッション系の使命感に燃えた熱心なろう学校である。国立に、筑波大附属ろう学校（千葉県市川市）がある。国立はここ1校のみである。口話教育を早くから実践し、教育研究活動も活発で全国のろう学校の目標ともなっている。広いキャンパスに近代的な設備がある。新生児聴覚スクリーニングで発見された乳児の教育依頼することが多い。その教育の成果は大きい。熱心な取り組みに感銘を受ける。ただ、0~2歳のクラスから3~6歳のクラスには全員が進級できるわけではなく入学定数があるため評価によって、ふるい分けで他のろう学校へ進まざるを得ない場合がある。ただし人工内耳については消極的な傾向である。その理由として人工内耳を使っていると子供が自由に遊ぶ妨げになることをあげている。

以上の二つを除くとろう学校は都道府県立の公立ろう学校である。我が国のろう教育は、聴覚口話教育を主としている。補聴下の教育は共通しているが、徹底して聴覚口話教育を実施する場合と口話教育に視覚言語のcued speech（キューサイン）、指文字（指ですべての50音を表現する）、手話（両手で単語そのものを表現する）を併用する場合がある（図3）。聴覚口話教育は、聴覚を通じて口で話すようにすることを目標とする。難聴児にとって、聴覚障害のために聴き取りにくい状況下に読話を併用して、より良く聴き取り、より明瞭に話すことを学習させる教育である。従って障害のある耳により良い補聴をするために補聴器の特性や出力の調整あるいはより適切な補聴器の選択が必要となる。効果が乏しい場合、人工内耳の選択も視野に入れる。しかし、著者の経験ではろう学校から聴覚学習困難を理由に耳鼻科に人工内耳を打診されることは東京では全くない。恐らく、医師である我々は病院では同じ難聴の子供を患者であり、生徒であると見なし、より良い医療を供給できないかと考えるが、ろう学校では医療の対象と考えることはなく単に生徒としか見なさないことによるからではないか。現在でも、このギャップはなかなか埋めることはできていな

い。そのためろう学校に紹介した子供達を定期的にチェックし補聴効果があがらない場合、積極的に人工内耳を勧めるようにしている。ろう学校の教師と意見の異なる場合、より適切な教育施設に変更することを勧めている。医師である我々は患者に最も優れた医療を勧める責任がある。ろう学校の教師は教育熱心であるが経験の乏しい人工内耳は敬遠しがちである。脳の可塑性の良い3歳前後に人工内耳手術が適切であるので我々は気が気でない。逆にろう学校の教師はこの切実さがわからない人が多い。教育という責任をとるのであろうかこの状況を変えるには所管の文部科学省からトップダウンで指導しないと変わらないのではないか。それほど事態は深刻である。

視覚言語の併用はどうか。驚くほど速く、cued speech、指文字、手話を身に付ける。従って、単に感覚のモダリティを無視し、コミュニケーションが良くなればそれが最高であるという立場をとるならば文句なくベストの教育法となる。しかし、これは一昔前の教育と変わることはない。聴覚の活用よりも視覚言語の方が容易であるために、容易な方に傾斜しがちで聴覚の活用と口話の習得が難しくなることが少なくない。このような視覚言語の特徴を生かすことを重視する教育が近年復活しつつある。我々の外来でも、母親が手話を重視する教育を選び、そのような教育を重視するろう学校で教育を受けた例がある。手話を先行させた結果、両耳補聴もはじめから行ったものの、補聴器の活用は乏しい。家庭でのコミュニケーションは1年を過ぎた今、手話のおかげで困ることはないという。説明と同意が重視される今、両親の選択により子供の教育方針が決まり将来まで決まる。

口話法で教育を受けた生徒が高校生になって引き続き聴覚口話で教育を受け、我々とも自由な会話が可能なが少なくないが、しかし、手話も覚え、放課後は手話によるコミュニケーションばかりという例もある。現在ろう学校の教師をしている先天性の難聴者が、手話に出会って、それを使うようになった経験を振り返って次のように述べている。

「大学に入って手話を覚え始めました。手話を覚えて感じたことは沢山あります。自分に関係ない話であっても手話ならば理解できるし、結果だけではなく流れも全部わかる、そこから学ぶことが沢山あり勉強になりました。また情報が入らないことか

ら、自分は今まで自分中心で動いてきたことに気付かされました。聞こえない先輩達は皆聞こえないことに対して誇りを持っていた。そうした先輩達を見て生き方を学ぶことができたし、まだまだ厳しいけれども社会を自分から変えていこうとする気持ちを持つことも学びました。そして聞こえない自分に対して自信が持てるようになったこと、これが一番大きいと思います。」²

ろう学校の抱える大きな問題はろう教育の免許を持つ教師が最低4%で最高が54%と少ないことである。教師の異動によりそれまでろう学校での経験のない教師が赴任することがあり結果的にろう教育の専門家が少なくなることである(表2)。地方によっては教頭や校長の人事についてもこのことはあてはまる。熱心な教師と出会い安心しているとすぐに転勤でいなくなり、困ることが少くない。

4. 通園施設の大きな貢献

全国に27ヶ所の難聴幼児通園施設がある。所管は厚生労働省である。数が少ないので全国的には馴染みが薄いかもしいない。同じ目的を持ったものに全国各地の身障センターや療育センターの難聴部門

がある。ろう学校のスタッフは教師だけからなるのに対して、通園施設では常勤あるいは非常勤の医師と言語聴覚士からなり聴覚検査、発達検査、身障手帳の発行、補聴器の選択とフィティング、聴能教育(聴覚学習)を行う。難聴児は生徒であると同時に患者であるという意識がはっきりしている。補聴の効果が不十分で人工内耳の方がより可能性が高い場合は、人工内耳を勧め、術後も聴能教育を行っている。東京では一施設だけあり“富士見台きこえと言葉の教室”という(表1)。医師1人、臨床心理士1名、言語聴覚士12名がおり生徒数は平成14年度は約60名である。保育園も併設し統合教育を早くから実践している。耳鼻咽喉科の開業医である徳光裕子先生が昭和43年より始めたもので35年の歴史がある。著者の外来では、難聴乳幼児の母親には通園施設とろう学校の両方を見学してもらいどちらかを選んでもらっている。通園施設の医師と言語聴覚士も補聴効果が乏しいと人工内耳を勧めるため早期の手術が可能となっている。その成果は素晴らしく補聴器では困難であった聴覚と言語が急速に身に付くようになる。

通園施設や身障センター、療育センターで教育を受けた後、これらの施設は就学までであるため就学後は、聴力と言語発達に応じてその多くは普通小学校に進むが一部はろう学校に進学する。人工内耳手術を受けた子供はほとんど普通小学校に就学しているが引き続きろう学校で教育を受けている場合もある。学校の選択には親の希望が重視される。

5. 聾文化(Deaf Culture)宣言

昭和56年に全日本聾唖連盟青年部より「ろう青年白書」³が発行され、聾青年の意識状態調査の結果が掲載されている。ろう学校出身者が90%を占める。「聾唖者独自の文化を創造することについてどう思いますか」という質問に対して79%が取り組むべき、18%が無回答、必要がないが3%であった。「日常生活の中で主に健聴者との会話をどうしていますか」という質問(手話、指文字、口話、筆談のどれか)に対しては、筆談に手話あるいは口話を併用している人が一番多く、それぞれ一つだけというのは6%前後にすぎない。聴覚口話だけの人はわずか6%である。そのため手話制度の導入を80%が希望している(図6)。

我々にとって馴染みの少ない「聾文化」という言

日常生活の中で主に健聴者との会話をどうしていますか(一つだけ答えて下さい)

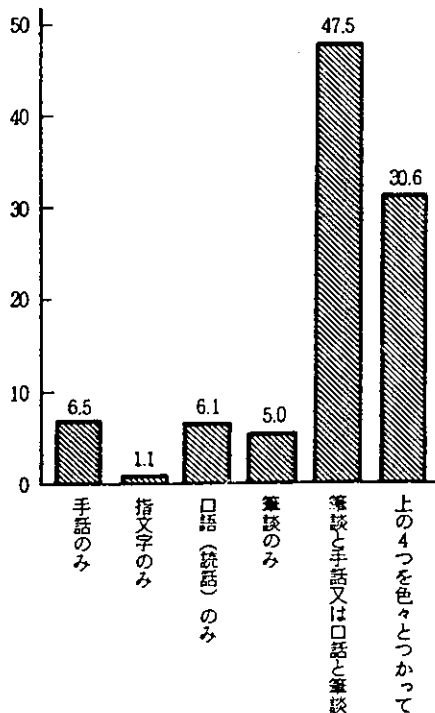


図6 ろう青年白書(1981)

総特集「ろう文化」

ろう文化宣言

言語的少数者としてのろう者

木村晴美・市田泰弘

「ろう者とは、日本手話という、日本語とは異なる言語を話す、言語的少数者である」——これが、私たちの「ろう者」の定義である。

これは、「ろう者」≡「耳の聞こえない者」、つまり「障害者」という病理的視点から、「ろう者」≡「日本手話を日常言語として用いる者」、つまり「言語的少数者」という社会的文化的視点への転換である。このような視点の転換は、ろう者の用いる手話が、音声言語と比べて遜色のない、完全な言語であるとの認識のもとに、初めて可能になったものだ。

ろう者が手話というものをコミュニケーション手段として用いているということは、すでに社会的常識となっている。しかし、ろう者の用いる手話が、狭義の言語の定義に当てはまるということとは、たいてい理解されていない。手話は、音声言語を使うことのできない人のための、不完全な代替品だと、一般には考えられているのだ。

図7 文献4) より引用

葉は1996年の木村・市田による「ろう文化宣言」によって初めて知ることになった^{4,5)}。耳鼻咽喉科医の我々にとって、聾者は、身障手帳で2級の高度難聴者であり身体障害者福祉法によって福祉の対象となる人々であり、患者でもある。コミュニケーションは補聴下の聴覚口話よりも手話を伝達手段として併用する。筆者は聾者の会で講演したことがある。その後に居酒屋で開かれた懇親会で、多勢の人々の手話によるコミュニケーションに強い印象を受け、忘れられないものになった。会は笑い声以外は手話のために静かなのであるが一人一人の生き生きとした表情、パフォーマンスが健聴者のこの種の会よりも、体全体の表現が豊かで、まるで別世界を訪れた異邦人のような気がした。我々とは文化が確かに違うのである。聾文化宣言では「聾者とは日本手話という、日本語とは異なる言語を話す、言語的少数者である」と定義している(図7)。この日本手話は、我々がテレビで観る手話や、我々の外来に、聾患者のサポートのために来る手話通訳の使う手話とは異なる。我々の見る手話は「日本語対応手話」という。一方「日本手話」は聾者の間で生まれ自然発生し発達したものであるという。日本語に完全に対応はしていないが日本語に近い表現でもある



図8 東京大学耳鼻咽喉科学教室の新人教育プログラムの一つ、手話を学ぶ光景

ようである。聾者でないとわからないという。この両者を写真で説明してある本が出版されたので参照されたい^{6,7)}。このような「日本手話」派と「日本語対応手話」派の間には葛藤があり、主に「日本手話」派が「日本語対応手話」派を厳しく批判している。ろう学校の教師や手話通訳の使っているのが「日本語対応手話」であり「日本手話」に対する理解がなく使うひともいないというわけである。著者の教室の新人教育では約2ヵ月の間、週1回専門家を招き「日本語対応手話」の初歩を教育している(図8)。手話が使えるようになるというよりも手話

を理解してもらうためである。我々の世界に日本語に対応しない「日本手話」が存在し、ろう者だけのコミュニケーションに役立っていること自体は興味をそそられる事実である。

耳鼻咽喉科医の我々は、「障害者」という医学的視点から「言語的少数者」という社会的文化的視点の転換すなわち歴史的にパラダイムシフトという「日本手話」の主張には戸惑いを感じる。しかし、我々は、このような主張も憲法の保障する第10条の“享有と性質”基本的人権および、第13条の「個人の尊重、生命・自由・幸福追求の権利の尊重」の立場から理解することができる。逆に基本的人権の立場からは「日本手話」の人々は異なる「日本語対応手話」の人々の基本的人権も当然尊重しなければならない。

6. 人工内耳に対する聾文化の姿勢

欧米ではかつて人工内耳を取り上げる聴覚系の学会があると聾の団体の人工内耳に反対する抗議行動が学会の会場で行われ、混乱する事態がしばしば生じたという。しかし、欧米でも、我が国でも小児の人工内耳手術は増加の一途を辿り、2001年では成人よりも小児の方が増えている。2年前にNHK教育テレビで、人工内耳をめぐる健聴の祖母と手話を使う聾の息子夫婦の議論を中心とする次のような米国の物語があった。息子夫婦に高度難聴の子供が生まれた。その子供に良いろう教育を受けさせるべく息子夫婦は各地を訪ねて努力する。一方、孫には人工内耳の手術を受けさせたいと祖母は願う。聾の息子の教育に苦労したからである。息子は聾文化の世界に属しはするが、ビジネスの世界で成功しており何の不自由もないと考えている。その息子は、孫に人工内耳を勧める自分の母親に「自分を生んだくせに自分の存在を否定するのか」と問い詰める。米国の演劇作家のユージン・オニールやテネシー・ウィリアムズのドラマのようで息が詰まるような場面であった。結果的に人工内耳手術を受けることになる。今やこのドラマは、我々にとって無関係のドラマではない。現在の耳鼻咽喉科医が直面する無視できない課題となっている。新生児聴覚スクリーニングと人工内耳手術の普及によってこの問題にも直面せざるを得なくなったからである。これまで聾文化は別世界のものとして知らないでも済んだがそうではなくなった。

米国の聾者の団体の小児の人工内耳に対する批判と疑念を次に紹介する³⁾。

① この手術は言語獲得が主な目的であるはずであるが、証明されていない。心理的、社会的、言語学的な危険性や問題が評価されてきていない。この手術は革新的なものと思われるが、子供に対しての革新的手術は倫理的問題がある。

② 世界の手話はすっかり完成した自然言語であることが認められており、手話を“話す”コミュニティでは、きちんとした社会組織と文化がある。聾文化の価値観と、この手術の聴力を良くするという価値観とは対立するものであり、小児の人工内耳手術について考えが異なる。この二つの価値観は立場を表している。

③ 耳科学と聴覚医学領域では、先天聾の子供に人工内耳手術をしたがっている。同時にその領域の専門家は聾文化を保護したいともいっている。この言い分は基本的に矛盾している。もし完全な人工内耳手術というものがあつたら、聾の世界は消滅するからである。

もし、人工内耳手術であらゆる先天性難聴の子供が、正しく聴いて話すことができるようになるなら、この手術は聾文化の genocide (集団虐殺) につながる可能性があると恐れられている。マイノリティである聾文化は、保護される必要があり、国連総会でも国や文化や人種や宗教での差別や genocide は禁止されている。人工内耳手術は聾文化を消滅させることを意図はしてないのであるが、誤解されている。さらに先天聾の子供の人工内耳の手術が世界に4,000例も行われているのに、聴いて話ができるようになったという1例報告すらないということで、手術に対して疑問を持っている。以上の二つの論文は5年前のものであり現在では古くなつていえるとも言えるかもしれない。最近では人工内耳に反対するろう者の動きが米国でもなくなったという。

著者の教室では、先天聾の小児で3~4歳で人工内耳埋込術を行った症例で就学したものが平成14年で8例ある。いずれも補聴器による効果が不十分で、母親としかコミュニケーションができなかったが、そのうち6例は、明瞭な発音で話し、聴き取りも良好である。普通小学校で学んでいる。残りの2例はろう学校で勉強しているが、1人は内耳奇形もあり130dBで補聴器は全く効果がなく、有意味語がなかったものが不十分ではありながら有意味語が

増加し、著者に対してもきちんとした挨拶を言葉でできるまでになっている。人工内耳のない時代には考えられなかったことである。このように先天聾に対する人工内耳手術の成果が補聴器装用よりも良い成果があがっている。ここ数年は聴覚を専門とする国際誌は幼小児の人工内耳に関する論文で占められているほどである。このことは人工内耳手術が聾文化の人口を将来的には現在よりもより少なくする可能性を示唆している。しかし、これは医学の進歩の結果である。進歩した医学を見て見ぬ振りをしてはならない。医師も教師も患者や生徒のための職業である。患者や生徒のためにベストを尽くすのが社会的使命である。しかし人工内耳手術の選択はそれぞれの自由である。ただし子供の場合は本人でなく親の決断によることが問題を難しくしている。まだ我が国では壁が厚いと言わざるを得ない状況があり、我々がもっともっと社会に積極的に働きかけをしなければならない。

7. 聾の family の考え方

著者の外来には、聾の夫婦の間に生まれたばかりの子供の聴覚検査の依頼がしばしば来る。難聴のハイリスクに相当するため生後1~2ヵ月で紹介されて受診する。手話通訳と共に訪れる。現在五つのファミリーの子供をフォローアップしている。いずれのファミリーも夫婦の間では手話でコミュニケーションをしている。夫婦共教育はろう学校で補聴下に口話法で勉強してきている。ほとんどの子供が高度の難聴であり、自然に家庭で手話を身につける。補聴効果が乏しい場合、人工内耳も選択の一つとして勧めるが、手術は怖いという。人工内耳を希望した例はまだない。それこそ「日本手話」や「日本語対応手話」が生活そのものであり、両親も経験のない人工内耳手術は人の話では頭皮をメスで切ってドリルで骨を削り、“機械”を移植するのはごめんであるというのは心情的にわからないわけではないので、1~2回しか説明していない。「説明」して納得してもらい「同意」を得るのが難しい。

8. おわりに

平成14年の第103回日本耳鼻咽喉科学会総会のパネルディスカッション“日本耳鼻咽喉科学会が直面する諸問題”のその一つの新生児聴覚スクリーニングで著者は演者の一人として現状を報告した。ゲス

トのジョンホプキンス大学の清水先生に、“米国では難聴児の親に、補聴下の聴覚口話法、人工内耳手術、手話教育の異なる三つの一つを選択させるには誰が担当して説明するのが”質問したところ、「オーディオロジスト」であるという。我が国では耳鼻咽喉科の医師が主で、ついで言語聴覚士であろう。人工内耳についてはろう学校の教師の方から問い合わせてくることは著者の患者の地理的範囲の東京、埼玉、千葉、神奈川ではこれまで1例もない。このことは我が国では耳鼻咽喉科の医師が中心にならざるを得ないことを示唆する。新生児聴覚スクリーニング後は産科医や小児科医の担当ではなく、耳鼻咽喉科の医師が中心である。現在では選択の一つに人工内耳があるからこそ新生児聴覚スクリーニングにおいては“難聴があっても聴いて話すように成長し普通児と同様の教育を受け社会生活が可能になり得る”という大きな夢があることを強調したい。

文 献

- 1) Itano, CY: 新生児難聴の早期発見と療育. 小児耳鼻科 22: 47~58, 2001.
- 2) 伊東靖雄: これからの聴覚障害教育について. 東京と難聴児を持つ親の会会報 105: 4~7, 2002.
- 3) 石野富志三郎編: ろう青年白書. 全日本ろうあ連盟青年部, 1981.
- 4) 木村晴美, 市田泰弘: ろう文化宣言, 言語的少数者としてのろう者. 現代思想 臨時増刊号“ろう文化” 24: 8~17, 1996.
- 5) 金沢貴之: 聾教育のパラダイム転換. 聾教育者の脱構築, 金沢貴之編: 明石書房, 2001, 11~41.
- 6) ハーラン・レイ (石村多門訳): 聾の経験—18世紀手話の「発見」. 東京電機大学出版局, 2000.
- 7) 斎藤くるみ: 視覚言語の世界. 彩流社, 2003.
- 8) Belkany T, Hodges AV, Goodman KW: Ethics of cochlear implantation in young children. Otolaryngol Head Neck Surg 114: 748~755, 1996.
- 9) Lane H, Bahan B: Ethics of cochlear implantation in young children: A Review and reply from a deaf world perspective. Otolaryngol Head Neck Surg 119: 297~313, 1998.
- 10) ワールドバイオニア (編): 耳の不自由な人の生活を知る本—心の支援とサポート器具. 小学館, 2001.
- 11) 白沢麻弓, 徳田克己: 聴覚障害学生サポートガイドブック—ともに学ぶための講義保障支援の進め

- 方一. 齊藤佐和監修: 日本医療企画, 2002.
- 12) 北海道札幌聾学校乳幼児相談室. 聴覚障害乳幼児のコミュニケーション発達支援プログラム. 非売品, 2002.
- 13) 文部科学省初等中等教育局特別支援教育課. 就学指導資料, 2002.
- 14) 文部科学省初等中等教育局特別支援教育課. 特殊教育資料 (平成 13 年度), 2002.
-



ELSEVIER

Binaural interaction of bone-conducted auditory brainstem responses in children with congenital atresia of the external auditory canal

Kianoush Sheykhleslami*, Habiby Kermany Mohammad,
Schmerber Sébastien, Kimitaka Kaga

Department of Otolaryngology, Faculty of Medicine, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-Ku, Tokyo 113-0033, Japan

Received 20 November 2002; received in revised form 30 May 2003; accepted 1 June 2003

KEYWORDS

ABR;
Bone conduction;
Binaural interaction;
Bilateral bone-conducted
hearing aid

Summary Bilateral bone-conducted auditory brainstem responses (BC-ABRs) were recorded in children with atresia of the external auditory canal bilaterally (AECB) in order to compare the response characteristics to normal hearing adults. The binaural interaction component (BIC) of the ABR occurs when the sum of the monaural-evoked ABR amplitudes are different in amplitude when compared to the binaural-evoked ABR amplitude. Previous electrophysiological work from our lab has shown that children with AECB lateralize bone-conducted (BC) sound. Furthermore, we have found in normal-hearing adults that BICs exist using BC clicks. In adults, BC-BIC occurred in the latency region corresponding to waves IV–VI, whereas for children with AECB corresponding peak latencies occurred earlier. Same as normal-hearing adults, BC-ABR IV–V complex peak amplitudes for sum of the BC-monaural right and BC-monaural left ears were different from binaural response amplitude. Individual peak latencies were similar in children with AECB when compared to normal-hearing adults except for shorter latencies for BIC. These results indicate that: (1) BC-BI is present in children with AECB as well as normal-hearing adults; (2) the gross response properties of BIC are similar in children with AECB and normal-hearing adults; (3) fitting of a bilateral BC hearing aids might be a feasible method to optimize binaural hearing and sound lateralization.

© 2003 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

Abbreviations: ABR, auditory brainstem responses; BC, bone conduction; AECB, atresia of the external auditory canal bilaterally; BIC, binaural interaction component; BI, binaural interaction; R, right; L, left; Sum, left+right; AC, air conduction; BHA, bone conducted hearing aid.

*Corresponding author. Present address: Department of Neurobiology and Pharmacology, Northeastern Ohio Universities College of Medicine, 4209 State Route 44, P.O. Box 95, Rootstown, OH 44272-0095, USA. Fax: +1-330-325-55916.

E-mail address: ksheyko@neoucom.edu (K. Sheykhleslami).

1. Introduction

Jewett [1], first reported evidence of a binaural interaction component (BIC) in the air-conducted auditory brainstem responses (AC-ABR) of cats. He showed that when both ears were stimulated simultaneously, the response magnitude for the first three waves equaled the summed magnitudes of the responses of the two ears when they were stimulated individually. The fourth wave, however,

was smaller in the binaural stimulus mode, suggesting an interaction between the ears at the generation site(s) of the fourth wave. This difference was called the 'binaural interaction component' (BIC), which is dependent on the binaurally innervated neurons from the brainstem [2,3]. Since then, BI in auditory brainstem responses (ABRs) has been observed in guinea pigs [2-6] cats [7-10] and humans [11-16]. Dobie and Berlin [2], and Dobie and Norton [11], reported that air-conducted binaural interaction (AC-BIC) occurs in the human ABRs between 5 and 8 ms post stimulus onset (the latency range of ABR waves IV through VII) with the most prominent components in the latency range of ABR wave V. The BIC has been defined as the difference waveform between the algebraic sum of the potentials recorded in response to monaural stimulation of the right (R) and the left ear (L), and the potentials in response to binaural stimulation (B), ($BIC = B - (R + L)$). The AC-BIC potential consists of several positive peaks and negative troughs. An upward deflection occurs when the amplitude of the binaurally elicited potentials is larger than the sum of the monaurally elicited potentials, while a downward deflection occurs when the amplitude relations are reversed. BI is reflected in electrophysiological activity of neurons activated by binaural stimulation central to the cochlear nucleus [17]. BI is known to occur at three levels of the brainstem: the superior olivary complex of animal, where afferents from either ear coverage for the first time [9,18-23] the nuclei of lateral lemniscuses (LL) (wave IV of the ABRs) of animal [2-7,10,24] and in region of trapezoid body, LL and inferior colliculus (IC) of the human brainstem [2,7,11-13,15,16,24-27]. BIC in humans may include contributions from the superior olivary complex and trapezoid body [28,29].

Atresia of the external auditory canal is a congenital malformation characterized by an underdeveloped external auditory canal. Atresia is often associated with microtia of the auricle. Both anomalies may be associated with other ear malformations, more frequently involving the middle ear [30,31]. Genetic disorders, chromosomal defects, intrauterine infection or environmental teratogens can cause atresia.

In general, children with AECB have conductive hearing loss because of occluded ear canal and with or without middle ear anomalies. Estimates of cochlear sensitivity are required for these children. Such information might be obtained by recording the ABR to bone conducted (BC) acoustic stimuli. The results are useful in for making decisions concerning patient management, including amplification. Yoshie [32], has used BC signals in elec-

trocochleography, and BC clicks have since been used in several ABR studies (33-35). Most of the findings have confirmed the feasibility of BC stimulation in estimating cochlear sensitivity [33-36].

Recent reports by Setou et al. [37], and Kaga et al. [38], have revealed the existence of the BC-BIC in normal hearing adult subjects, and suggested that the bilateral fitting of bone-conducted hearing aids (BHA) in children with AECB enabled them to lateralize sound.

No study on BI in children with AEC has yet been carried out. This should contribute to our understanding of binaural BC auditory input. Since BC-BIC has been established in normal hearing adults [37] it is of interest to determine if it also exists in children with AEC, and if so, how the response characteristics compare to those observed in normal hearing adults. In this paper, we assessed the existence of BIC (derived from BC-ABR) obtained from a group of children with congenital atresia of the external auditory canal bilaterally, whom need and achieve most benefit from BC hearing aid. The results were discussed in regard of feasibility of bilateral sound amplification by bilateral hearing aids to achieve sound lateralization.

2. Materials and methods

Ten subjects (candidate for auricle and canal plasty at a referral surgical center) between the ages of 2 and 13 years participated in this study. All testing was conducted in a sound-treated room. BC pure tone audiometry was performed using standard clinical procedures and threshold was defined. In addition, subjects underwent computed tomographic scans.

Alternating polarity clicks were generated by 0.1 ms square pulses (Nihon Kohden Neuropack, Japan). The output was connected to an attenuator and finally to a pair of matched BC-vibrators (BR-41, Rion, Japan) which were placed on each mastoid processes. Sound intensities were adjusted to be 45 dB above the monaural bone-conduction threshold for each subject. We were used the BC-ABR threshold for small-age and difficult to test subjects instead of using standard BC audiometry. Two-channel recordings were made for all monaural and binaural conditions. The reference electrode was placed once on the mastoid process ipsilateral to the stimulated side for unilateral recordings and on the both mastoids for binaural recordings. A midline reference electrode also was used for all recording conditions. The vertex (Cz) was fed to the non-inverting input (+) of the

differential amplifier. The ground electrode was the forehead (Fz). Inter-electrode impedance was always less than 2 k Ω . Stimulus repetition rate was 10 Hz and amplifier band-pass was set between 100 and 2000 Hz. Two traces consisting of 2000 trials were obtained for right monaural, left monaural and binaural stimulus presentations. It was verified before the experiments that the amplitude and latency differences between the right and left monaural ABRs were not greater than 5% and 50 μ s, respectively.

The monaural waveforms were digitally added to obtain the sum of the monaural responses (e.g. R+L). The BIC was determined by digitally subtracting the sum of the monaural waveforms from the binaural evoked waveforms [BIC = B - sum (R+L)] [2]. Wave IV-V complex latencies were measured from onset of the stimulus to occurrence of peak IV-V complex for R, L, B, summed ABRs, and for the BIC. Amplitude measures from peak-to-trough were made for all ABR recordings. When the wave IV-V complex summed amplitude was greater than amplitude for the binaural stimulation, the BIC had a downward deflection. For these configurations, BIC amplitude was measured from peak-to-trough the most positive point to the most negative point on the following trough, and was designated as a positive value. When wave IV-V complex binaural amplitude was greater than the summed amplitude, the BIC had an upward deflection. BIC amplitude was then measured from trough-to-peak and was designated as a negative value. Paired Student's *t*-test design was used for statistical analysis, and statistical significance was set at less than 5%.

3. Results

All patients had severe BC hearing loss and bilateral EAC atresia and microtia or anotia without inner ear abnormalities. Middle ear anomalies were found in six of the patients. Computed tomographic scans of the temporal bone demonstrated abnormalities of the tympanic bone but no cochlear or vestibular abnormalities. The type of atresia plate showed osseous atresia of the EAC in both ears in all patients (Fig. 1).

ABR recordings were repeatable in all subjects, and each showed consistent and systematic differences between their L, R, L+R and B responses. Wave IV-V complex amplitude was significantly different for the binaural stimulation than the sum of the monaurally evoked response ($P < 0.05$).

3.1. Ipsilateral recordings

Ipsilateral recordings were obtained from the side ipsilateral to the vibrator placed on the mastoid process and also from midline reference electrode. Fig. 2 shows ABR recordings to BC broadband clicks from two children with AECB. There is a small difference in waveform morphology between 2 and 5 ms corresponding to the latency of waves I-IV and the following trough. The extent of these small differences is similar to the differences encountered for residual baseline variability in the absence of auditory stimulation (ambient noise level). The baseline variability for each subject was determined by repeated testing in the absence of acoustic stimulation. We assumed that these differences were due to random variability, because such amplitude differences were not seen in the grand average.

Peak amplitude and latency data for the BC-ABR are summarized in Table 1. The latency of wave IV-V complex at 45 dB SL was measured for each ear. The mean latency was 6.84 ± 0.4 and 6.86 ± 0.4 ms for the R and the L ears, respectively. These small differences were not statistically significant ($P > 0.05$). The mean amplitude was 0.18 ± 0.01 and 0.19 ± 0.01 μ V for the R and the L ear, respectively. Again differences were not statistically significant ($P > 0.05$).

3.2. Binaural interaction components

The BIC was obtained by digitally subtracting the sum of the monaural waveforms from the binaural (B) evoked waveforms [BIC = B - sum (R+L)] [2]. No reliable BC-BIC was found for the first waves of the ABR response. Also a positive interaction ($B < L+R$) was observed on the down slope or just following wave V, for most of subjects (80%). However, 20% of subjects exhibited a negative interaction ($B > L+R$) followed by a positive interaction ($B < L+R$) on the upward slope or just before wave V. At the time of waves IV, V and VI, BC-BIC accounted for 20-30% of the sum of the monaural response (Table 1). No significant difference in peak latencies for sum and B conditions was found ($P > 0.05$). In contrast, statistically significant peak-to-peak amplitude differences were found between sum and binaural stimulus conditions (Table 1, $P < 0.05$). The BIC waveform mean latency for the children in this study was 6.78 ± 0.9 ms.

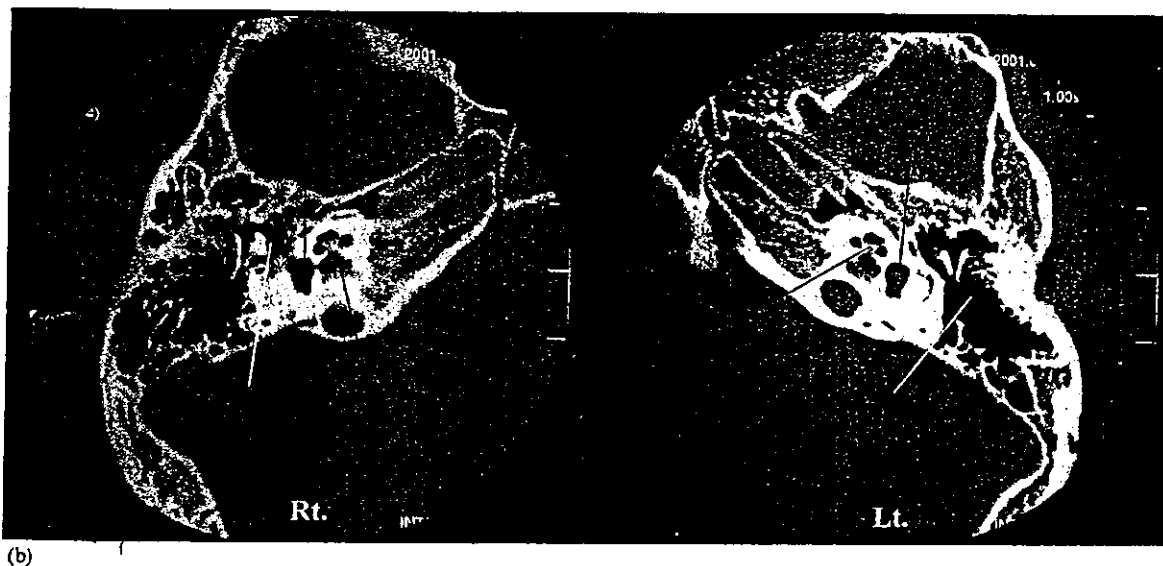
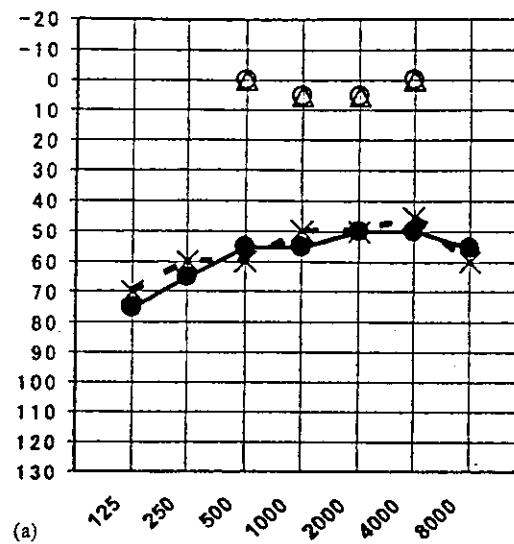


Fig. 1 The audiogram and computed tomograms of the temporal bone in 7-year-old patient which revealed an air-bone gap and bony occlusion of both EAC and middle ear anomalies, respectively.

4. Discussion

The results of the study have bearing on both monaural and binaural ABR recording response differences in response to BC-click stimulation.

4.1. Ear differences

An issue raised in the description of BIC, for ABR recording, is the role of ear asymmetries of ABRs that influence BI [12,39]. An important factor affecting outcome of the binaural BC stimulation is the equal stimulation of both cochleae by means of sensation level. Unfortunately, it is not easy to predict the effective spectra of BC stimuli at the level of the cochlea in humans. Although the

artificial mastoid may reasonably model the load impedance of a real mastoid, the response measured by the accelerometer may not directly reflect the effective input to the cochlea for this model of stimulation. The effective output of the bone vibrator tends to be more sensitive to minor variations in transducer placement than in the case of earphones. In addition, frequency response is also affected by effectiveness of bone vibrator coupling and the subsequent loading of the vibrator by the skull. These characteristics are well known clinically and have been examined extensively (directly and indirectly) in the bone conduction literature. Due to the aforementioned difficulty in practical clinical work, it is impossible to equilibrate sensation levels completely. Therefore, in

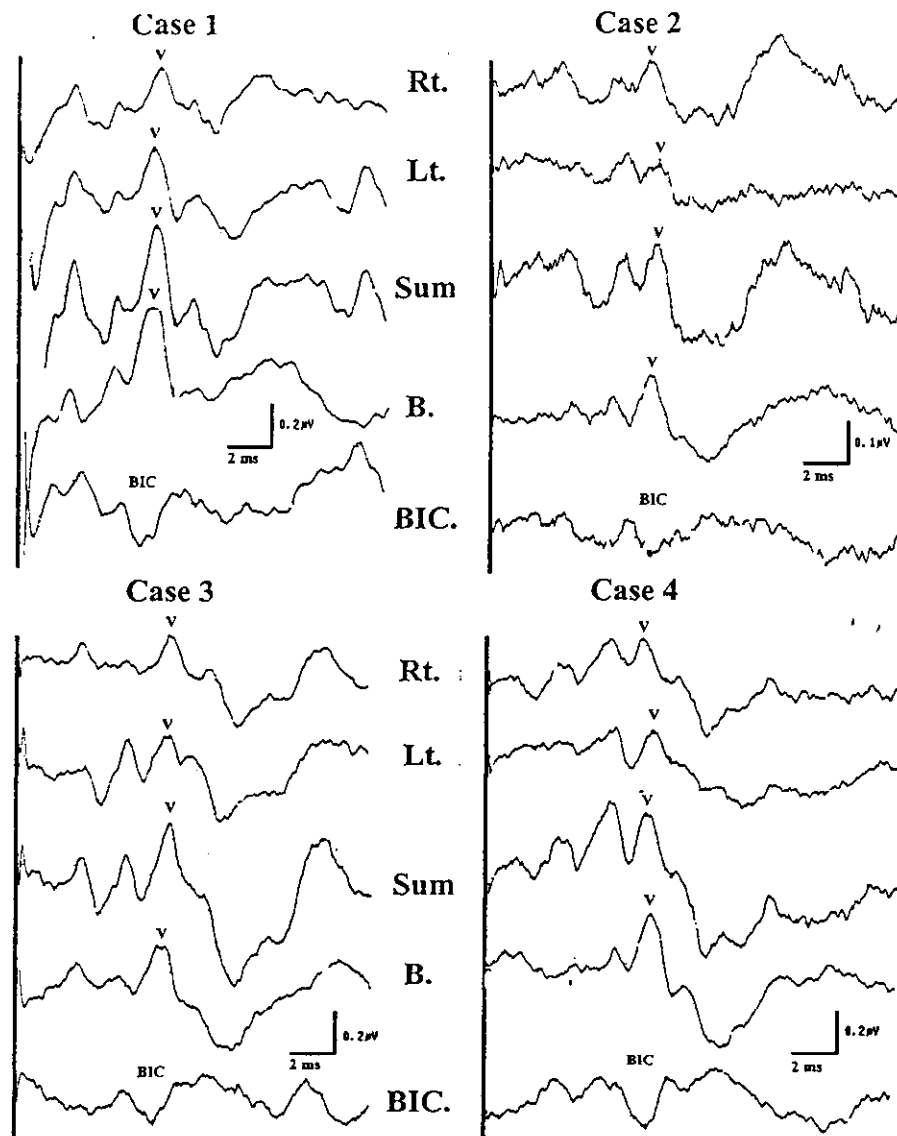


Fig. 2 Recordings obtained from two children with AECB. Top traces in each case show responses to monaurally and binaurally presented BC-click via a vibrator placed on each mastoid process. Rt. = right ear, Lt. = left ear, B = binaural stimulation, Sum = R+L. The binaural component is shown in the lowest trace. Note that amplitude of the R+L response is larger than the B stimulation. Therefore, the BIC has a downward deflection and is designated as a positive value.

conventional bone conduction testing, the examiner is obliged to rely upon calibrations based on normative-data. As mentioned in Section 2 of this study, caution was exercised to make a balanced sensation between two 'matched' bone vibrators. Further approach, subtracting one ear response from that of the other ear, was also used to assess the effect of ear asymmetries on the BI. Statistically insignificant differences in our study for monaurally recorded ABRs' amplitudes and latencies ($P > 0.05$) were interpreted as an equal stimulation of both cochleae. We assumed that the small difference recorded in the ABRs to

monaural stimulation reflects residual 'noise' of the recordings and random variability (Fig. 1).

4.2. Binaural interaction

The usual method of ensuring the laterality of the cochlea responding to a BC stimulus is to mask the contralateral ear [40,41]. However, in many situations, such as subjects with significant bilateral atresia, contralateral masking is difficult or impossible. In addition, it was expected that crossover would interfere with the BI effect. Therefore, we chose 45 dB SL, which was considered to be the

Table 1 Peak amplitude (μV) and latency (ms) of wave IV–V complex in R, L, Sum, B and BI recordings

	Amplitude	Latency
Right ear	0.18 ± 0.01	6.84 ± 0.4
Left ear	0.19 ± 0.01	6.86 ± 0.4
Binaural	0.29 ± 0.01	6.89 ± 0.5
Sum (R+L)	0.38 ± 0.02	6.82 ± 0.4
BIC	0.12 ± 0.01	6.78 ± 0.9

lowest intensity to evoke a clear BC-BIC without requiring contralateral masking noise [37]. Using the 45 dB levels, crossover hearing will for sure play a role in BIC. However, its effect might be limited because of the subtraction procedure to obtain the BIC recording.

At latencies corresponding to the first waves of the BC-ABR response, no reliable and statistically significant differences were found between B and sum. We believe that any small differences at those latencies represented the 'noise' level and random variability. It should also be noted that latency variations of components can produce a component in the subtracted waveforms and not necessarily a real BIC. In contrast, during the time of occurrence of waves IV, and V, BIC accounted for as much as 20–30% of the sum of the monaural responses. The BC-BIC varied due to the relatively gradual change in the amplitude of the BIC over the time domain between 5 and 7 ms. Peak latency in the BC-BIC waveforms did not generally coincide with peaks in the sum and binaural waveforms. The differences are small but significant ($P > 0.05$, Table 1). No other studies of BC-BIC in children have been published to allow waveforms to be compared. The general waveform morphology and latencies of our records were similar to the results of previous study on normal hearing adult BC-ABR [35]. The average peak latencies of wave IV–V complex at 45 dB SL for sum and B records for children were 6.82 ± 0.4 and 6.89 ± 0.5 ms, respectively, and 6.7 ± 0.2 and 6.9 ± 0.3 ms reported by Setou et al. [37] for normal hearing adults. The average BIC peak latencies for our subjects in this study (6.78 ± 0.9 ms) were shorter than the reported average BIC peak latencies for adults (7.3 ± 0.4 ms).

This is the first report of BC-BI in children. Further studies of this phenomenon may help to identify the generator of the BC-BIC. Air-conducted BI occurs over the entire time domain of the auditory brainstem response from brainstem to cortically generated events [22]. The human auditory system evaluates small differences in time and intensity between the acoustic signals received by

the two ears to determine the location of the sound source. A primary benefit of binaural hearing in humans is to detect and localize sound in noisy environments.

The results of our study are consistent with the suggestion that the BI is present in response to BC stimuli. We assumed that most of the difference potentials are due to true binaural interaction or occlusion. The extent to which BIC reflect neural events that are uniquely binaural rather, than occlusion of monaural and binaural activity, has not been resolved. However, their method of detection reflects the non-linear interaction of activity from binaural compared to monaural stimulation. It has been speculated that BI generation can be accounted for by one of two mechanisms: (1) the occlusion of two excitatory inputs [8,42] or; (2) excitatory–inhibitory interactions occurring within binaural brainstem structures [2,43–47]. More recently, Pratt and Polyakov [47,48] provide the electrophysiological evidence that the auditory system in the human pons includes a subset, which is specific, to binaurally presented sounds and which is anatomically distributed according to the lateralization of the sound.

As both cochleae are in bone cavities within the same skull, all vibration applied to one cochlea is transmitted to both cochleae and the sensation of hearing occurs in both [49]. Bone conduction thresholds from one ear are, therefore, commonly assumed to apply identically to both ears [50]. There is, however, some question as to whether this interpretation of BC is completely correct. The question is, specifically, whether sound transmitted to one mastoid process via bone conduction is perceived at equal intensities by each cochlea or whether some intensity differences exist between the two cochleae. Lucae [51], described the phenomenon of the cross sensation of the head ('Gekreuzte Empfindung'). Lucae [51], and Urbantschitsch [52], suggested that cross sensation might be related to the frequency of the tuning fork. Later, Stapells and Ruben [53], demonstrated significant differences in amplitude and latency of ipsilateral/contralateral recordings and also poorer response detectability for contralateral recording using BC tone-bursts. Sohmer et al. [54], observed a reduction in vibration magnitude of at least 15 dB using a piezoelectric accelerometer, which was in agreement with earlier works by Dunlap et al. [55], and Durant and Hyre [56]. Stenfelt et al. [57], using a damped dry skull, found a low frequency anti-resonance effect in the ipsilateral transmission path and higher response levels at the ipsilateral cochlea for frequencies greater than 1 kHz.

Furthermore, recent research by Kaga et al. [38], revealed that subjects with congenital AECB distinguish sound lateralization of interaural time and latency differences in both ears through bone vibrators placed on mastoid processes.

Congenital AECB causes a variety of hearing, education, and psychological problems. The complexity of these problems requires a systematic approach, from the initial evaluation to rehabilitative therapy. It is important for infants and children with AECB to be provided with sufficient amplification with a BHA until the atresia can be surgically corrected. In these children a BHA is fit to the mastoid process at about the age of 1 year to improve their hearing ability and to better develop speech and language. Presence of BC-BI in children suggests the possibility of sound localization and lateralization under binaural stimulation via bone vibrators applied to both mastoid processes. Our results support the use of bilateral bone-vibrators in subjects with AECB. Binaural-BC stimulation might provide binaural hearing and sound lateralization in subjects with AECB.

In conclusion, this study provides evidence that BC-BI is present in children. Previous research from our lab revealed that subjects with AECB maintain the ability to lateralize sound through bilateral bone vibrators. Therefore, we suggest that subjects with AECB be fit with bilateral bone-vibrators to provide binaural hearing and sound lateralization. Further studies are needed to investigate general properties, such as the maturational and frequency-dependent characteristics of this BC response.

Acknowledgements

This research was supported by a grant from Japan Society (JSPS) to the first and third authors for promotion of Science.

References

- [1] D.L. Jewett, Volume conducted potentials in response to auditory stimuli as detected by averaging in the cat, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 28 (1970) 609–618.
- [2] R.A. Dobie, C.I. Berlin, Binaural interaction in brainstem evoked response, *Arch. Otolaryngol.* 105 (1979) 391–398.
- [3] S.L. Wada, A. Starr, Generation of auditory brainstem responses (ABRs). I. Effect of injection of a local anesthetic (procaine HCL) into the trapezoid body of guinea pigs and cat, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 56 (1983) 326–339.
- [4] N. Dum, U. Schmidt, H. Von Wedel, Scalp distribution of the auditory evoked brainstem potentials in the guinea pig during monaural and binaural stimulation, *Hear Res.* 57 (1981) 271–284.
- [5] J.N. Gardi, C.I. Berlin, Binaural interaction component: their possible origin in guinea pig auditory brainstem response, *Otolaryngology* 107 (1981) 164–168.
- [6] S. Wada, A. Starr, Anatomical bases of binaural interaction in auditory brain-stem responses from guinea pig, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 72 (6) (1989) 535–544.
- [7] J.S. Buchwald, Generators, in: E.J. Moore (Ed.), *Bases of Auditory Brainstem Evoked Responses*, Grune and Stratton, New York, 1983, pp. 157–195.
- [8] C. Shipley, G. Strecker, J.S. Buchwald, Binaural interaction effect on the auditory brain stem response of the cat and kitten, *Brain Res.* 321 (1984) 299–309.
- [9] D.M. Caird, R. Klinke, Processing of binaural stimuli by cat superior olivary complex neurons, *Exp. Brain Res.* 52 (1983) 384–399.
- [10] D. Sontheimer, D. Caird, R. Klinke, Intra- and extracranially recorded auditory evoked potentials in the cat: II. Effects of interaural time and intensity differences, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 61 (1985) 539–547.
- [11] R.A. Dobie, S.J. Norton, Binaural interaction in human auditory evoked potentials, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 49 (1980) 303–313.
- [12] T.N. Decker, S.W. Howe, Auditory tract asymmetry in brainstem electrical responses during binaural stimulation, *J. Acoust. Soc. Am.* 69 (1981) 1084–1090.
- [13] K.S. Wrege, A. Starr, Binaural interaction in human auditory brainstem evoked potentials, *Arch. Neurol.* 38 (1981) 572–580.
- [14] F. Debruyne, Binaural interaction in early, middle and late auditory evoked responses, *Scand. Audiol.* 13 (4) (1984) 293–296.
- [15] M. Furst, R.A. Levine, P.M. Mc Gaffigan, Click lateralization is related to the β component of the dichotic brainstem auditory evoked potentials of human subjects, *J. Acoust. Soc. Am.* 78 (1985) 1644–1651.
- [16] D.L. McPherson, A. Starr, Binaural interaction in auditory evoked potentials: brainstem, middle- and long-latency components, *Hear Res.* 66 (1993) 91–98.
- [17] Z.D. Jiang, T.S. Tierney, Binaural interaction in human neonatal auditory brainstem, *Pediatr. Res.* 39 (1996) 708–714.
- [18] R. Galambos, J. Schwartzkopf, A. Rupert, Microelectrode study of the superior olivary nuclei, *Am. J. Physiol.* 197 (1959) 527–536.
- [19] R. Irving, J.M. Harrison, The superior olivary complex and audition: a comparative study, *J. Comp. Neurol.* 130 (1967) 77–86.
- [20] R.B. Masterton, T.J. Imig, Neural mechanisms for sound localization, *Ann. Rev. Physiol.* 46 (1984) 275–287.
- [21] G. Moushegian, A.L. Rupert, J.S. Gidda, Functional characteristics of superior olivary neurons to binaural stimuli, *J. Neurophysiol.* 38 (1985) 1037–1046.
- [22] D.R. Moore, Anatomy and physiology of binaural hearing, *Audiology* 30 (1991) 15–34.
- [23] S.L. Wada, A. Starr, Generation of auditory brainstem responses (ABRs). III. Effect of the lesions of the superior olive, lateral lemniscus and inferior colliculus on the ABR in guinea pig, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 56 (1983) 352–366.
- [24] M.J. Wilson, D. Kelly-Ballweber, R.A. Dobie, Binaural interaction in auditory brain stem responses: parametric studies, *Ear Hear.* 6 (1985) 80–88.
- [25] J.S. Buchwald, C. Huang, Far-field acoustic response: origins in the cat, *Science* 1 (189) (1975) 382–384.
- [26] R.A. Levine, Binaural interaction in brainstem potentials of human subjects, *Ann. Neurol.* 9 (1981) 384–393.