

原 著

人工内耳と補聴器の併用による両耳聴
—聴覚障害児 1 事例の聴取様態について—

富 澤 晃 文*・加 藤 靖 佳**

補聴器により聴覚を十分に活用しながらも非良聴耳に人工内耳を埋め込み、人工内耳と補聴器の併用に至った聴覚障害児 1 例の聴取様態について、両耳聴の観点から検討した。本児を対象に、ラウドネスグロースの測定とフィルタ語音を用いた単語理解度検査を施行した。人工内耳側と補聴器側では、異なるラウドネスグロースが得られた。本児の単語理解度は、人工内耳のみ・補聴器のみを装用したいずれの場合においても良好であり、両機器の併用によっても低下しなかった。それぞれの耳において、ラウドネス特性・周波数情報の利用の仕方が異なることが示唆されたが、少なくとも、人工内耳と補聴器の併用が聴取能を低下させるとはいえず、このことは、本児が実生活で支障なく両耳を活用している実態と矛盾しなかった。

キー・ワード：聴覚障害児 人工内耳 補聴器 両耳聴

I. 問題と目的

人工内耳は、蝸牛内に挿入した電極によって音刺激を聴神経に伝え、聴覚を生じさせるシステムである。今後はさらに聴覚障害児の音声言語獲得において、その貢献が期待されている。1994年に厚生省によって人工内耳手術の保険適用がみとめられて以来、我が国においても小児の症例数が増えつつあり、現在、18才未満の人工内耳装用児は500名を越えている(2001年11月、日本コクレア社より情報提供)。人工内耳は、片耳装用が原則とされている。人工内耳の両耳装用が行われない理由として、2台目の人工内耳は保険適用にならず費用がかさむこと、また将来、人工内耳の改良型が開発されたときのために一側を残しておく方がよいといったことが挙げられている。また対側耳への補聴器装用についても、「あまりいい方法ではない」と

されてきた(伊藤 1994¹⁾, 2000²⁾)。この理由は、1) そもそも人工内耳は補聴器の装用効果が少ない者が対象とされており(日本耳鼻咽喉科学会, 1998³⁾)、対側耳への補聴器装用による効果が期待できないこと、2) 人工内耳によるパルス信号と補聴器による増幅音では、そのシステムの違いから音質も大きく異なる(伊藤, 1994¹⁾; 伊藤, 2000²⁾; 本庄, 1993⁴⁾; 渡辺, 1995⁵⁾)という2点が挙げられる。特に後者の立場からは、左右の耳から異質な信号が入力されると、中枢処理過程において情報が統合されず、聞き取りに混乱をきたす可能性が危惧されている。このように末梢レベルにおける入力信号に違いがあることから、人工内耳の対側耳への補聴器装用は支持されてこなかった。

一方で、近年の小児人工内耳のニーズの増大に伴い、残存聴力がある程度がみとめられる例においても人工内耳手術が施行されるようになってきており、あわせて対側耳に補聴器装用を試みる報告が散見されている(第3回アジア

* 日本聾話学校

** 筑波大学心身障害学系

国際人工内耳会議, 2001²⁾; 北野・内藤・高橋, 2000⁶⁾; 小川・兵頭・暁・高橋, 2001⁸⁾)。これらの報告は前述の危惧に反して、人工内耳と補聴器の両耳への併用によって聴取に混乱は生じなかったとしている。Ching, Psarros, Hill, Dillon, and Incerti (2001¹¹⁾) は小児 16 名を対象として、人工内耳の対側耳への補聴器装用の効果について詳細に検討を行っており、語音聴取、音源定位、教育場面において効果がみられたとしている。これらの報告を総括すると、「人工内耳と補聴器の併用によってそれぞれの耳に入力された異質な信号は、中枢レベルにおいて統合されない」とする仮説には修正が必要である可能性が示唆される。しかしながら、それぞれに特性の異なる 2 つの機器の併用によって両耳聴が成り立つ機序については未だ明らかではなく、検討すべき点を多く残している。

今回我々は、補聴器装用により十分に聴覚を活用しながらも非良聴耳に人工内耳を埋め込み、人工内耳と補聴器の併用に至った先天性高度難聴児 1 例 (10 才, 女児) を経験した。本児は、音入れ後 6 ヶ月頃から「両耳の方がよく聞こえる」と述べ始め、人工内耳と補聴器を日常的に両耳に併用している。我が国において、聴覚活用度がこれほど高く、かつ主観的な音の評価を訴えるに十分に年齢の高い人工内耳装用児が少ないことを考えあわせると、本児は貴重な事例であると思われる。本児の聴取様態を明らかにすることは重要であると考えられる。またここから得られた知見は、手術年齢の低年齢化のニーズが高まる現在、幼小児の人工内耳と補聴器の併用の是非を検討する上でも役立つと思われる。

本研究は、人工内耳と補聴器の併用による聴取様態について、両耳聴の観点から検討することを目的とした。

II. 方法

1. 事例の概要

1) 対象児：先天性高度難聴児 1 例 (女児, 2001 年現在で 10 才)。術前の平均聴力レベル

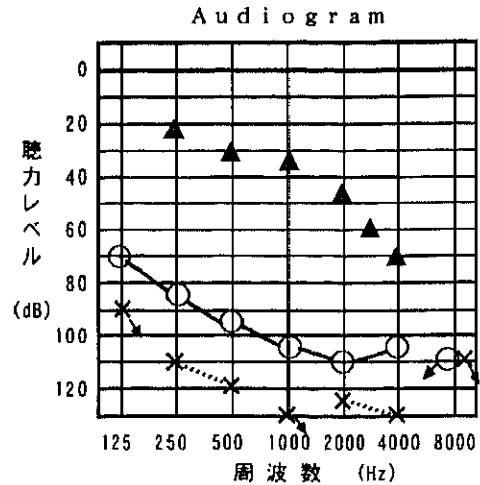


Fig. 1 術前のオーゾグラムと補聴器装用下の最小可聴閾値 (▲=右HA装用閾値 [センソP38-V])

は、右：104 dBHTL、左：130 dBHTL スケールアウトであった (Fig. 1)。右耳には補聴器の装用効果がみとめられたが、非良聴耳である左耳の装用効果は少なかった。

2) 教育歴：1才11ヶ月時に感音性難聴の診断を受け、難聴幼児通園施設にて補聴器装用指導と療育を受け始めた。3才時に、聾学校幼稚部に入學した。本児が教育を受けた機関は、ともに聴覚主導の教育を標榜しており、手指メディアは導入されなかった。本児は聴覚/言語面を含めて全体的発達が順調であったため、小学校入学時に普通私立小学校にインテグレートした。

3) 人工内耳手術に至るまでの経過：本児は9才の時、人工内耳の相談のため大学病院を受診した。保護者は、本児の右耳の補聴器の装用効果のみとめながらも、さらなる聞こえの向上を求めて人工内耳を希望した。補聴器の装用効果がみとめられたため、人工内耳の適応とするか否かで関係者の間でも議論となり、その内容は保護者にも伝えられたが、最終的に保護者からの強い希望により、本児は左耳に人工内耳の埋め込み手術を受けた。マッピング¹²⁾ および術後の聴能指導は、術後1週間後から定期的に

行われた。

4) 術後の経過：本児にとって補聴器がそれまでの実用的な聞き取りの手段となっていたことを配慮し、右耳の補聴器は外さずに、人工内耳と補聴器の2つの機器をそれぞれの耳に装着させるスタイルを基本とした。音入れ後の当初、本児は「人工内耳は聞こえない」と訴えていたが、2～3ヶ月経過した頃から「(人工内耳は)聞こえる」と訴え始めた。6ヶ月経過した頃から、「小さい声だったり、友達に遠くから話されるとよく分からないが、両耳の方がよく聞こえる」と話し出し、実生活で聞き取りに大きな支障もなく、人工内耳と補聴器を両耳に併用し続けた。母親によると、6ヶ月を過ぎた頃から「母-娘間の会話での、聞き返しがなくなった」「車の前部座席と後部座席で会話ができるようになった」といった変化がみられるようになったという。また母親は、それまで歪みのみられていたS音の槽音について、「誤った発音の癖はまだ残っているが、周りの者が注意を促せば、自分で直すことができるようになった」と述べている。なお、術後1年が経過した時点で、「どちらの耳の方がよく聞こえますか」と本児に質問したところ、本児は「分からない」と答えていた。

5) 現在の使用器種：音入れ後1年あまりが経過した現在、右耳に補聴器(ワイデックス社、センソP38-V)を、左耳に人工内耳(コクレア社、Nucleus 24システム(ESPrit))を装着している。センソP38-Vは、EDRC(拡張ダイナミックレンジコンプレッション)⁴²⁾による圧縮増幅機能を備えた高出力のフルデジタル補聴器である。2ccカプラ内の特性データを、Fig. 2に示した。人工内耳のマップは、コード化法はSPEAK、刺激モードはBP+2で設定された。なお、NRT(Neural Response Telemetry: 神経反応テレメトリ)⁴³⁾では1～7番の電極は無反応であったが、自覚的なT-Cレベル⁴⁴⁾の測定では全電極で反応が得られていた。

2. 実験の方法

本児を対象として、以下の2つのテストを

(出力音圧)

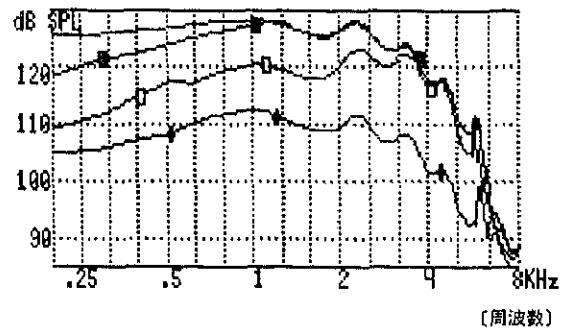


Fig. 2 右耳補聴器の周波数特性図
[ワイデックス社、センソP38-V]
下から順に、純音50, 65, 80, 95dB SPL
入力時の出力曲線を示した(2ccカプ
ラ内)。

行った。それぞれのテストの目的と方法を、以下に示した。

1) ラウドネス⁴⁵⁾グロースの測定：両耳間の音量バランスを知ることを目的として、「人工内耳のみ装用」「補聴器のみ装用」「裸耳(右耳気導)」のそれぞれにおいて、ラウドネスグロースの測定を行った。各周波数において振音を10 dBステップで上昇法にて提示し、被検児に音の大きさを同定させた。評定は、「小さい」「中くらい」「大きい」の3段階とした。本測定は、音入れ後11ヶ月時に行った。

2) 単語理解度検査：補聴器適合評価用CD(TY-89)の幼児用3音節単語25語を使用して、単語理解度検査を行った。また今回は低音域/高音域の音響情報の活用様態を知ることが目的に、ハイパスフィルタ、ローパスフィルタをかけた語表を用意した。フィルタ処理には音響分析ソフトウェア Sound Scope を使用し、音声の中心周波数帯にあたる1 kHzをカットオフ周波数としたデジタルフィルタ(減衰傾度: 80 dB/oct)を用いて、Macintosh上で編集を行った。フィルタ語音は、各3表ずつ作成しCD-Rに録音をした。作成したフィルタ語音の例はFig. 3, 4に示した。これらの検査語音を「人工内耳+補聴器」「人工内耳のみ」「補聴器のみ」の各装用条件下で、防音室内において、

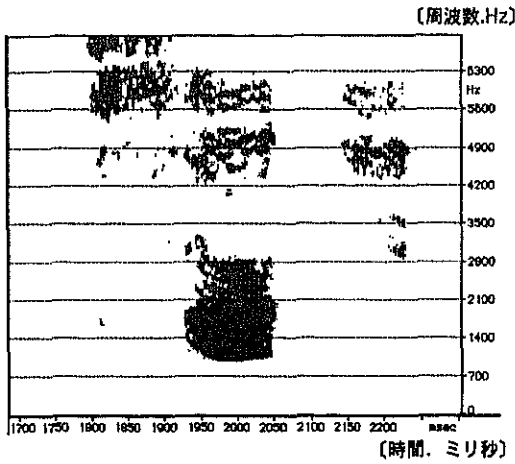


Fig. 3 ハイパスフィルタ音声「ウサギ」のサウンドスペクトログラム

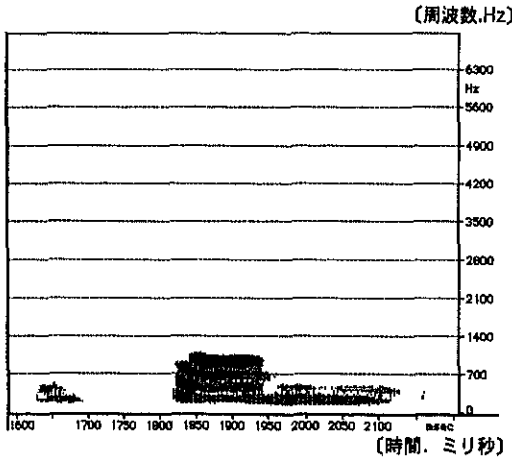


Fig. 4 ローパスフィルタ音声「ウサギ」のサウンドスペクトログラム

オージオメータ (Interacoustics 社. AC-30) を経由して 1 m 前方に設置したスピーカ (YAMAHA. AST-S1) から被検児に提示した。提示レベルは「人工内耳+補聴器」装着時に被検児が「ちょうどよい」と述べた強さに統一した。応答には回答用紙を用意し、5 択のクローズドセットの同定課題とした。本検査は、音入れ後 1 年 2 ヶ月時に行った。

III. 結果および考察

1. ラウドネスグロースの測定

ラウドネスグロースの測定結果を、Fig. 5, 6 に示した。人工内耳側は高音域においても低い閾値を示し、ダイナミックレンジは広帯域にわたって一定の幅を示していた。これに対して、補聴器装用下の閾値は低音域では低く、周波数

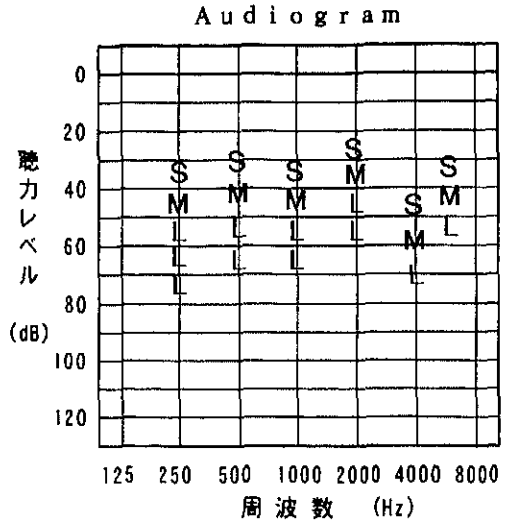


Fig. 5 左：人工内耳装用下のラウドネスグロース (S=小さい, M=中くらい, L=大きい.)

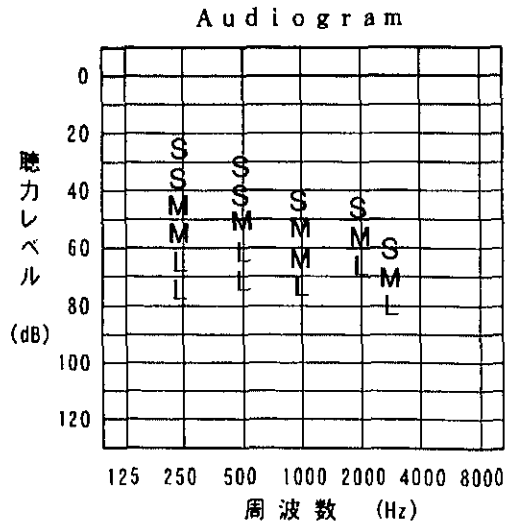


Fig. 6 右：補聴器装用下のラウドネスグロース (S=小さい, M=中くらい, L=大きい.)

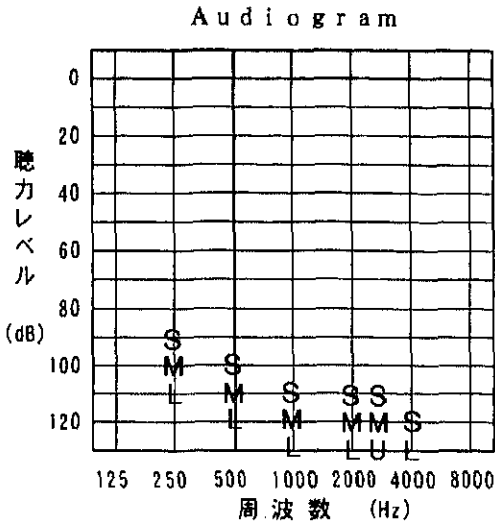


Fig. 7 右：裸耳（気導）のラウドネスグロース
(S=小さい, M=中くらい, L=大きい.)

が上がるにつれて閾値が上昇した。また、低・中音域においてダイナミックレンジが広がる傾向がみられたが、これは補聴器の圧縮増幅処理の影響と考えられた。人工内耳装用下と補聴器装用下では可聴周波数範囲・装用閾値だけでなく、ラウドネスグロースの特性も異なることが示された。この結果から、会話音声聴取時に、それぞれの耳が感じる音量感の変動は異なることが予測された。一般に、音声聴取時には左右の耳でラウドネスバランスが整っていた方がよいと考えられるが、本児の場合はこれにあてはまるとはいえなかった。このことから、それぞれの耳に対する聴覚の補償が、音声を聴取する上で適切に調整されていれば、両耳間のラウドネスバランスのずれは実用上、決定的な問題とはならない可能性が示唆された。

2. 単語理解度検査

各刺激音の提示音圧について、騒音計でピークレベルを測定したところ、フィルタ処理なしの語音では、70~78 dB SPLであった(TY-89. Disc 1の較正用純音は78 dB SPLであった)。また、2種類のフィルタ語音のうち、ハイパスフィルタ語音は23語が65~75 dB SPLを

Table 1 各装用条件下の単語理解度

	CI+HA	CIのみ	HAのみ
フィルタ処理なし	100%	100%	96%
ハイパスフィルタ語音	60%	68%	68%
ローパスフィルタ語音	96%	76%	96%

CI=人工内耳, HA=補聴器

示し、「けむり」(60 dB SPL)と「ねずみ」(64 dB SPL)の2語が低い音圧を示した。ローパスフィルタ語音は、全25語が70~75 dB SPLを示した。

Table 1に、単語理解度検査の結果を示した。フィルタ処理なしの単語理解度検査の結果をみると、「人工内耳のみ」「補聴器のみ」条件下の理解度はいずれも良好であり、「人工内耳+補聴器」併用によって聴取成績は低下しなかった。

ハイパスフィルタ語音の場合、全ての装用条件下において、理解度は60%台まで低下した。人工内耳側、補聴器側のいずれもが高音域の語音情報のある程度は利用可能であるが、十分なまでの情報量の受容には至っていないこと、また「人工内耳+補聴器」併用によって聴取成績は変わらないことが示された。一方、ローパスフィルタ語音の場合、「人工内耳のみ」装用下の聴取が低下したのに対し、「補聴器のみ」装用下では高い理解度を維持していた。補聴器側は、低音域の音響的キューの受容において優位であり、高音域情報カットの影響を受けにくいと推察された。これに対し、人工内耳側は低/高音域情報カットの両方の影響を受けており、人工内耳の語音受容には広帯域の周波数情報が必要であると考えられた。

今回の単語理解度検査の結果から、人工内耳と補聴器という音質の異なる機器では、周波数情報の利用の仕方が異なることが示された。このことから、各側における語音の音響的キューの利用様態は異なると推察された。

3. 両機器の併用による両耳聴

本研究は、「両耳の方がよく聞こえる」と本児

が訴えていた点について、人工内耳と補聴器の併用は、単語理解度を低下させなかったことを示したのみで、両耳聴による主観的効果の直接的な裏付けまでには至らなかった。両耳聴による本児の主観的効果が実証されなかった理由として、聴取課題の方法上の問題が考えられる。今回のような防音室内での単語理解度テストの成績は、実生活における両耳聴による効果を単純に反映するとは考えにくく、音源定位やノイズ負荷下での語音聴取など、両耳聴の効果が現れやすいと予想される実験場面での聴取成績を加味して、あらためて考察する必要があると思われる。

しかしながら、本研究の結果が両耳聴の効果を直接的には示さなかったとしても、1) 人工内耳と補聴器の併用が単語理解度を低下させなかったこと、および、2) 本児の耳において優位側が明確でなく、いずれか一侧の入力情報が無視されている可能性が低いと予想されることの2点を考え合わせると、人工内耳と補聴器の併用による両耳聴は、聴取に混乱を引き起こさない形で成立していたと考えられる。少なくとも、今回得られた結果は、本児が実生活で支障なく両耳を活用している実態と矛盾しなかったといえる。

また、本児が両耳聴を成立させていたならば、両機器からの入力刺激は音韻レベルで同質の情報として知覚されているのか、(音韻レベルでは同質ではなく) 意味レベルで同質の情報として扱われているのかという疑問が浮かび上がってくる。この問題については、人工内耳による音韻の学習過程をふまえる必要があると思われる。本児が術前にすでに補聴器によって音韻を獲得していたことを考慮すれば、人工内耳によって新たに一から音韻表象が形成されるよりはむしろ、中途失聴の人工内耳装用者が音を再学習する場合のように、人工内耳による入力音をすでに記憶されている音韻表象に照合させていく学習過程の方が易しいと思われる。また、音入れ6ヶ月後から実生活で人工内耳の聴きとりの効果が大きく現れた時間的な早さを考え合

わせると、補聴器によって獲得された音韻が鋳型となって、人工内耳による聴覚学習に貢献した可能性が考えられる。つまり、人工内耳による音の同定に補聴器によって獲得された音カテゴリーが利用されながら、両耳間の統合がなされていった学習過程が推測されよう。これらのことを総括すると、人工内耳と補聴器による各側への入力刺激は異質さを伴いつつも、中枢処理過程において同質の音韻情報として利用される機序が推定される。本事例から得られた両耳聴の知見は、中枢レベルにおける聴覚システムの柔軟性の高さを示唆するものといえよう。

IV. まとめ

本研究は、補聴器により聴覚を十分に活用しながらも、非良聴耳に人工内耳を埋め込み、人工内耳と補聴器の併用に至った聴覚障害児1例の聴取様態について検討した。本児の聴取様態について、1) 人工内耳側と補聴器側では、ラウドネス特性が異なった。2) 語音聴取成績は、「人工内耳のみ」「補聴器のみ」を装用したいずれの場合においても良好であり、人工内耳と補聴器の併用によって聴取能は低下しなかった。3) 語音受容における周波数情報の利用様態は、人工内耳側と補聴器側で異なったことの3点が明らかとなった。特に2)は、本児が実生活で支障なく両耳を活用している実態と矛盾しなかった。これまで、人工内耳と補聴器は音質が異なることから、両機器の併用による両耳聴は成立しないと考えられてきたが、本研究の結果はこれを支持しなかった。むしろ1)～3)を総考すると、各側からの入力刺激は音質的に異質さを伴いながらも、中枢処理過程において同質の音韻情報として聴取に役立てられていることが推察され、中枢レベルにおける聴覚システムの柔軟性の高さが示唆されたといえる。

今後は、個々の臨床例のオージオロジカル・ケアの見通しを立てるためにも、他の事例を参照しながら、人工内耳と補聴器の併用による両耳聴を成立させる条件と機序の解明、それぞれの機器の調整法、およびその効果を明らかにす

ることが重要となろう。

ロースとは、ラウドネスの成長曲線のことを指す。

謝 辞

本研究に際し、資料を御提供いただきました東海大学の北野庸子先生・内藤明先生に深謝申し上げます。

注

- 1) 人工内耳の各電極の各刺激パラメータの設定を行う一連の操作をマッピング、設定された刺激用プログラムをマップという。
- 2) Extended Dynamic Range Compression (拡張ダイナミックレンジコンプレッション)の略。ワイデックス社のフルデジタル補聴器センソ P38 シリーズがもつ圧縮増幅機能。利得が入力音のレベルに依存する方式で、入力音圧が低いときの利得を大きく、入力音圧が高いときの利得を小さく設定できる。
- 3) Neural Response Telemetry (神経反応テレメトリ)の略。人工内耳(Nucleus24システム)の蝸牛内電極からの刺激に対する神経複合電位を他の電極でとらえ、体外部に送信して記録したもの。
- 4) TレベルとCレベル：人工内耳の各電極の刺激量の設定において、音感覚を感じ始める最小刺激レベルをTレベル、快適に感じられる最大刺激レベルをCレベルという。
- 5) 音の強さに関する聴感上の属性。ラウドネスは「小さい」から「大きい」までの尺度上で表現される。ラウドネスグ

文 献

- 1) Ching, T. Y., Psarros, C., Hill, M., Dillon, H., & Incerti, P. (2001) Should children who use cochlear implants wear hearing aids in the opposite ear? *Ear & Hearing*, (22) 5, 365-380.
- 2) 第3回アジア国際人工内耳会議(2001) The Third Congress of Asia Pacific Symposium on Cochlear Implant and Related Science 抄録, 55-57.
- 3) 本庄 巖(1993)人工内耳の現状と将来. 耳鼻臨床, 86(1), 1-11.
- 4) 伊藤 壽一(1994)人工内耳に関する Q&A. 人工内耳. 中山書店, 184-189.
- 5) 伊藤 壽一(2000)人工内耳に関する Q&A. 人工内耳(改訂第2版). 中山書店, 244-249.
- 6) 北野庸子・内藤明・高橋正紘(2000)小児人工内耳症例の聴取能成績—人工内耳と補聴器：片耳装用 vs 両耳装用の比較—. *Audiology Japan*. 43(5) 126-127.
- 7) 日本耳鼻咽喉科学会(1998)人工内耳適応基準. 日本耳鼻咽喉科学会資料.
- 8) 小川宏和・兵頭政光・暁清文・高橋信雄(2001)一側人工内耳、対側補聴器装用症例の言語聴取能. 第46回日本音声言語医学会・学術講演会抄録集, 51.
- 9) 渡辺真一(1995)人工内耳の工学的側面. *JOHNS*, 11(4), 543-550.

Binaural Listening in a Child who Uses both a Cochlear Implant and a Hearing Aid

Akifumi TOMIZAWA and Yasuyoshi KATO

A case of hearing-impaired child (female, 10-years old), who uses both a cochlear implant (Cochlear. N24 system) and a hearing aid (Widex. Senso P38-V), was studied. The child often reported the benefits of using both devices. Her loudness-growth was measured, and we found the difference in characteristics of the loudness between the implanted-ear and the aided-ear. Word-identification tests were performed, which consisted of three filter-processed materials, all-frequency passed, low-frequency passed, and high-frequency passed. The performance under three wearing conditions (CI+HA, CI, HA) were compared. In spite of the difference between devices, the results revealed that using both devices did not disturb binaural listening. This finding corresponded to her subjective benefits.

Key Words : hearing-impaired child, cochlear implant, hearing aid, binaural listening