総 説

人工内耳と言語

本庄 巖

要 約：人工内耳の最終目標は、聴覚障害者に聴覚性言語によるコミュニケーションを獲得させることにある。人工内耳を介したかなり乏しい言語情報にもかかわらず、良好な言語理解度は、中枢での言語処理の重要性を示すものといえる。脳機能画像によって、言語習得期後失聴者では側頭葉、聴覚連合野の著明な活動がみられるが、言語習得前失聴者では、脳活動は一次聴覚野に限定されていることが示された。また視覚言語（読唇）によって聴覚野の活動がみられた所見も、脳の可塑性を示唆するものといえる。早期に人工内耳を装用した先天聾小児の観察の集積から、彼らの言語理解力は健聴児のそれとほぼ等しいレベルに達することが示されている。また人工内耳装用者の表出言語能力は、言語理解力のそれとよく相関することもわかっている。先天聾児の言語発達は、小学校入学までの早期に人工内耳の装用を開始すれば、一定の遅れはあるもののほぼ正常化するものと考えられる。音韻に関していえば、母音だけでなく子音も装用後、年とともに獲得され、発語明瞭度でも補聴器装用のシルバー群（裸耳聴力 100～110 dB）のそれに達する。また言語発達では装用 5 年後でもプラトーに達しないことがわかっている。このような表出、認知両面における人工内耳装用者の著明な言語発達は、言語習得期における脳の可塑性の意義を示すものといえる。したがって、人工内耳適応のための他覚的な聴覚評価と装用後の言語のハビリテーション体制が人工内耳センターなどで確立されるようになれば、より早期での人工内耳手術が望まれる。

索引用語：人工内耳、脳機能画像、神経の可塑性、言語発達、発語明瞭度

Language in Cochlear Implant Users

Iwao Honjyo

Abstract : The final goal of cochlear implant (CI) is to afford communication by auditory speech to a deaf patient. Satisfactory understanding of speech despite a fairly small amount of speech information via CI may indicate the significance of central processing in recognition of speech. Functional brain imaging revealed marked activity in the associated auditory area in the temporal lobe in postlingual deaf patients, while cortical activation was limited in the primary auditory area in prelingual deaf patients. Activation in the auditory cortex by visual language such as lip-reading also suggests "neural plasticity" in the brain. Accumulated observations of congenitally deaf children who received CI in their early years revealed that their ability in speech understanding reaches nearly the same level as normal hearing children. It was also demonstrated that expressive language in CI users correlates closely to perceptive language. Language development in congenitally deaf

children was regarded to become nearly normal with a certain delay, if they were implanted at an early age before primary school. In respect to phonemes, not only vowels but also consonants were obtained progressively after implantation, and speech intelligibility was nearly equal to that of hearing aid users of "silver group". It was also found that language development does not reach a plateau even 5 years after implantation. Marked development in both expressive and cognitive language in CI users appears to indicate significance of plasticity in the brain especially during the period of language acquisition. Thus CI implantation at an early age would be highly recommended, if a system for objective evaluation of hearing for CI candidates and speech habilitation after implantation were established in CI centers in Japan.

Key words : cochlear implant, functional brain imaging, neural plasticity, language development, speech intelligibility

はじめに

先天聾に代表されるような言語習得期の前に聴えを失った例（言語習得期前失聴者）では、音声を介した言語（聴覚言語）の獲得がきわめて困難となることが知られている。これは言語習得期の幼児が通常行っている耳からの言語情報が入力されず、かつ自己の音声の聴覚を介したフィードバックができないことによる。一方、人工内耳の普及によってこのような言語習得期前失聴の小児でも、装用後の言語理解力が大幅に向上することが明らかにされてきた。しかし、小児人工内耳のスタートが遅れたわが国では、小児例での言語発達の観察期間が短いこともあって、装用児がどのような表出言語の発達を遂げるか、あるいは母音にくらべ聴取成績の劣る子音節がどの程度正確に発音されるかなどに関して、われわれの知識はまだ乏しい。人工内耳によって先天聾の小児が健聴児と同じ言語発達を遂げることが証明されれば、この先端医療の意義は完結したといえる。

一方、蝸牛有毛細胞の数に比べて、最大 20 個という電極による人工内耳の情報入力はかなり乏しいにもかかわらず、比較的良好な言語理解が得られていることは、言語認知のプロセスで蝸牛レベルでの言語処理に加え、言語中枢での処理を重視させるものである。近年の脳機能画像法の進歩によって、言語関連の大脳皮質の賦活化を客観的に調べることができるようになり、この分野でも興味深い所見が次々と得られている。

脳機能画像による言語関連領域の描出

周知のように中枢における言語関連領域は、言語理解の場としては側頭葉のシルビウス裂に接する一次聴覚野とそれを囲む聴覚連合野であり、古典的なウェルニッケ野もこの中に含まれる。一方表出言語の場は前

頭葉の下前頭回後部のいわゆるブローカ野が主体で、これに補足運動野などが加わる。これら中枢の言語関連領域が言語の聴取や表出に際して賦活化される状況が、PET (Positron Emission Tomography) や MEG (Magnetoencephalography) などの脳機能画像法で明確に把握できるようになった。

1. 人工内耳装用者の脳機能

幼小児期に高度の難聴をきたし言語を獲得する機会がなかった、いわゆる言語習得期前失聴児では人工内耳の装用が遅れた場合、言語の聴取成績はきわめて不良であることが知られている。内藤¹⁾は、10 歳で人工内耳装用を開始した男児の脳機能画像で、言語刺激によっても聴覚連合野の活動がほとんどみられず、わずかに音処理の場である一次聴覚野の賦活化がみられることを観察している（図 1a）。これは人工内耳を介した言語情報が脳内に到達しても、言語として処理する回路網が未構築なためと考えられ、不良な言語の聴取成績を裏付ける所見といえる。しかし、このような例

図 1 人工内耳装用児の聴覚連合野の発達（文献 1）。a：人工内耳装用後 2 年後では活動が乏しい，b：5 年後では著明な活動がみられる（矢印）

でも人工内耳の装用を続けることで、5年後の言語聴取時の脳機能画像（PET）では健聴者とほぼ同一の部位、すなわち側頭葉の聴覚連合野、なかでも左大脳半球で著明な脳の賦活化が認められるようになっている（図1b）。言語習得前失聴例でのこのような聴覚連合野の活性化は、聴覚刺激に対する中枢神経機構の可塑性を示す貴重な所見といえる。

2. 視覚言語による脳機能

興味深いことに、先天聾の例でも読唇による言語理解に優れている例では、視覚言語は後頭葉の視覚野だけではなく、側頭葉の聴覚連合野でも処理されることがこれまでもいくつか報告されている。なかでも、口話やキードスピーチなどの視覚言語を多用していた難聴児（8歳）で、人工内耳の装用による聴覚刺激では活動のみられない側頭葉が（図2a）、読唇の併用によって著明に賦活化している所見¹⁾は興味深い（図2b）。同じく機能局在を超えた脳の可塑性を示す所見とも考えられるが、言語処理のための神経回路網は視覚と聴覚とで競合する可能性があり、難聴児教育における視覚言語の位置付けとも関連して、今後の検討課題と考えられる。

人工内耳を介した言語の表出

人工内耳手術を受けた先天聾の幼児は、この機器を介して初めて母親や周囲の人々の声を聞き、これを介して言語関連の神経回路網を脳内に構築してゆくことになる。これら小児の言語の理解は、早期に人工内耳の装用を開始した場合、数年後にはほぼ健聴児に近いレベルに達することが明らかにされている。一方、言語の理解と表裏の関係にある表出言語の発達についても、インディアナ大学をはじめ欧米での多くの報告がみ

図2 視覚言語による側頭葉の賦活（文献1）。a：聴覚刺激のみでは側頭葉は活動しない，b：読唇時には側頭葉・聴覚連合野が賦活化する（矢印）

られ、言語の基本となる母音、子音などの音韻レベルから発話明瞭度（Speech Intelligibility）、さらには言語の発達（Language Development）にまで及んでいる。

1. 音韻の面から

言語の基本となる母音、子音の表出の観察は、人工内耳がスタートした早い時期から行われているが、1991年、Tobey ら²⁾は人工内耳装用児を年齢別に4群に分け、装用前と装用1年後では、最年長群が他の3群より有意に多くの破裂音、摩擦音、滑音、鼻音などの子音を構音できること、どの群でも有声音の方が無声音より多く発音されるが、摩擦音は無声音の方が多く発音されること、また構音様式が外部からみえる両唇音や唇歯音の方が後方で構音される子音より多く発音されることなどを報告している（図3）。その後も彼ら³⁾は、人工内耳装用児の音韻の発達を、補聴器を含めた3群間で3年間にわたって観察し、2年後には人工内耳装用児群が有意の語音の改善を示し、3年目では母音発音が70%を越えること、子音では両唇、歯茎のほかに人工内耳装用児群のみで軟口蓋音がみられるが、硬口蓋音はいずれの群でもみられず、人工内耳装用児はいわゆる gold 群補聴器装用者（裸耳聴力 90～100 dBHL）と同レベルの構音能力を示すことを報告した。子音の発話明瞭度を補聴器装用児のそれと比較した他の報告⁴⁾でも、装用2.6年後で、子音の構音点、

(Serry T, et al: Phoneme acquisition in the first 4 years of implant use. The American Journal of Otology 18: S122-S124, 1997. より転載)

図3 人工内耳装用後の子音表出の経過（文献7）。縦軸は装用後の月数

構音様式、構音のいずれでも gold 群と同レベルまで改善されるとされ、一方、構音点の観察が容易な両唇音、唇歯音が最も正確に発音され、舌歯音、歯槽音、硬口蓋音、軟口蓋音の順で構音が不正確となるが、摩擦音の発音が最も遅れるとする報告⁶⁾などがある。

母音の表出に関しては、人工内耳装用児は母音の正確な表出が 77 % で、また正確な模倣では 93 % で可能になったとする報告⁶⁾や、母音は 1 年で獲得されるが重母音はより長期間を要すること、鼻音、破裂音、滑音などの子音は 4 年で獲得されるが、摩擦音は最も獲得が遅れるとする報告⁷⁾などがある。さらに装用児の 4 年間の追跡観察⁸⁾で、単母音は 100 %、重母音は 63 %、子音は 54 % ほど獲得され、これらの音韻獲得は健聴児に遅れるものの、その順序は健聴児のそれと変わらないことが明らかにされている。

このように英語圏における人工内耳装用児の音韻の観察では、重母音はやや遅れるが、母音は早期に獲得され、子音の発話も装用期間とともに着実に向上することが一致してみられ、言語習得期前失聴の装用児が gold 群補聴器装用児にほぼ匹敵する音韻の表出をみせることは注目に値する。

一方、日本における人工内耳装用児の観察では、西岡⁹⁾は装用後 6 ヶ月で母音は全例分化すること、子音は装用 3 年以上の時点で平均 59 % の表出率となり、うち口唇音は 2 年未満で半数以上、舌歯音を除く子音は 2 年以上の経過で半数以上で表出が可能となると報告している。同じく日本人装用児で 1 年間の構音獲得状況を調べた大森ら¹⁰⁾の報告でも、装用児は健常児と同じく、構音点では両唇音、硬口蓋音、口蓋歯茎音の順に、また構音様式では鼻音、有声、無声破裂音の順に獲得されるとした。

小括：人工内耳装用児の構音の発達では、母音はその聴取成績と同じく早期に獲得され、子音は健聴児のそれと同様に、両唇音から口蓋音へとほぼ前方から後方へ向かって獲得されることが明らかにされた。人工内耳装用児でみられる口蓋音など後方に構音点をもつ子音の発話の遅れは、視覚的に構音がとらえにくいと説明されているが、人工内耳装用児では前方に構音点を持つ舌歯音の獲得が最も遅れることも明らかにされており、視覚だけでは音韻による獲得スピードの違いを十分には説明できない。一方、補聴器装用児では獲得が困難な摩擦音が、人工内耳装用児では表出可能となっており、これは人工内耳では、高音域を含めほぼ全周波域の音声情報を入力できることによると考えられる。したがって人工内耳装用児では補聴器装用児でみられるような発話不能な音韻は最終的にはない

と考えてよい。

2. 音響学的な面から

それぞれの音韻の明瞭度の基礎となる音響学的特性のうち、有声、無声子音の識別に重要な VOT (voice onset time) について、Tobey ら¹¹⁾は 2 年以上にわたる人工内耳装用児の観察で、人工内耳を入力したときの発音がこれを切ったときのそれよりも有意に適切な VOT を示し、有声、無声子音表出の区別がより明確になることを見出し、またサウンド・スペクトログラムによって人工内耳切断時には中間値にあった母音の第 2 フォルマントが入力によって正常値に近づくことを報告¹²⁾している。

一方、高度難聴者の発話の特徴である開鼻声の人工内耳装用による減少と最終的な消失がいくつかの報告でみられ、人工内耳装用児で、鼻腔と口腔の音響エネルギー率の Nasometer による測定¹³⁾では、人工内耳切断時の鼻声度が入力で正常範囲に近づくことが見出されており、他方、母音の鼻音化が人工内耳装用後 1 年～1 年半では半数が、1 年半以上の経過では全例で消失することも報告⁹⁾されている。

小括：音韻の明瞭度の音響学的因子を他覚的に測定可能な VOT や鼻声度、あるいはサウンド・スペクトログラムが、人工内耳装用により改善することは、発話明瞭度の改善の基盤を示す所見といえる。しかし人工内耳のオン・オフによる短期間の観察法では記憶の要因が混入する恐れがあり、長期観察による評価法の方が優れていると考えられる。

3. 発話明瞭度の面から

人工内耳装用児の言語表出を聴覚的に判定する発話明瞭度検査法のうち、多チャンネル人工内耳を対象とした初期の報告として、1995 年、Robbins ら¹⁴⁾は言語習得期前失聴児の人工内耳装用前後の発話明瞭度を補聴器装用児のそれと比較し、2.5～3 年後には補聴器装用児の silver 群 (裸耳聴力 100～110 dB) を越え、3.5 年以後では 40 % の発話明瞭度を示すが、gold 群のそれには達しないことを報告し、同様の結果は Miyamoto ら¹⁵⁾の 5 年間の観察でもみられ、発話明瞭度に関するこの成績は、以下のように今日まで大きな変更点はみられない。すなわち、言語習得期前失聴小児の発話明瞭度の装用後 7 年間にわたる彼らの観察¹⁶⁾で、1～2.5 年で silver 群の補聴器装用児の明瞭度に達し、4.5～7.5 年後には平均明瞭度は 40 % を越えることが確認されている (図 4)。また、人工内耳装用期間による単語明瞭度の差異では、1 年使用群では 4.2 %、2 年使用群 30.7 %、3 年使用群 55.2 %、4 年使用群 74.2 % と向上し、この明瞭度が言語理解度と有意に相

(Miyamoto RT, et al: Speech intelligibility of children with multichannel cochlear implants. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 106: 35-36, 1997. より転載)

図4 人工内耳装用児の発話明瞭度の変化 (文献16). 3本の実線は上方より、それぞれ gold, silver, bronz 群補聴器の発話明瞭度を示す

関するとした報告¹⁷⁾がみられ、同様に人工内耳装用者の発話明瞭度と言語理解度の相関係数は0.7と高く、人工内耳による言語理解力の向上が表出言語の明瞭度に直結するとする報告¹⁸⁾もみられる。さらに人工内耳装用後の言語聴取成績と発話明瞭度との O'Donoghue らの観察¹⁹⁾では、装用5年目の発話明瞭度が装用2, 3, 4, 5年目の言語聴取成績と有意に相関し、装用後2~4年目での発話明瞭度もそれ以前の聴取成績と有意に相関することが見出されている。これは言語の聴取と表出の中枢処理が表裏一体の関係にあり、言語発達期における脳の可塑性とその臨界期とも関連する重要な所見と考えられる。

一方、6歳以前の装用開始例で SPEAK 法か CIS 法の人工内耳装用児に限った観察²⁰⁾では、従来の報告よりも発話明瞭度の向上を認め、1.5~2.5年の装用期間によって gold 群補聴器装用者と同等となったと報告されていたが、最近の彼らの観察²¹⁾では1~2.5年後ではやはり gold 群のレベルには達しないとされている。また、人工内耳装用後、平均4年経過した6~10歳児の表出言語の成績を語彙能力、文法理解を含めた複数の言語指数で評価したところ、装用児のほぼ半数で健聴児の平均的指数値に到達することが報告²²⁾されている (図5)。

小括：言語習得期前に失聴した小児でも、人工内耳の装用後、数年の経過で健聴児に近い発話明瞭度が獲得できたことは、言語表出の面でも人工内耳が高度難

(Moog JS, et al: Speech and language acquisition in young children after cochlear implantation. *Otolaryngol Clin North Am* 32: 1127-1141, 1999. より転載)

図5 人工内耳装用児の総合的な言語能力 (文献22). 装用児の約半数が健聴児の平均 (実線) に達している

聴児のコミュニケーション手段としてきわめて有効であることを確認したものといえる。今後適応が低年齢化し、観察対象が加齢によって言語年齢の面でも成長してゆくことで、この成績はさらに向上すると考えられる。

4. 言語発達の面から

語音の単位である音韻のレベルから単語や文章へと表出言語は複雑化するが、小児人工内耳の言語能力を評価する際、最終的な言語能力の指標は彼らが示す言語発達にあるといえる。これは入力される言語の理解度とも密接に関係しており、人工内耳装用児がこの機器によって言語によるコミュニケーションをいかに円滑に行っているかの全体像を示す所見といえる。

人工内耳装用児の言語発達に着目した早期の観察として、1995年 Robbins ら²³⁾は、人工内耳装用児の示す語彙、文法、言葉による問題解決などの表出言語の発達を15ヵ月間観察し、言語発達が非装用児のそれを上回ることを、そして表出言語の発達は言語聴取のそれとよく平行すること、しかしこの発達は観察期間内ではプラートには達せず、より長期の観察を要することを報告している。同じく装用児の言語発達を2.5年にわたって健聴児のそれと比較した報告²⁴⁾でも、装用児の言語発達のスピードは健聴児のそれと同様であるが、装用開始時の遅れからプラートには達せず、3歳以前の人工内耳装用開始でこれが解消される可能性があるとしている。また、人工内耳装用児の言語聴取と表出の発達を6種の評価法で調べた報告²⁵⁾では、装用1年後で連続語の理解と表出の両面で健聴児の発達スピードと等しくなること、しかし文法の理解度については、その上昇率は装用児で劣ることなどが見出されてい

る。

一方、このような言語習得に重要な2～5歳で装用を開始した小児の言語発達を観察²⁶⁾では、3年間で2～3歳群と3～5歳群とで言語獲得に有意差がないことが報告されており、また人工内耳装用児の言語発達の5年間にわたる観察²⁷⁾でも、装用後の経過とともに第三者にとって「ほぼわかる」から「よくわかる」へと進歩がみられるが、5年後でもなおプラートには達しないことが報告されている。しかし装用児の言語理解力、発話明瞭度、言語発達を2歳未満、2～3歳、4～5歳群で比べた報告²⁸⁾では、言語明瞭度や言語発達では低年齢群で良好であり、かつ口話法のみを使用する群が手話を混えるトータル法に比し優れているとした。Svirskyら²⁹⁾の人工内耳装用児の観察でも、装用2.5年までの言語年齢の上昇率は、健聴児のそれとほぼ同等であることを見出しているが(図6)、人工内耳装用児では装用開始の時点ですでに言語発達の遅れがみられるので、早期の装用開始が言語発達の観点から望ましいとしている。また口話法のみ使用の装用児の方が言語発達は良好であり、かつこれは言語理解力とよく相関することも報告されている。

小括：人工内耳装用児の言語発達で共通してみられる所見は、装用期間が大きな要因であり、装用期間が長いほど言語発達が向上することである。しかし、最

長5年間の装用期間でもその発達はプラートに達しておらず、これは健聴児でも言語習得期の幼小児の場合、その発達過程でプラートがないことと関連していると考えられる。しかし装用開始の時点ですでに言語発達に遅れが生じており、これを取り戻すには、たとえ健聴児と同等の言語発達のスピードを得ても、より長い年月を要することが予想される。

おわりに

人工内耳という新しい医療がスタートした当初は、歪みをもつ人工内耳による語音入力と、これによる自己音声のフィードバックで、はたして装用児が正常言語を獲得できるか疑問視されていた。しかし、人工内耳装用児はほぼ健聴児に近い言語発達を遂げ得ることが明らかにされ、あわせて表出言語の獲得が言語の入力側である言語の聴取成績と有意に相関することも確認された。これは聴覚を介した言語情報の入力、音声言語の発達にいかに関与するかを示すものであり、他方、人工内耳を介した入力言語の歪みにもかかわらず難聴児が通常の言語発達を遂げ得ることは、言語習得における脳の可塑性の大きさを示す所見といえる。また人工内耳の装用が早期であるほど言語発達の遅れが少なくてすむことは、脳の可塑性の臨界期と関連しており、装用開始の至適年齢を探る努力が続けられているが、現時点では2歳未満と2～3歳ではその後の言語発達に有意差が見出されておらず、いわゆる周言語習得期の装用開始でもよいのではないかと考えられる。なお人工内耳装用児の言語能力の評価に際して、わが国ではまだ標準的な検査法がなく、現在、言語理解力の検査法は人工内耳研究会で作業が続けられているが、表出言語の能力に関しても文法理解を含めた評価の標準化が望まれる。

人工内耳では補聴器の限界を超え、ほぼ全周波数にわたる聴力改善が期待されることから、今後、多くの難聴児が言語習得期の早期で人工内耳の装用を開始するようになれば、その言語発達は、健聴児のそれとほぼ差異のないものとなり、難聴の克服という目的でスタートした人工内耳は、難聴由来の言語障害も克服できるようになると予想される。

文 献

- 1) 内藤 泰, 川野通夫, 高橋晴雄: 小児人工内耳。人工内耳改訂版第2版(本庄 巖編), 185-187頁, 中山書店, 東京, 1999。
- 2) Tobey, E. A., Pancamo, S., Staller, S. J., et al.: Consonant production in children recoving a

(Svirsky MA, et al: Language development in profoundly deaf children with cochlear implants. American Psychological Society 11: 153-158, 2000より転載)

図6 人工内耳装用児の言語発達(文献29)。人工内耳装用児(黒丸)は非装用児(白丸)を超えて上昇するが、健聴児(45度の実線)のそれには達しない

- multichannel cochlear implant. *Ear Hear*, 12 : 23-31, 1991.
- 3) Tobey, E., Geers, A., Brenner, C. : Speech production results: speech feature acquisition. *Volta Rev*, 96 : 109-129, 1994.
 - 4) Kirk, K. I., Diefendorf, E., Riley, A., et al. : Consonant production by children with multichannel cochlear implants or hearing aids. *Adv Otorhinolaryngol*, 50 : 154-159, 1995.
 - 5) Tye-Murray, N., Spencer, L., Woodworth, G. G. : Acquisition of speech by children who have prolonged cochlear implant experience. *J Speech Hear Res*, 38 : 327-337, 1995.
 - 6) Ertmer, D. J., Karen, K. I., Sehgal, S. T., et al. : A comparison of vowel production by children with multichannel cochlear implants or tactile aids ; perceptual evidence. *Ear Hear*, 18 : 307-315, 1997.
 - 7) Serry, T., Blamey, P., Grogan, M. : Phoneme acquisition in the first 4 years of implant use. *Am J Otol*, 18 : S122-A124, 1997.
 - 8) Serry, T. A., Blamey, P. J. : A 4-year investigation into phonetic inventory development in young cochlear implant users. *J Speech Lang Hear Res*, 42 : 141-154, 1999.
 - 9) 西岡奈美江, 馬場朱美, 山口 忍, 他. : 人工内耳装用幼児の表出言語の発達—ビデオ記録による一例の経時的観察—. *Audiology Japan*, 44 : 142~146, 2001.
 - 10) 大森千代美, 傍土和香, 野中信之, 他 : 人工内耳を装用した先天性重度難聴幼児の構音獲得. *音声言語医学*, 42 : 17-23, 2001.
 - 11) Tobey, E., Uziel, A., Sillon, M., et al. : A cossitic characteristics of consonant production in French children with cochlear implants. Presented at IIIrd International Congress on Cochlear Implant, Paris, France, 1995. (18) より引用
 - 12) Tobey, E. A., Angelette, S., Murchison, C., et al. : Speech production performance in children with multichannel cochlear implants. *Am J Otol*, Supple 12 : 165-173, 1991.
 - 13) Svirsky, M. A., Jones, D., Osberger, M. J., et al. : The effect of auditory feedback on the control of oral nasal balance by pediatric cochlear implant users. *Ear Hear*, 19 : 385-393, 1998.
 - 14) Robbins, A. M., Kirk, K. I., Osberger, M. J., et al. : Speech intelligibility of implanted children. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, Supple 166 : 399-401, 1995.
 - 15) Miyamoto, R. T., Kirk, K. I., Robbins, A. M., et al. : Speech perception and speech production skills of children with multichannel cochlear implants. *Acta Otolaryngol*, 116 : 240-243, 1996.
 - 16) Miyamoto, R. T., Svirsky, M., Krtk, K. I., et al. : Speech intelligibility of children with multichannel cochlear implants. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 106 : 35-36, 1997.
 - 17) Mondain, M., Sillon, M., Vieu, A., et al. : Speech perception skills and speech production intelligibility in French children with prelingual deafness and coclear implants. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 123 : 181-184, 1997.
 - 18) Svirsky, M. A., Chin, S. B. : Speech production. *Cochlear Implant* (ed by Waltzman, S. B. and Cohen, N. L.), Thieme, New York, 2000.
 - 19) O'Donoghue, G. M., Nikolopoulos, T. P., Archbold, S. M., et al. : Chchlear implants in young children : The relationship between speech perception and speech intelligibility. *Ear Hear*, 20 : 419~425, 1999.
 - 20) Svirsky, M. A., Sloan, R. B., Caldwell, M., et al. : Speech intelligibility of prelingually deaf children with multichannel cochlear implants. Presented at the 7th Symposium on Cochlear Implants in Children, Iowa City, Iowa, June 4-7, 1998. (文献 18) より引用
 - 21) Svirsky, M. A. : Speech intelligibility of pediatric cochlear implant users and hearing aid users. *Cochlear Implant* (ed by Waltzman, S. B. and Cohen, N. L.), Thieme, New York, 2000.
 - 22) Moog, J. S., Geers, A. E. : Speech and language acquisition in young children after cochlear implantation. *Otolaryngol Clin North Am*, 32 : 1127-1141, 1999.
 - 23) Robbins, A. M., Osberger, M. J., Miyamoto, R. T., et al. : Language development in young children with cochlear implants. *Adv Otorhinolaryngol*, 50 : 160-166, 1995.
 - 24) Miyamoto, R. T., Svirsky, M. A., Robbins, A. M. : Enhancement of expressive language in prelingually deaf children with cochlear

- implants. *Acta Otolaryngol* (Stockh), 117 : 154-157, 1997.
- 25) Robbins, A. M., Svirsky, M. A. and Miyamoto, R. T. : Aspects of enquestic development affected by cochlear implant. *Cochlear Implant* (ed by Waltzman, S. B. and Cohen, N. L.), Thieme, New York, 2000.
- 26) Brackett, D., Zara, C. V. : Communication outcomes related to early implantation. *Am J Otol*, 19 : 453-460, 1998.
- 27) Allen, M. C., Nikolopoulos, T. P., O'Donoghue, G. M. : Speech intelligibility in children after cochlear implantation. *Am J Otol*, 19 : 742-746, 1998.
- 28) Miyamoto, R. T., Kirk, K. I., Svirsky, M. A., et al. : Communication skills in pediatric cochlear implant recipients. *Acta Otolaryngol* (Stockh), 119 : 219-224, 1999.
- 29) Svirsky, M. A., Robbins, A. M., Kirk, K. I., et al.: Language development in profoundly deaf children with cochlear implants. *Am Psychol Soc*, 11 : 153-158, 2000.

別刷請求先：