



人工感覚器

－人工内耳と聴覚脳幹インプラントの最近の進歩－

加我 君孝

IRYO Vol. 62 No. 1 (42-45) 2008

キーワード：聾，電気聴覚，人工内耳，聴覚脳幹インプラント

1. Cochlear Implant (人工内耳)

1) はじめに

この約20年の間に聴覚の領域でおきた治療上の革新は、先天性の高度難聴や髄膜炎や進行性感音難聴などで生じた後天性の聾に対する人工内耳埋込術である。以前は、このような内耳性の重度の難聴者には補聴器の装用がすすめられ、効果がなければ聴覚の活用はあきらめざるを得なかった。結果的に、手話を活用してのコミュニケーションが主となるため社会への進出にも制限が生じた。現在では、人工内耳埋込術のおかげで、先天性難聴児では良好な聴覚を獲得し、正しい発音で話し、普通学校で教育を受ける児童が激増し、後天性難聴では一度完全に失った聴覚を再獲得し、会話が可能となり社会復帰をして活躍したり、さらに電話を使える人や音楽を楽しむ人までいるほど大きな成果をあげている。

人工内耳は20世紀最後の10数年間に発展した医学と工学の素晴らしい成果であるといえる。

人工内耳の適応は、内耳の有毛細胞が消失しても蝸牛神経が保たれている場合の難聴に限られている。しかし近年は、さらに Neurofibromatosis type 2

(NF2) の両側聴神経腫瘍によって蝸牛神経が失われた例にも聴覚を回復させるべく挑戦するようになった。脳幹の蝸牛神経核に多チャンネルの電極を移植するので、Auditory Brainstem Implant (ABI) と名付けられている。筆者は3例経験したが、いずれもよい効果をあげている。わが国ではまだ全く普及していない手術で、全国で10例にも満たない。

2) 人工内耳の開発の歴史

人工内耳埋込術の歴史は200年前にさかのぼる。聴器を電気刺激すると聴覚の生じる現象は電気聴覚と呼ばれるが、電池を開発した Volta が1800年に初めて自分の耳を電流で刺激し音知覚を体験した。それ以来、現在では2つの発現機序が知られている。electroneural hearing と electrophoretic hearing である。前者は電気刺激が直接聴神経を刺激して聴覚が生じる場合で、高度の感音難聴者におきる現象である。後者は電気刺激が電極の周囲組織に機械的振動を惹起し、耳小骨や内耳液を振動させ、それが有毛細胞を興奮させて聴覚が生じるもので、健聴者におきる現象である。

1957年ごろより electroneural hearing を利用し

独立行政法人国立病院機構 東京医療センター・感覚器センター

別刷請求先：加我君孝 独立行政法人国立病院機構 東京医療センター・感覚器センター長 〒152-8902

(平成19年11月9日受付)

Series of Articles on Sensory Disorders 1

Progress in Cochlear Implant and Brainstem Implant

Kimitaka Kaga

Key Words: deafness, cochlear implant, auditory brainstem implant, electroneural hearing

て聾患者の蝸牛に電極を埋め込み、電氣的に聴覚を与えることにフランスで成功した。1970年代になると、ルーチンの手術として人工内耳埋め込みがアメリカ、オーストリア、オーストラリアで実施されるようになった。単チャンネルから6チャンネルのものまでさまざまな方式が試みられた。1980年代に入って、世界の大勢はオーストラリアのコクレア社製の22チャンネルの人工内耳を使うようになった。これは音声のフォルマントをデジタル信号化する方式で世界に普及した。その後、1990年代に入ると、アメリカの Bionics 社とオーストリアの MED-EL 社、フランスの Digisonic 社が CIS (continuous interleaved sampled pulse) というコクレア社と違う方式で、かつ電極数が半分以下でも同等以上の性能を持つ人工内耳を開発し使われるようになった。その結果、世界中に人工内耳手術が普及するようになった。

人工内耳はワンセット約300万円もし、手術・入院の費用も含めると約400万円もかかる高額な医療である。わが国では平成5年より健康保険の適用となった。オーストラリアのコクレア社、米国の Bionics 社、オーストリアの MED-EL 社製のものが順に認可されている。日本製はなく、費用は海外へ支払われることになるのが残念である。

3) 人工内耳のしくみ

22チャンネル人工内耳は、蝸牛内に挿入した電極に電気刺激パルスを出力する受信-刺激ユニットと、患者が接着するマイクロホン・ヘッドセットを介し受信-刺激ユニットに音声と情報を伝送するスピーチプロセッサーとで構成されている(図1)。さらに、手術後のリハビリテーションに用いる特性テスト・プログラム作成システム(マッピング装置)が必要である。

①受信と電極一埋め込まれる部分

手術で蝸牛内に埋め込む電極はシリコン製の支持体に支えられた22個の白金のリングでできており、先端より17mmの範囲に等間隔で配置されている。頭皮下に埋設させる受信-刺激ユニットは発信回路とIC回路からなる電子装置であり、体外コイルからの電極誘導により、2相性電気パルスがあらかじめ設定した1対の電極の間に出力される。

②スピーチプロセッサー(体外部)

患者が持つものである。マイクロホンから入ってくる入力信号の情報を分析し、電気パルス刺激の頻度、強さの設定および電極の選択を行い、これらの

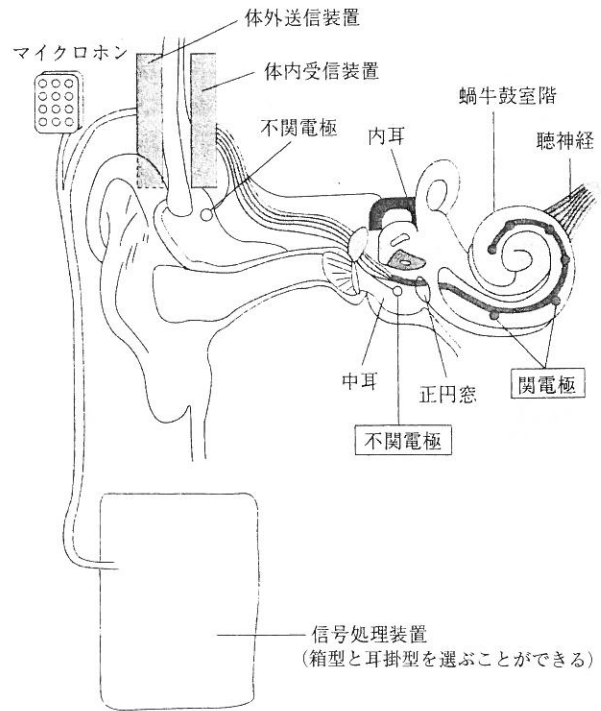


図1 人工内耳の構成：
蝸牛内多チャンネル方式の概念図
外部装置と内部装置電極部分からなる

情報を高周波電気信号として頭部の体外コイルから電磁誘導で頭皮下の体内コイル、すなわち受信-刺激ユニットへ伝送する。スピーチプロセッサーにはバッテリーが格納され、体内コイルへ電源の供給も行う。

①、②だけでただちに聴こえが取り戻せるわけではなく、患者に合ったプログラムの作成が必要となる。リハビリが必要で、人工内耳の経験を通じて、聴覚には脳の可塑性のあることがわかり、神経科学上の大きな話題となっている。

③特性テスト・プログラム作成システム

これは、スピーチプロセッサー・インターフェースとマイクロコンピュータから構成されている。スピーチプロセッサーの作用と動作を制御し、患者固有の情報をスピーチプロセッサー内のメモリーに書き込むことができる。手術後に生体側に種々の変化が生じてもその都度再調整し、最適刺激を与えることができる。

補聴器を用いた難聴児の教育は、脳の聴覚的言語も習得の臨界期があるために生後6カ月までに行う必要がある。しかし、1-2歳でも可塑性があり手遅れというわけではない。しかし、補聴器装用年齢が遅くなればなるほど困難が大きくなる。今後は補

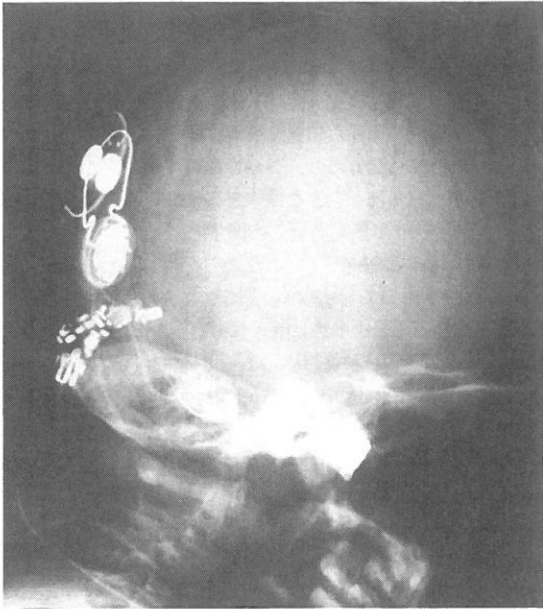


図2 人工内耳を装用している4歳児のX線写真
外部装置のコード、体外送信装置、体内受信装置、蝸牛内の電極が写っている

聴器を用いても効果のない高度難聴の幼児に対して人工内耳埋込術は、脳の可塑性を考慮して1-2歳ごろから始めるべきであろう。日本耳鼻咽喉科学会の人工内耳手術の基準は、これまで2歳6カ月であったのが平成18年より1歳6カ月に改訂されたのはこのような背景がある。そのため、成長してから他に問題があることがわかったりすることがある

わが国では先天性難聴の早期発見・早期教育が世界でもトップレベルにあるが、人工内耳についてはそうではない。言語の習得には臨界期がある以上、人工内耳も早期手術が望まれる。一方、手話を強調する教育を推進する人々もいる。人工内耳を装用している難聴児のX線写真はサイborg的といわれる印象を与える(図2)。

4) おわりに

幼小児の先天性難聴は、新生児聴覚スクリーニングが2000年より一部で行われるようになって、生後3カ月までに発見される難聴児が増えた。しかし、まだ新生児聴覚スクリーニングを受けなかった場合の新生児が少なく、平均2歳で発見されている現状は昔と変わらない。先天性難聴児の治療は、まず補聴器をただちにフィッティングし、聴覚言語教育を行う。教育の場は難聴児通園施設か聾学校となる。補聴器の効果が少ない場合は2-3歳で人工内耳手術を行う。その多くはよく聴き良好な発音で話すよ

うになり、小学校就学にあたっては普通小学校を選択するものが多くなった。人工内耳手術は脳の発達期の可塑性のある低年齢のうちに行うことがすすめられる。

II. Auditory Brainstem Implant (ABI)

1) はじめに

Auditory Brainstem Implant (以下、ABIと略)は、聴覚脳幹インプラントあるいは聴性脳幹インプラントと訳されている。人工内耳が電極を蝸牛の回転に挿入し、蝸牛軸の中の蝸牛神経を刺激するのに対し、ABIは蝸牛神経が両側聴神経腫瘍のNF2のために機能を失った症例に再び聴力を取り戻すことを目的とする。電極を蝸牛神経が投射する蝸牛神経核の直上の脳幹の表面に移植して、スピーチプロセッサーによってアナログ・デジタル変換された情報を処理し、電気的に蝸牛神経核を刺激する。

2) ABIの歴史

人工内耳は初めはシングルチャンネルであった。ABIの手術も1979年に3M製のシングルチャンネル人工内耳手術を始めたロサンゼルスHouse Ear Instituteで行われた。当時そこでシングルチャンネルのABIの患者と話をすることがあり、筆者との英語による読話併用の会話ができ、驚かされた。その後、人工内耳がマルチチャンネルに変わり、オーストラリアのコクレア社のものが世界で使われるようになった。ABIもコクレア社がマルチチャンネルを発表し、これまで400例手術が行われているという。我が国では3例である。次にオーストリアのMED-EL社のCombi40+ABIが発表され、ヨーロッパを中心に行われ、20例の手術が行われている。わが国では6例である。フランスのDigisonic社のものが10数例行われている。

3) ABIの仕組み

コクレア社のスピーチプロセッサーは音声処理を中心とした人工内耳と同じコード方法であるが、ここではCIS法を用いるMED-EL社のものを紹介する。埋め込み部分はセラミックでできた本体部分と脳幹の表面に置かれる電極部分からなる。電極は脳幹の蝸牛神経核に電気信号を送る。12対24個の電極と、手術の際に位置を確認するための電極からなる。電極はダグロンで包まれ、ダグロンメッシュで組織

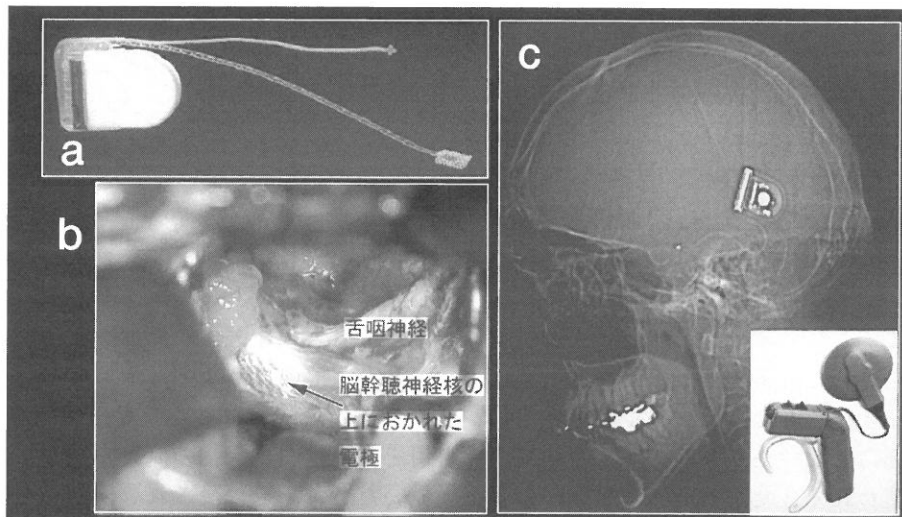


図3 脳幹聴覚インプラント—レシーバーおよび脳幹電極

- a : 内部装置と脳幹電極.
- b : 蝸牛神経核の表面の解剖と電極の位置.
- c : 術後の頭蓋骨のXp. 電極の位置がわかる. 右下はスピーチプロセッサー.

を覆うことにより術後の位置のずれを防いでいる。セラミック内部装置は側頭骨の表面を削開し、格納させ、その上に頭皮を戻している。対外部分をスピーチプロセッサーといい、マイク、信号処理装置、内部装置への送信機、電池からなる。送信機から内部装置へ信号を伝える。MED-EL の場合、信号の処理はCISという、音そのものの高速処理システムを用いている。すなわち1時間に脳幹へ18,180回の信号を送ることができるのが特長である。

4) 手術

聴神経腫瘍の摘出と同時に埋込手術を行う。腫瘍が大きく脳幹がシフトしている場合は、初めに腫瘍を摘出し、日を変えてABIの移植術を行う。手術の際、電極の位置はその確認のための電極を用いて脳幹を電気刺激し、頭皮上から聴性脳幹反応(ABR)の記録を繰り返し、ABRが誘発される蝸牛神経核の部位を同定し、そこに移植することを決める(図3)。

5) 手術後のABIの調整

手術の約5-8週間後に言語聴覚士によるスピーチプロセッサーの調整を電極ごとに行い、電極ごとの電流値を決め、患者が聴覚を使えるようにする。これをマッピングという。3カ月に1度行う。最初のマッピングは人工内耳では普通の部屋を使用するのに対し、ICUで心電図モニターをつけて行う。

不測の場合にすぐ対応するためである。

6) 問題点

ABIは人工内耳に比べ聴覚の再獲得の到達度は十分なものとはいえないが、NF2により全く聴こえなくなった患者が読話を併用して、再び母音や子音の認知が可能となり、会話に役立つようになることは画期的である。いずれのABIも約90%の患者が聴覚反応が得られ、その読話効果は80-90%に認められる。ただし読話を併用しない状態では文の理解は10-44%と低い。中には電話が可能ない例もあるという。限界は蝸牛神経核の上の脳幹の表面を刺激していることである。問題としてABIを使用した時に、顔面神経をはじめとする他の脳神経も刺激されることがあることである。音声処理は人工内耳のスピーチプロセッサーを使っていることも問題である。

7) おわりに

初めてMED-ELのABI手術を2004年7月に行い、3年以上が過ぎた。これまで3例に対して行い、いずれも純音聴力検査では、術前に両側聴力廃絶であったのが、中等度の閾値に改善し、音が認識できている。2007年3月に行った3例目の場合、その5月に音入れを行った5月のその日に私や家族との会話が可能になるほどであった。このように、脳幹に電極を移植するというこの革新的な医療技術は関連領域を大いに刺激し、発展させることになる。