

■ 聴性中脳インプラント(Auditory midbrain implant ; AMI) ■

最近、蝸牛神経核よりもさらに上位中枢である中脳の下丘 inferior colliculus(図 1)に電極を置く聴性中脳インプラント Auditory Midbrain Implant(AMI)が開発されている。これによって、延髄の蝸牛神経核よりも電気刺激の副作用が少なく、聴覚路を単独で電気刺激でできる利点がある。但し、聴神経腫瘍の摘出とアプローチ、視野が異なるので、実際の適応が問題となろう。

(熊川孝三)

文 献

- 1) Hitselberger WE, House WF, Edgerton BJ, et al : Cochlear nucleus implant. Otolaryngol Head Neck Surg 92 : 52-54, 1984.
- 2) Kumakawa K, Takeda H, Seki Y, et al : A Nucleus CI8+1 channel Auditory Brainstem Implant in a staged operation. Cochlear Implants- An update, pp 553-557, Kugler Publications, The Hague, 2002.
- 3) Colletti V, Carner M, Fiorino F, et al : Hearing restoration with auditory brainstem implant in three children with cochlear nerve aplasia. Otol Neurotol 23 : 682-693, 2002.
- 4) Temple RH, Axon PR, Ramsden RT, et al : Auditory rehabilitation in neurofibromatosis type 2 ; a case for cochlear implantation. J Laryngol Otol 113 : 161-163, 1999.
- 5) 熊川孝三, 武田英彦, 射場 恵, ほか : 聴性脳幹インプラントに必要な聴覚検査. JOHNS 24 : 807-812, 2008.
- 6) 熊川孝三, 望月義也, 高橋直一, ほか : 8チャンネル聴性脳幹インプラント埋め込み症例の語音聴取能. 日耳鼻 104 : 510-513, 2001.

X

聴覚障害学

3 人工内耳

1 はじめに

人工内耳とは高度の感音難聴者の聴覚を取り戻す人工聴覚臓器のインプラント治療である。ここではその基本的な知識を述べる。

2 人工内耳の原理、構造と機能

1 補聴器と人工内耳の違い

図1のように補聴器の場合には、外耳・中耳で増幅された音響信号が内耳の有毛細胞で電流に変換されて蝸牛神経に伝えられる。一方、人工内耳では、基本的に内耳のコルチ器の有毛細胞が障害されているので、外耳・中耳・内耳をバイパスして、蝸牛内に挿入された電極により蝸牛神経を直接に電気刺激して音知覚を得る。すなわち、障害されたコルチ器に代わる機能をもつ。

2 構造と機能

(1) 体外装置 (図2)

音は耳介に掛けられた体外装置に内蔵されたマイクロホン①で拾われ、この電気信号がスピーチプロセッサ②に送られる。これには電池とコンピュータが内蔵されており、音声信号処理が瞬時に行われる。音声信号は各種の音声信号処理方法、すなわちコード化法に従って電気信号に変換され、送信コイル③に送られる。

(2) 体内インプラント電極 (図2、図3)

頭皮下に埋め込まれた受信コイル④と受信-刺激装置⑤、およびそこから出て側頭骨内部の乳突洞を経て蝸牛内に埋め込まれる電極⑥から成る。送信コイルと受信コイルはともに中心に磁石があり、これらが頭皮を隔てて磁力で張り付く。信号は電磁誘導によって受信コイルに伝えられる。磁界内に置かれた受信コイルには磁界の変化に伴って電流が発生し、これが⑤に伝えられる。

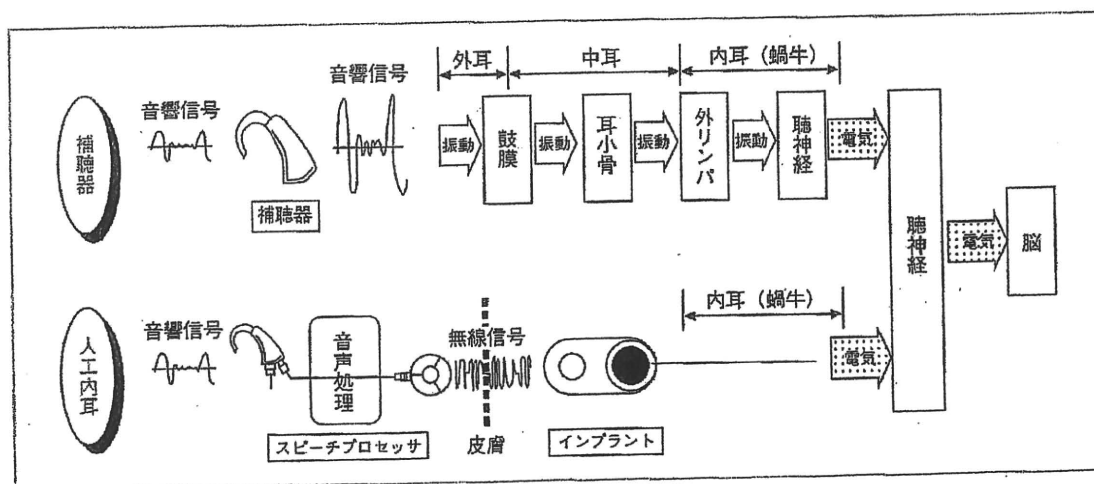


図1 補聴器と人工内耳の違い¹⁾

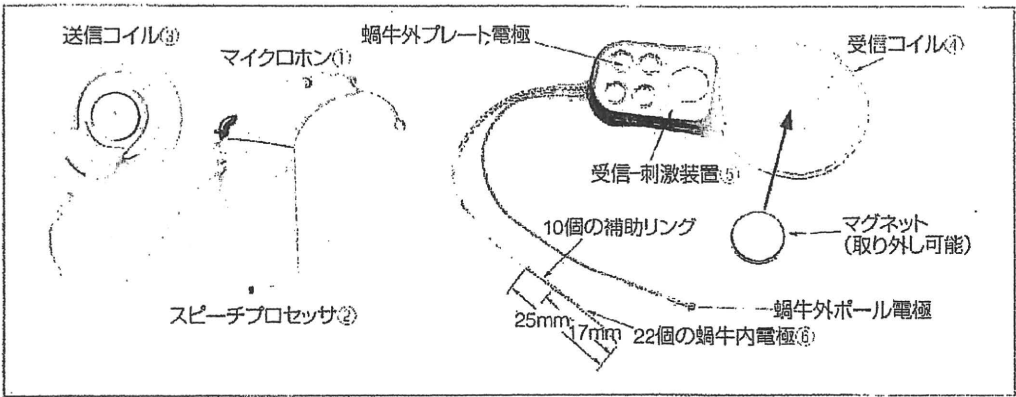


図2 人工内耳の構成
左：体外装置、右：体内インプラント電極

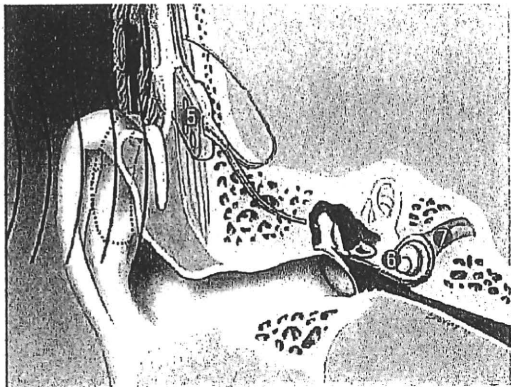


図3 人工内耳のしくみ

そして音声信号に従って各電極に電流が流れ、蝸牛の内側にある蝸牛神経⑦を刺激し、これが脳の聴覚中枢で音として知覚される。体内電極には電池が不要であるので、故障しない限り取り替える必要はない。体外装置を外せば洗髪や水泳も可能である。

(3) 機能

蝸牛と同様に、電極は基部から先端に向かって、

高音から低音に向かう周波数の配列があり、複数の電極を同時に刺激することで、蝸牛機能を模倣する。内耳の骨壁の存在が電極と蝸牛神経の接合を容易にしており、この点が人工網膜に比べて臨床的に早期に成功した理由である。

(4) 現在の人工機種

2010年1月現在、わが国ではコクレア社（オーストラリア）、メドエル社（オーストリア）、バイオニクス社（米国）の3社の人工内耳が認可されている。機種によってチャンネル数、コード化法、刺激頻度などの仕様が異なる（表1）。

(5) 電極の刺激方法

電極の刺激方法には、隣り合う蝸牛内電極間で刺激する双極刺激 bipolar stimulation と蝸牛内電極と蝸牛外に設置された不活電極の間で電流の刺激回路が形成される単極刺激 monopolar stimulation（図4）がある。現在は3社の機種とも低電流刺激と処理速度の速さという利点を有する単極刺激法を用いている。

表1 各社の人工内耳の仕様

	チャンネル数	音声処理方式	電極の刺激方法	総刺激頻度 (/pps)	他覚的音知覚検査	トラブル診断
コクレア社	22	SPEAK ACE CIS	周波数情報重視 時間差ある連続刺激	最大 35,000 (250～3,500)	NRT	LED 液晶
メドエル社	12	CIS+ FSP	時間分解能重視 複数電極同時刺激	最大 18,180 (1,515)	ART	LED
バイオニクス社	16	Hires	時間分解能重視 複数電極同時刺激	最大 82,496 (5,156)	NRI	LED

3 コード化法

入力された音情報を電気信号に変換する方式をコード化法と呼ぶ。コード化信号の原則として、音の高さ、強さ、音色の3つの音響パラメータがあるが、これらはそれぞれ、音の高さは刺激する場所（チャンネル）、強さは電荷量（電流の大きさ×時間）、そして音色は複数チャンネルの選択で電気パラメータへの変換がなされる。

コード化法には基本的に2つの処理方式がある。

1 時間分解能重視型

CIS法（continuous interleaved sampler）は音声信号をいくつかの帯域フィルタで分離し、それぞれを矩形波に変換した後、高速に電極を発火させる。電極数は少ないが、刺激頻度が多く、音声波形を細かく再現できる。

FSP法（fine structure processing）は、後述する補聴器と人工内耳の併用が成功した結果から生

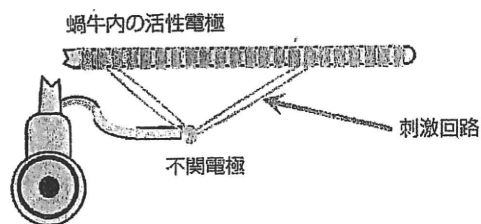


図4 単極刺激（モノポーラモード）のしくみ

まれた考え方である。すなわち低い周波数から3～5つまでのチャンネルに位相固定した低音域の音声信号を与え、残る高い周波数のチャンネルに音声信号の包絡線情報を入力する。これによって、低音域でのピッチ感覚、話し手の性別、音楽知覚、イントネーションなどの識別能力向上を図っている。

2 周波数情報重視型

ACE法（advanced combination encoders）は、蝸牛の場所・ピッチ理論に従って基底部電極は高音を、頂回転側電極は低音を選択的に受け持つ。音声信号スペクトログラムのエネルギーのピークに対応して、電極数が決定され、周波数情報を細かく伝える。刺激頻度は1に比べて低い。

4 わが国における人工内耳の現況

わが国では1985年にコクレア社製22チャンネル人工内耳の第1例目の治療が行われた。その後、1994年4月から保険適用が認められた。以後、患者の経済的負担は大幅に軽減され、年間の手術件数は急速に増加し、最近では年間に約500例の手術が行われ、2008年12月までに手術総数は5,500例に達した（図5）。最近では小児の占める率が増加し、2008年には約50%が小児例であった。

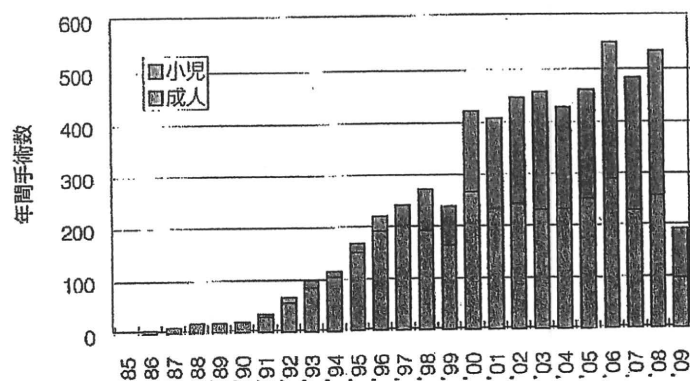


図5 日本における年間手術数

5 わが国の適応基準

2006年に日本耳鼻咽喉科学会の委員会で改定された適応基準²⁾を表2に示す。要点は、小児・成人とも平均聴力レベルが両側90 dB以上の高度の感音難聴で、補聴器の効果が乏しい聴覚障害3級以上の高度難聴者であることである。しかし90 dB以上でも補聴器が有効である例は多く、補聴器装用効果も重要である。

ちなみに、米国では平均聴力レベルが両側70 dB以上であり、補聴器装用による文章テストを用いて、装用予定耳で50%以下、対側耳で60%

以下である場合に人工内耳の適応ありとしている。

6 対象疾患

成人例での適応疾患としては、多い順に進行性感音難聴、中耳炎に伴う細菌性内耳炎、薬剤性難聴（アミノ配糖体抗生剤によって難聴をきたすミトコンドリア1555変異も含む）、突発性難聴、髄膜炎に伴う内耳炎、先天性難聴での悪化例、頭部外傷による内耳の骨折や出血、蝸牛性耳硬化症、ファンデルヘーベ（van der Hoeve）症候群、メニエール（Meniere）病、ムンプス、ミトコンドリア3243変異によるMELAS（mitochondrial

表2 人工内耳の適応基準（日本耳鼻咽喉科学会 2006年）

I. 小児例

1. 手術年齢

- A) 適応年齢は原則1歳6カ月以上とする。年齢の上限は定めず、上記適応条件を満たした上で、症例によって適切な手術時期を決定する。
- B) 髄膜炎後蝸牛閉塞など、1歳6カ月未満での手術を要する場合がある。
- C) 言語習得期以後の失聴例では、補聴器の効果が十分でない高度難聴であることが確認された後には、獲得した言語を保持し失わないために早期に人工内耳を検討することが望ましい。

2. 聴力、補聴効果と療育

- A) 種々の聴力検査を用いても両耳とも平均聴力レベル90 dB以上である場合。
- B) 少なくとも6カ月以上にわたる最適な補聴と療育によっても両耳とも平均補聴レベルが話声レベル（その目安は55 dB程度）を超えず、補聴器のみでは音声言語の獲得が不十分と予想される場合。

3. 禁忌 中耳炎などの感染症の活動期

4. 慎重な適応判断が必要なもの

- A) 画像診断で蝸牛に人工内耳が挿入できる部位が確認できない場合。
- B) 反復性の急性中耳炎が存在する場合。
- C) 制御困難な髄液の噴出が見込まれる場合など、高度な内耳奇形を伴う場合。
- D) 重複障害および中枢性聴覚障害では慎重な判断が求められ、人工内耳による聴覚補償が有効であると予測がなければならない。

II. 成人例

1. 年齢 18歳以上とする。

2. 聴力および補聴器の装用効果

純音聴力は両側とも90 dB以上の高度難聴者で、かつ補聴器の装用効果の少ないもの。補聴器の装用効果の判定にあたっては、通常の人工内耳装用者の語音弁別成績を参考にして慎重に判定することが望ましい。

3. 禁忌

画像（CT・MRI）で蝸牛に人工内耳が挿入できるスペースが確認できない場合。ただし奇形や骨化は必ずしも禁忌とならない。そのほか、活動性の中耳炎、重度の精神障害、聴覚中枢の障害など。その他重篤な合併症など。

4. 本人の意欲と周囲の支援態勢

本人および家族の意欲と理解が必要。

表3 人工内耳埋め込み術のための術前検査 (成人)

1. 病歴, 家庭関係, 社会的環境の聴取
2. 聴覚検査
 - ① 純音聴力検査
 - ② 補聴器装用下の語音聴力検査, 読話能検査
3. 平衡機能検査, 前庭機能検査
4. プロモントリーテスト (promontory test)
5. 画像検査
 - ① 側頭骨 CT スキャン
 - ② MRI (CISS 法による内耳道内の神経の確認, 内耳の 3DMRI)

myopathy, encephalopathy, lactic acidosis, stroke-like episodes) 症候群, 内耳梅毒, 大動脈炎症候群を含むコーガン (Cogan) 症候群であった。

小児では, GJB2 (コネキシン 26) 遺伝子変異, SLC26A4 (PDS) 遺伝子変異による前庭水管拡大症, 内耳奇形, サイトメガロウイルス性内耳炎, 原因不明などである。最近の遺伝学的検査方法の進歩により, これまで原因が不明であった難聴の 40 ~ 50% が遺伝子が原因であることが判明した。

人工内耳の適応となる両側 90 dB 以上の聴覚障害者は約 14 万人で, これは人口の 0.1% に相当し, 1,000 人に 1 人の対象者がいることになる。

7 適応決定のための検査

表3に成人の術前検査の項目をかかげた。画像診断では, 蝸牛が骨化あるいは閉塞していないことを CT, MRI 検査で確認しておく³⁾。プロモントリーテストとは, 細い針電極を鼓膜を通して蝸牛の骨壁 (岬角, プロモントリー) にあてて, 電気刺激を与えて音感が得られるかどうかを調べる検査である。音感が得られれば蝸牛神経の機能が保存されていると判断できる。

小児では以下の検査が必要である。

1 聴性行動反応観察検査 BOA, COR

板倉ら⁴⁾によればこれらの検査を用いた場合, 3 回の施行で安定した結果が得られるのは満 3 歳であり, それまでは閾値を正確に測定するのは難しいという。さらに左右別の閾値の推定が困難で

あり, 重複障害児では評価が難しいという限界もある。

2 電気生理学的聴覚検査

聴性脳幹反応検査 ABR (auditory brainstem response) には高音域のクリック音を使うために低音域の聴力が反映されず, 補聴器の装用効果を予想しがたい。蝸电图検査, 聴性定常反応検査 ASSR (auditory steady state response) は ABR の短所を補い, 低音域の閾値推定をより確実にし, 左右別の聴力を知ることができ, さらに補聴器の有効性あるいは人工内耳適応の可能性を予測できる乳幼児の他覚的検査であり, 新生児スクリーニング後の精密検査としてもきわめて有効である⁵⁾。

電気刺激による ABR は auditory neuropathy, 高度内耳奇形, 内耳道狭窄に伴う聴神経の形成不全などの場合には人工内耳の効果を予測するうえで重要である⁶⁾。

3 補聴器の装用効果の判定

言語発達前までの段階では田中による聴覚発達の観察チェックリスト, IT-MAIS (Infant-Toddler meaningful auditory integration scale), MUSS (meaningful use of speech scale) 発語行動評価などにそって少なくとも 6 カ月間は経時的に評価する。聴能の発達が停滞していると考えられる場合に人工内耳の適応となる。

直接的に判定する方法としては, Ling 6 音 (/a, i, u, s, sh, m/) が聞こえているかどうかのチェックを行う。子音が聞こえていない場合には, サ行の聴取は期待しがたい。

また, 日常会話音声範囲内 (いわゆるスピーチバナナ) の 55 dB 以内に装用閾値が入ることが望ましい。

幼児ではことばの遅れが聴覚以外の原因に起因する場合も多く, 精神発達および言語能力検査聴覚検査として津守稲毛式精神発達質問紙, 新版 K 式発達検査などが使用される。

8 手術と合併症

1 手術

骨迷路は生下時から成人のそれと同じ大きさと形態を有しており、一生を通じてほとんど変わらない。しかし乳突洞は生後5歳頃までに急速に発達し、その後も大きくなり、15歳から16歳で成人の大きさに達する。したがって、これらを考慮した成人と異なる手術手技が必要である⁷⁾。

手術方法は、乳突洞を開く。顔面神経と外耳道の間をキヌタ骨窩底部から開き、顔面神経窩を開放する。これによって中耳腔に入る。鼓室腔を開き、ここから電極を挿入する。

自然脱落を予防するために、電極周囲に骨膜片を詰め込み、電極を固定する。閉鎖前に術中X線写真で電極挿入状態を確認する。

2 術後合併症の説明と同意

手術した場所の感染や出血、手術側舌の前2/3の味覚低下、めまい、耳鳴りを一時的に起こす可能性がありえる。また埋め込まれた電極が故障したときは機器の除去や、入替え手術をすることもありえる。また、顔面神経に触れない場合にも、ドリルの熱などによって予期せぬ一時的な麻痺が起こる可能性が1%程度ありうる。

骨粗鬆症を伴った中高年の女性や蝸牛周囲の骨吸収を伴う耳硬化症では、術後の顔面神経の電気刺激も成績を悪化させる要因になる。人工内耳埋め込み術に伴って、手術後に髄膜炎および電極の感染症が起こることがありえる。とくに術後髄膜炎は、過去の髄膜炎、頭部の外傷、内耳奇形があった場合には、とくに注意が必要である。

体外機器の故障の可能性、電気メスやMRI検査の禁忌（可能な電極もある）、頭部をぶつけるスポーツの制限などのデメリットについても説明と同意を得ておく。

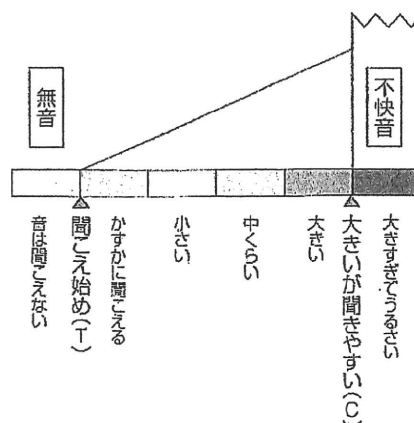


図6 マッピング用チャート

9 マッピングの注意点と環境整備

可能なら、マッピング前にインプラントテストやインピーダンステストを行ってインプラント機器の性能に問題がないことを確認しておく。

小児ではリラックスした状態で実施できるように、環境整備にも工夫が必要となる。椅子や机は児の年齢に即した形態を整え、訓練室内の配置も考慮する。児の注意が散散しないよう、他の玩具は目に触れる場所には置かず、見学者がいる場合も視野に入れない、などの配慮が必要である。

実際のマッピングの手順は以下のとおりである。

1. 図6のようなチャートを提示して、電気量の増大に伴って起こる音量の自覚的感覚をチャート上で指さすことで、各電極ごとに聞こえ始めの最小可聴閾値Tレベル および大きいが聞きやすいという最大快適閾値Cレベルを決定する。
2. 周波数を各電極に割り振る。
3. 刺激モードの選択。
4. 音声処理方式の選択。

小児では過剰刺激などで一度不信感をもつと以後の人工内耳装用拒否につながることもあるので、段階的なCレベルの増大を行うことが重要である。

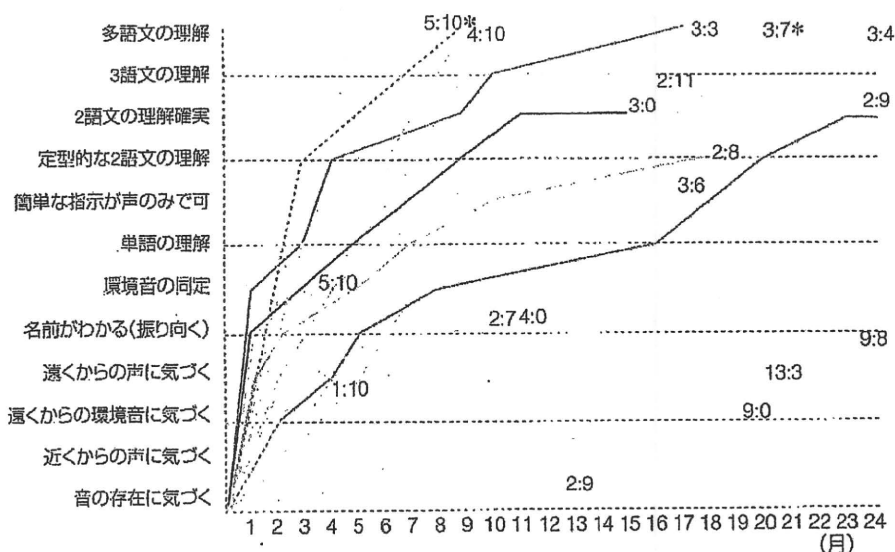
図7 小児人工内耳例の聴取能力の変化 (数字は最終年齢を示す)⁹⁾

表4 小児人工内耳術後の評価に用いられる主な検査 () は適応年齢を示す

<聴覚>

- ・MAIS-(就学前後)
- ・IT-MAIS Infant-Toddler MAIS (乳幼児)
- ・語音聴取検査 CI-2004 (試案) (前言語期~成人)
- ・補聴器適合検査 TY-89 (幼児~成人)

<発達>

- ・遠城寺式発達心理検査 (0~6歳)
- ・津守式乳幼児精神発達質問紙 3段階 (0~12カ月) (1~3歳) (3~7歳)
- ・新版K式発達心理検査 (新~14歳)

<知能>

- ・WISC-Ⅲ知能検査 (5~16歳)
- ・WPPSI 知能検査法 (3歳10カ月~7歳11カ月)
- ・グッドイナフ人物画検査 (DAM) (3~9歳)

<言語>

- ・絵画語彙発達心理検査 (PVT) (3~10歳)
- ・国リハ式<S-S法>言語発達遅滞検査 (0~6歳)
- ・ITPA 言語学習能力診断検査 (3~9歳)
- ・教研式新読書力診断検査

<音声・発声・発語>

- ・MUSS
- ・構音発達心理検査 (3歳~)

10 人工内耳装用効果の評価

1 成人

(1) 音場閾値での聴力検査

防音室内で被験者より1m離れた場所にスピーカーを設置し、250~4,000 Hzまでの周波数ごとの閾値を測定する。通常、最終的に30~40 dB内に入るようにマッピングを行う。

(2) 語音聴取能評価検査 (Cochlear implant 2004: CI-2004)

施設間での評価の差を是正し、客観化による成績の比較を行う目的で、2004年に作成され、CD化された、成人用と小児用の2部構成となっている。子音、単音節、単語、文の聴取成績を個別に評価できる、音韻的要素、静寂時と雑音負荷時の評価が可能、発達に応じての評価が可能、という特長がある。

成人の言語習得後失聴者では、この文章リストで検討すると、人工内耳のみによる聞き取りでも平均で78%の正答率を示す⁸⁾。成績良好者では電話による聴取も可能になる。環境音の弁別は言語よりも容易であるが、音楽の聞き取りについて

はまだ不十分である。

2 小児

人工内耳適応および手術前後の評価として表4のような検査が一般的に用いられている。初回マッピング後にマップの妥当性を評価するには、Ling 6音を用いると会話音域の音声入力について簡便に確認できる。図7に術後の小児の聴覚発達例を示す⁹⁾。

3 他覚的検査

(1) 神経反応テレメトリー (neural response telemetry : NRT)

人工内耳の電極からのラセン神経節の刺激で誘発される複合活動電位を別な電極で記録して表示する。電気信号のレベルとT/Cレベルの設定にあたっては、小児のマッピングなどに利用することもできる。

(2) アブミ骨筋反射 (electrical stapedial reflex : ESR)

人工内耳の電気刺激で誘発されるアブミ骨筋反射を記録する。T/Cレベルの判定の資料になる。

(1)(2)はともにその閾値はほぼCレベルに相当するとされて、マッピングに利用される。

11 小児人工内耳治療における長期の注意点

耳の医学的管理と人工内耳のマッピングを含む聴覚補償と聴覚管理を病院が、日々の聴覚活用指導を療育・教育機関が分担するので、手術の決定前から療育・教育機関と連携を開始し、手術遂行の認識を共有するのが望ましい¹⁰⁾。また、教育機関で言語教育の継続的な支援が必要であるというアドバイスを養育者に行う。

難聴によるコミュニケーションを補うために母子間で自然発生的に出るジェスチャーやベビーサインは、親子関係や愛情の確立のためにも有用で

ある。高度な内耳奇形例、内耳の骨化による挿入不十分な挿入例、重複障害例などの例で、人工内耳による聴覚活用が不十分であると最終的に結論された場合には、これを補うための補助手段としての視覚言語の導入もためらってはならない。

そして、人工内耳装用児が社会人として必要十分な言語能力を獲得できることをハビリテーションと教育の最終目標とする。

12 おわりに

数年ごとにソフトとハードは進歩して、(リ)ハビリテーション内容はむしろ複雑多様化してきており、医師とSTによるチームアプローチが不可欠となってきている。

(熊川孝三)

●文献

- 1) 椿 博幸：人工内耳。言語聴覚士のための言語聴覚障害学(喜多村 健編)。医歯薬出版、2002、p199。
- 2) 日本耳鼻咽喉科学会福祉医療・乳幼児委員会：小児人工内耳適応基準。日耳鼻。109：506～507、2006。
- 3) 熊川孝三：人工内耳患者の選択-高度難聴者の画像診断。CLIENT21 7巻 補聴器と人工内耳。中山書店、2001、pp235～240。
- 4) 板倉秀、浅野進、中川啓子：幼児聴力検査の信頼性と適応限界。Audiol Japan, 18：183～188、1975。
- 5) 熊川孝三、鈴木久美子、武田英彦、他：短期入院による乳幼児の他覚的精密聴力検査システムの紹介およびABR、蝸電図、聴性定常反応、EABRの検討—Audiol Japan, 48：156～164、2005。
- 6) 熊川孝三：内耳奇形の聴覚検査所見。JOHNS, 25：49～54、2009。
- 7) 熊川孝三：乳幼児の人工内耳の適応と手術。JOHNS, 24：1428～1434、2008。
- 8) 射場恵、熊谷文愛、熊川孝三：語音聴取評価検査CI-2004(試案)を用いた成人人工内耳装用者の聴取能。Audiology Japan, 49：665～666、2006。
- 9) 高木 明：第110回日耳鼻学術講演会 臨床セミナー「小児の人工内耳」より引用 2009。
- 10) 熊川孝三、射場恵、小山由美：耳鼻咽喉科・頭頸部外科のリハビリテーション 人工内耳—小児。耳鼻咽喉科・頭頸部外科、79：77～83、2007。

Rotating Computed Tomographic Movie for Evaluating Partially Ossified Cochlea

Ken Ito, Rumi Ishida, Shotaro Karino, and Tatsuya Yamasoba

Department of Otolaryngology, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, Japan

Objective: To describe our newly devised method of viewing intracochlear ossification for the purpose of minimizing bone drilling during cochlear implantation for partially ossified cochleas and to evaluate its usefulness.

Study Design: Descriptive study that compares 1) conventional computed tomographic (CT) films with the newly devised CT movie and 2) preoperative evaluation using the CT movie with the findings during surgery.

Setting: University Hospital

Patients: Four cochlear implantees with partial ossification of cochlea due to meningitis.

Intervention: Diagnostic.

Main Outcome Measures: Reconstruction of high-resolution CT images of the temporal bone was performed using a multiplanar reformat software. By rotating the cochlear cross plane from the round window niche in the direction of the inferior segment by 5 degrees, 72 images were obtained for 360-degree rotation, which were converted to a movie using QuickTime

Pro software. The preoperative evaluation and intraoperative findings were compared.

Results: The advantage of CT movie over sequential CT films was facility in understanding the 3-dimensional space in the cochlea. Evaluation of the extent of the ossified region on CT movie corresponded to the intraoperative findings in all 4 patients. In 1 patient, the CT movie corrected an erroneous evaluation based on conventional CT films. However, additional drilling over the extent of ossification was necessitated in another patient because of scar tissue development.

Conclusion: Computed tomographic movie is considered an innovative new method for preoperative evaluation of ossified cochleas and is able to reduce human errors. However, additional drilling beyond ossified part can become necessary during surgery. **Key Words:** Cochlear implantation—CT—Meningitis—Movie—Partially ossified cochlea.

Otol Neurotol 29:124–130, 2008.

Ossified cochlea in deaf patients remains a challenge to cochlear implantation, which is frequently encountered in patients who become profoundly deaf because of meningitis (1–4), although improvements in surgical technique (intact canal wall drill-out procedure) enabled placement of electrodes around the modiolus even in totally ossified cochlea (5–8). Figure 1 demonstrates the difficulties encountered during this procedure.

There have been not a few reports on cochlear imaging concerning cochlear implantation (9–14), but few reports evaluated the accuracy of preoperative imaging studies. Further effort to develop more useful methods is important along with the accumulation of experience using such new methods.

In our previous article, an efficient method for visualizing the intracochlear space using reconstructed images, 1 “basal turn plane” perpendicular to modiolus and multiple “cochlear cross planes,” including modiolus, was reported (15). However, this method did not escape certain disadvantages. Basal turn plane cannot discriminate between scala tympani and scala vestibuli and causes false-positive ossification findings because the basal turn cannot always be arranged in 1 plane. Therefore, evaluation using cochlear cross planes is inevitable for the final decision, but it is not always easy, as demonstrated in Figure 2.

To cope with these drawbacks, the authors devised a rotating computed tomographic (CT) movie to promote easier understanding of the intracochlear spaces. This innovative, interactive new method of ours is presumably the first radiographic movie in the field of otolaryngology that is not based on time series such as videofluorography. Furthermore, application of this method to evaluate intracochlear spaces in partially ossified cochleas from meningitis is presented. Evaluations

Address correspondence and reprint requests to Ken Ito, M.D., Department of Otolaryngology, Faculty of Medicine, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8655, Japan; E-mail: itoken-ky@umin.ac.jp

Supplemental digital content for this article is available on the journal's Web site at www.otology-neurotology.com.

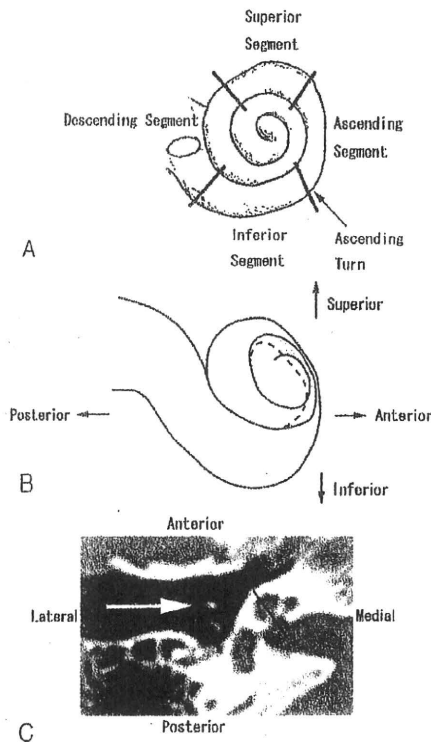


FIG. 1. A, Partitioning of the basal turn of the cochlea. B, Schema of a right cochlea viewed from the external auditory canal during transcanal drill-out procedure. The cochlea is tilted anteriorly because the modiolar axis is not parallel to the external auditory canal. The shaded area represents the part where the basal turn and upper turns (middle/apical) overlap. C, Axial CT image of Patient 2 at the level of the right external auditory canal. The black line represents the modiolar axis, and the white arrow indicates the route of access to the cochlea during the transcanal drill-out procedure. Because the modiolar axis and the external auditory canal are not parallel, the tip of the cochlea is tilted anteriorly. The inferior segment up to the ascending turn can safely be drilled out. When drilling the ascending segment, the anterior part of the middle turn can be entered. Further drilling into the superior segment can open the middle and/or apical turns and, in certain cases, also part of the modiolus. Facial nerve lies adjacent to the superior segment. These findings justify minimizing drilling into the ossified cochlea for electrode insertion to avoid unnecessary damage to the upper turns.

by CT movie/magnetic resonance imaging (MRI) and observation during surgery are compared. Downloading CT movies via the Internet is essential to fully understand the contents of this article (see supplemental online videos).

METHODS

Making the Rotating CT Movie

High-resolution axial projection images of the temporal bone were taken in helical scan modes (0.5-mm slice width; 120 kV; 300 mA; pitch, 3:1) with Aquillon 16 (Toshiba, New

York, USA), a multislice CT scanner with 4 detector rows. The reconstruction spacing was 0.1 mm. In our previous method, the raw data were transferred to a workstation where 3-dimensional (3D) reconstruction was performed (15). The basal turn plane that was perpendicular to the modiolus and multiple cochlear cross planes that included the modiolar axis were reconstructed images for evaluating intracochlear spaces. In the present study, the digital imaging and communications in medicine (DICOM) images were transferred directly to a personal computer (Windows XP; Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA), and reconstruction was performed using a multiplanar reformat software (ExavisioinLITE; ZIOSOFT, Tokyo, Japan). The images were first converted to the bone setting (window level, 400; window width, 4,000), and the modiolar axis was analyzed. By rotating the cochlear cross plane from the round window niche (RWN) in the direction of the inferior segment by 5 degrees, 72 images were obtained for 360-degree rotation (Fig. 2). The images were converted to a movie using QuickTime Pro software (Apple Computer, Inc., Cupertino, CA, USA [to view the movies, QuickTime for Microsoft Windows and for Macintosh can be downloaded free from www.apple.com]). By setting the frame rate to 6 frames per second, the duration of the movie is 12 seconds, which is useful for intuitive recognition: the time indicates the amount of rotation from the RWN in a clockwise manner (0 to 12 o'clock; Fig. 3). The physician can view any desired position by dragging the time handle (Fig. 3).

Evaluation Using Meningitis Cases

The CT movie, basal turn plane view of CT, MRI, and intraoperative findings are presented for 4 cochlear implantees with partial ossification of cochlea due to meningitis. The accuracy of preoperative evaluation from imaging study is discussed.

RESULTS

The preoperative evaluation and intraoperative findings are demonstrated below in each cochlear implantee with partial ossification of cochlea due to meningitis.

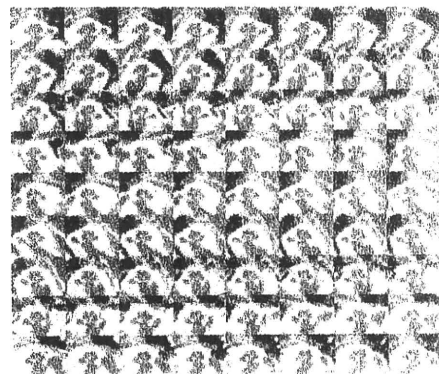


FIG. 2. Seventy-two sequential cochlear cross-plane images on which the CT movie is based. Sufficient training is required to evaluate these "static" planes. It is not easy to understand intuitively what section a certain cochlear cross plane demonstrates, and it is difficult to reconstruct in the human brain the numerous consecutive sections to imagine the whole cochlea in 3D.

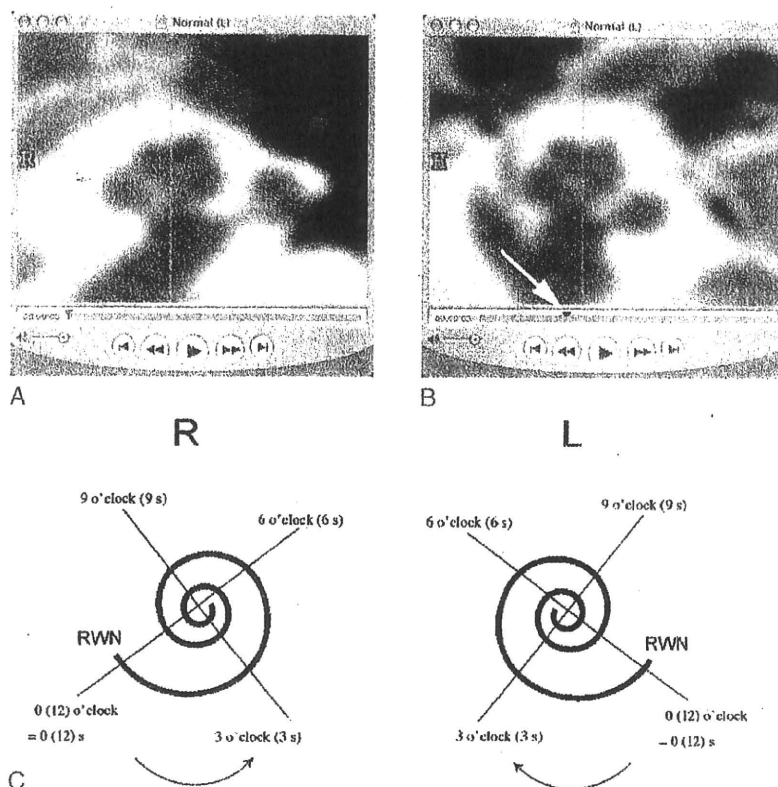


FIG. 3. A, QuickTime CT movie of a left cochlea produced from the 72 sequential images shown in Figure 2. At the starting position (0 o'clock from RWN; see supplemental online video). B, At 3 o'clock rotated from the RWN: 3 seconds on the movie. One can move around freely in the movie using the time handle (arrow). C, Correspondence between rotated position and time scale in the movie.

The Table compares the preoperative evaluation and actual findings during surgery.

Patient 1

A 35-year-old woman had become profoundly deaf after meningitis 1.5 years before cochlear implantation. The imaging findings are shown in Figure 4. We chose the right side for implantation. By drilling out the inferior segment up to the ascending turn, sufficient space was found for electrode insertion. All 22 active electrodes of the Cochlear N24 device were placed around the modiolus. The CT movie and MRI findings corresponded precisely to the intraoperative observation.

Patient 2

Approximately 20 years before cochlear implantation, a 69-year-old woman had become deaf after infectious disease with high fever, which was presumed to have been meningitis based on the history of repeated lumbar puncture. The patient had undergone radical mastoidectomy on the left side for a middle ear disorder, which she did not remember well. The imaging findings are shown in Figure 5. Cochlear implantation was per-

formed on the right side using the transcanal drill-out technique. The inferior segment was not ossified but was filled with scar tissue. Partial ossification was found at the ascending turn as expected by CT movie, which was drilled out along with the bone covering the inferior segment. However, because of the soft tissue in the cochlear space, the electrode could not be inserted at the ascending segment. The drilling had to be extended to the whole ascending segment up to the entrance of the superior segment, where insertion of the electrode was successfully performed. During drilling of the superior segment, part of the middle turn was entered, as expected from Figures 1B and C. As in Patient 1, all 22 active electrodes of the Cochlear N24 device were placed around the modiolus.

Patient 3

A boy without significant history developed pneumococcal meningitis at 11 months and became profoundly deaf. The imaging findings are shown in Figure 6. Cochlear implantation was performed using the transcanal drill-out approach at 2 years. By drilling part of the inferior segment, the electrode can be inserted adequately (22 active electrodes of the Cochlear N24 device).

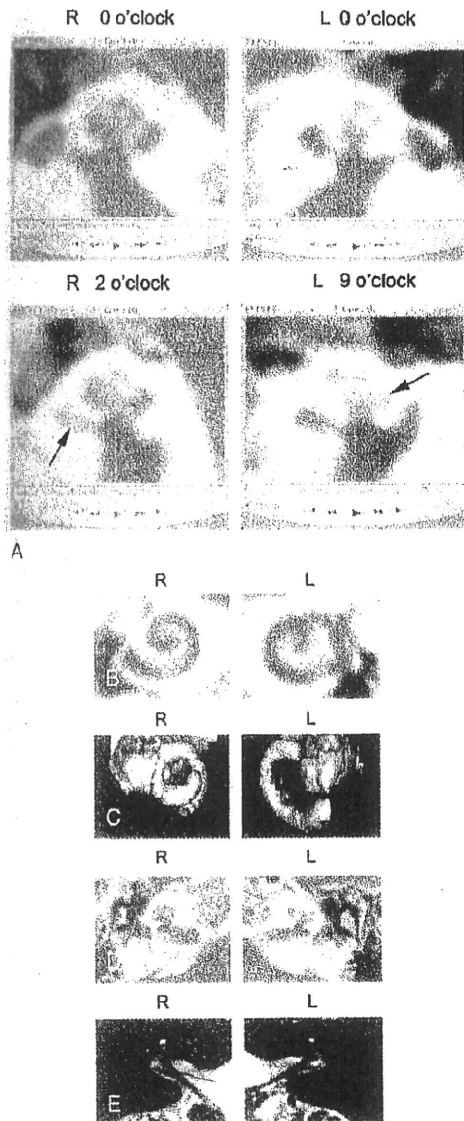


FIG. 4. Imaging of Patient 1. *A*, Computed tomographic movies of right (*R*) and left (*L*) cochleas (see supplemental online videos). The arrows indicate ossification. *B*, Basal turn planes. *C*, Reconstructed MR images (T2-weighted). *D*, Conventional axial CT images for reference. *E*, Conventional axial T2-weighted MR images for reference. The basal turn planes showed partial ossification in the inferior segment of the basal turn in the bilateral cochleas, but a bilateral difference was not clear. Computed tomographic movie showed ossification between 1 and 4 o'clock from the RWN (inferior segment up to the ascending turn) in the basal turn of the right cochlea, and the ossification was most severe approximately 2 o'clock from the RWN (the same in all following indications of clockwise positions). Ossification was also apparent in the right middle turn starting from 6 o'clock. The reconstructed MR image (T2) on the right showed fluid in the intracochlear spaces spared from ossification, indicating little soft tissue formation. On the left, the CT movie demonstrated slight ossification between 1 and 3 o'clock in the basal turn and severe ossification starting from 9 o'clock in the basal turn extending to the middle turn. The reconstructed MR image showed fluid in the intracochlear spaces spared from ossification.

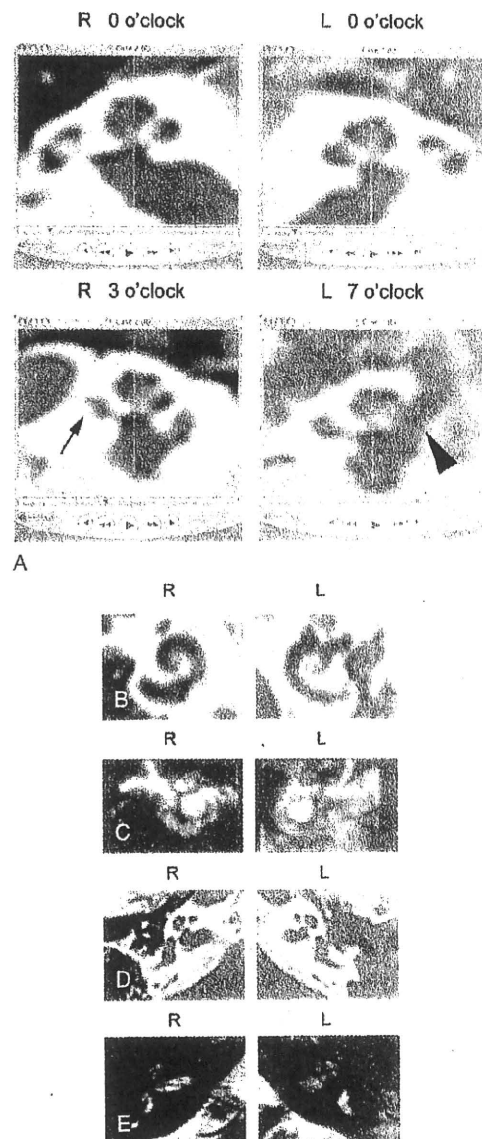


FIG. 5. Imaging of Patient 2. *A*, Computed tomographic movies of right (*R*) and left (*L*) cochleas (see supplemental online videos). The arrow indicates ossification. The arrowhead indicates communication of the basal turn space to the middle fossa. *B*, Basal turn planes. *C*, Reconstructed MR images (T2-weighted). *D*, Conventional axial CT images for reference. *E*, Conventional axial T2-weighted MR images for reference. The basal turn planes showed partial ossification at the ascending turn in the right cochlea, the boundary between the inferior and ascending segments, and possible slight ossification near the RWN in the left cochlea. In addition, the contour of the basal turn was disrupted in the superior segment on the left. On the right, the CT movie demonstrated ossification of scala tympani between 2 and 4 o'clock from the RWN. On CT movie, ossification was not apparent on the left cochlea, but connection of the intracochlear space to the cranial base was observed at 7 o'clock and that to the facial canal at 9 o'clock. Reconstructed T2-weighted MR images showed reduced intensity in the bilateral basal turns, especially in the inferior and ascending segments, indicating development of soft tissue.

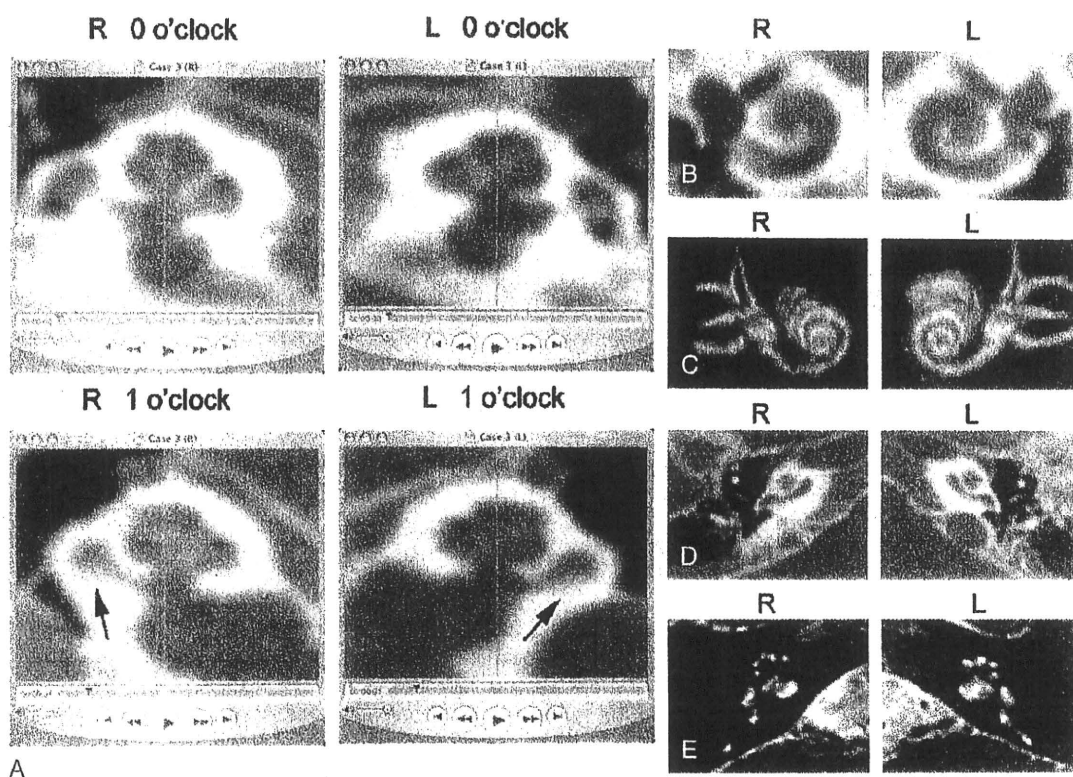


FIG. 6. Imaging of Patient 3. *A*, Computed tomographic movies of right (*R*) and left (*L*) cochleas (see supplemental online videos). The arrows indicate ossification. *B*, Basal turn planes. *C*, Reconstructed MR images (T2-weighted). *D*, Conventional axial CT images for reference. *E*, Conventional axial T2-weighted MR images for reference. The basal turn planes showed partial ossification in the inferior segment bilaterally. Computed tomographic movies demonstrated ossification of the scala tympani between 1 and 2 o'clock in the bilateral basal turns. The degree of ossification was slightly higher on the *right*. Reconstructed T2-weighted MR images showed slight narrowing of the fluid space on the *right* but an almost normal appearance on the *left*.

Patient 4

This patient was presented as “Case 2” in our previous article (15) and is reintroduced here to contrast with Patient 2 in the present article with regard to MRI findings and to demonstrate the limitations of our previous method. In brief, a 51-year-old man had become deaf after meningitis 1 year before cochlear implantation on the right side. All images in this article were newly reconstructed from the original DICOM images. The imaging findings are shown in Figure 7. The electrodes were inserted using the normal method, without transcanal drill out, by drilling a bit more around the cochleostomy, corresponding to the anticipation based on our newer method, the CT movie. Despite the reduced intensity of the cochlea in T2 images, the electrodes could be inserted smoothly without effort, in contrast to the present Patient 2.

DISCUSSION

To summarize, the advantage of CT movie over sequential CT films was facility in understanding the 3D space in the cochlea. Evaluation of the extent of the ossified region

on CT movie corresponded to the intraoperative findings in all 4 patients. In Patient 4, the CT movie corrected an erroneous evaluation based on conventional CT films. However, additional drilling over the extent of ossification was necessitated in Patient 2 because of scar tissue development. Although there have been not a few CT-based studies concerning cochlear implantation, most of these studies focused on the evaluation of electrode position after surgery (9–15). The present study is the first to compare preoperative evaluation and findings during surgery in multiple cases with partially ossified cochleas due to meningitis in the English literature.

Advantage of the CT Movie Over Conventional CT Films

The CT movie based on sequential sections enables the clinician to envision the extent of ossification and intuit the pattern of potential obstructing osseous lesions to a planned electrode array insertion. Presumably, the human brain can reconstruct the 3D image more efficiently from interactively watching the rotating movie than from viewing a large number of sequential static films. The intended correspondence of the time line in seconds

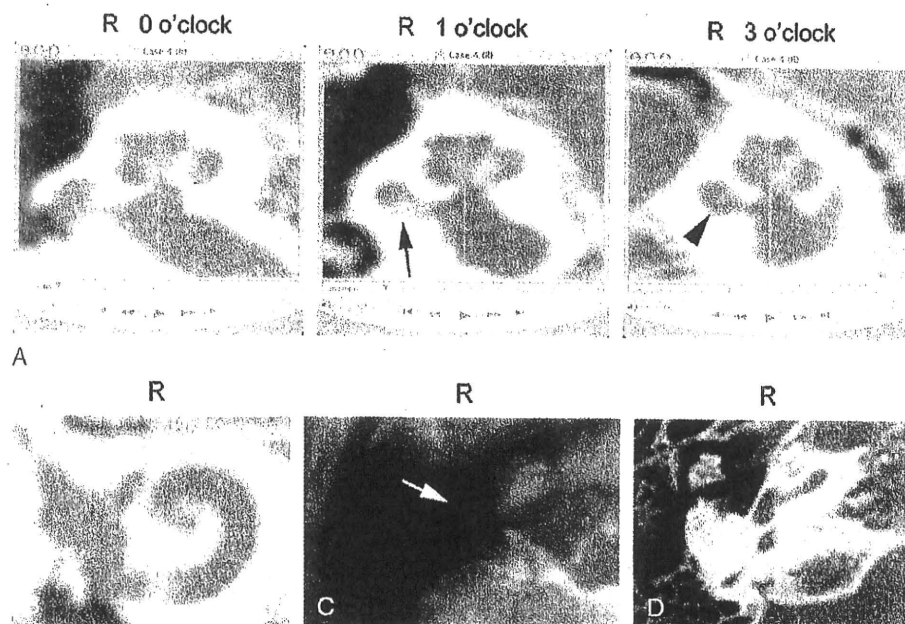


FIG. 7. Imaging of Patient 4. *A*, Computed tomographic movie of the right (*R*) cochlea (see supplemental online video). The *arrow* indicates ossification, and the *arrowhead* indicates the patent basal turn space. *B*, The basal turn plane. *C*, T2-Weighted conventional axial MR image showing reduced intensity in the cochlea (*arrow*). *D*, Conventional axial CT image for reference. The basal turn plane in our previous article (see Fig. 5B of Karino et al. [15]) showed ossification in the inferior segment near the ascending turn (3 o'clock from the RWN), and we considered that the cochlear cross planes confirmed this finding (see Fig. 5C of Karino et al. [15]). However, this finding was denied by the present study. The newly reconstructed basal turn plane showed ossified lesion obstructing the inferior segment near the RWN this time, and CT movie demonstrated only a small ossification in the scala tympani between 0 and 1 o'clock in the inferior segment. This example demonstrates limitation of the basal turn plane in evaluating intracochlear spaces: "ghost" ossification can appear, and it is not easy to deny such a ghost using multiple sequential cochlear cross planes, which cannot be easily reconstructed in the examiner's imagination. Another abnormal finding is the reduced intensity in the intracochlear spaces with T2-weighted MR images, which strongly suggests development of soft tissues.

(0–12 s) to the amount of rotation (0–12 o'clock) also contributes to the ease of understanding the rotating 3D model. As demonstrated in Patient 4, this facility in understanding can also reduce human errors.

Efficacy of CT Movie and MRI in Preoperative Evaluation of Partially Ossified Cochlea

Evaluation of the extent of ossified region by the CT movie corresponded to intraoperative findings in all

cases (Table 1). Magnetic resonance imaging can discriminate between fluid (perilymph/endolymph) and soft tissue in the intracochlear spaces, which is not possible with CT. In Patients 2 and 4, MRI anticipated soft tissue development in the intracochlear spaces where ossification was not present. However, as demonstrated above, intraoperative findings differed between the 2 patients. This indicates that the intensity in T2-weighted MRI cannot predict the toughness of the soft tissue and resistance to electrode insertion.

TABLE 1. Comparison between preoperative evaluation and intraoperative findings

Case	Duration of deafness (yr)	Ossification evaluated by CT movie	Fluid space by MRI (T2)	Ossification demonstrated at surgery	Extent of bone drilling for device insertion	Additional drilling needed beyond that estimated on CT movie?
1	1.5	Inf Seg to Asc turn	High intensity (normal)	Same as CT movie evaluation	To Asc turn (Inf Seg and part of Asc Seg)	No
2	20	Inf Seg to Asc turn	Reduced intensity	Same as CT movie evaluation	To Sup Seg (Inf Seg, Asc Seg and part of Sup Seg)	Yes (because of scar tissue)
3	1	Inf Seg	High intensity (normal)	Same as CT movie evaluation	Inf Seg	No
4	1	Inf Seg	Reduced intensity	Same as CT movie evaluation	Less than half of Inf Seg	No

Asc indicates ascending; Inf, inferior; Seg, segment; Sup, superior.

In conclusion, CT movie was very useful for intuitive understanding of the position and degree of ossification in the intracochlear spaces, and for reducing human error. However, surgeons should always keep in mind that additional drilling may become necessary during surgery because of soft tissue proliferation.

REFERENCES

1. Luxford WM, House WF. Cochlear implants in children: medical and surgical considerations. *Ear Hear* 1985;6:20S-3S.
2. Jackler RK, Luxford WM, Schindler RA, et al. Cochlear patency problems in cochlear implantation. *Laryngoscope* 1987;97:801-5.
3. Paparella MM, Sugiura S. The pathology of suppurative labyrinthitis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1967;76:554-86.
4. Young NM, Hughes CA, Byrd SE, et al. Postmeningitic ossification in pediatric cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;122:183-8.
5. Balkany T, Luntz M, Telischi FF, et al. Intact canal wall drill-out procedure for implantation of the totally ossified cochlea. *Am J Otol* 1997;18:S58-9.
6. Steenerson RL, Gary LB. Multichannel cochlear implantation in children with cochlear ossification. *Am J Otol* 1999;20:442-4.
7. Balkany T, Bird PA, Hodges AV, et al. Surgical technique for implantation of the totally ossified cochlea. *Laryngoscope* 1998;108:988-92.
8. Balkany T, Gantz BJ, Steenerson RL, et al. Systematic approach to electrode insertion in the ossified cochlea. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1996;114:4-11.
9. Reisser C, Schubert O, Forsting M, et al. Anatomy of the temporal bone: detailed three-dimensional display based on image data from high-resolution helical CT: a preliminary report. *Am J Otol* 1996;17:473-9.
10. Aschendorff A, Kubalek R, Hochmuth A, et al. Imaging procedures in cochlear implant patients—evaluation of different radiological techniques. *Acta Otolaryngol Suppl* 2004;46-9.
11. Husstedt HW, Aschendorff A, Richter B, et al. Nondestructive three-dimensional analysis of electrode to modiolus proximity. *Otol Neurotol* 2002;23:49-52.
12. Aschendorff A, Kubalek R, Turowski B, et al. Quality control after cochlear implant surgery by means of rotational tomography. *Otol Neurotol* 2005;26:34-7.
13. Seidman DA, Chute PM, Parisier S. Temporal bone imaging for cochlear implantation. *Laryngoscope* 1994;104:562-5.
14. Himi T, Kataura A, Sakata M, et al. Three-dimensional imaging of the temporal bone using a helical CT scan and its application in patients with cochlear implantation. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1996;58:298-300.
15. Karino S, Hayashi N, Aoki S, et al. New method of using reconstructed images for assessment of patency of intracochlear spaces for cochlear implant candidates. *Laryngoscope* 2004;114:1253-8.

脳₂₁

Vol.11 No.1 2008（抜刷）

平成20年1月
金 芳 堂

21世紀の脳科学をみすえて

感 覚

21世紀の聴覚研究

ど い かつ み く ほ たけし 大阪大学大学院医学系研究科耳鼻咽喉科 (〒565-0871 吹田市山田丘2-2)
土井勝美, 久保 武 E-mail: kdoi@ent.med.osaka-u.ac.jp

SUMMARY

1980年代から開発された人工内耳 (cochlear implant: CI) 手術は、それまでの高度感音難聴に対する治療の概念を根本的に変えるまさに革命的な医療の幕開けとなった。近年、脳幹の蝸牛神経核に埋め込まれた電極により聴覚中枢路を直接電気刺激する聴性脳幹インプラント (auditory brainstem implant: ABI) 手術も臨床応用され、さらに中枢側の中脳 (下丘) への埋め込み電極による電気刺激も試みられている。同時に、PET、MEG、fMRI といった脳機能画像解析が発展し、脳内での聴覚情報の処理、視覚情報や体性感覚情報といった他の感覚情報と聴覚野の相互作用についての研究が急速に進展した。これらの研究から得られた聴覚の脳内処理に関する知見は、さらに、高度感音難聴に合併する耳鳴の認知機構についても有益な情報をもたらした。その結果として、耳鳴の中枢性発症機序という新しい概念が確立され、それは TRT (tinnitus retraining therapy) 治療、TMS (transcranial magnetic stimulation) 治療といった新しい耳鳴治療法の開発につながった。

はじめに

平成 13 年度の厚労省の調査によると、日本国内における聴覚・言語障害者数は、成人で 346,000 人、小児 (18 歳未満) で 15,200 人であったとされる。成人では両側 90 dB 以上の高度難聴を有する身体障害 3 級相当以上のものが 159,000 人 (46%)、小児でも両側 100 dB 以上の高度難聴を有する身体障害 2 級相当以上のものが 7,200 人 (47.4%) を占めていた。中耳病変に起因する伝音難聴に対しては、鼓室形成術・アブミ骨手術といった聴力改善手術が有効な治療法となりうる。一方、内耳や聴神経の病変を原因とする高度感音難聴に対して従来有効な治療法はなく、補聴器装用のみでは十分な補聴効果は得られなかった。

1980 年代から開発された人工内耳 (cochlear implant: CI) 手術は、それまでの高度感音難聴に対する治療の概念を根本的に変えるまさに革命的な医療の幕開けとなった¹⁾。内耳障害を病因とする先天性および後天性の高度感音難聴に対して、蝸牛内に挿入された人工内耳電極からの聴神経への通電により、かなり正確な聴覚情報が脳皮質聴覚野に届けられるようになった (図 1)。近年、内耳や聴神経の機能が消失した高度感音難聴に対しては、脳幹の蝸牛神経核に埋め込まれた電極により聴覚中枢路を直接電気刺激する聴性脳幹インプラント (auditory brainstem implant: ABI) 手術も

KEY WORDS

人工内耳
聴性脳幹インプラント
聴覚中枢
PET
耳鳴

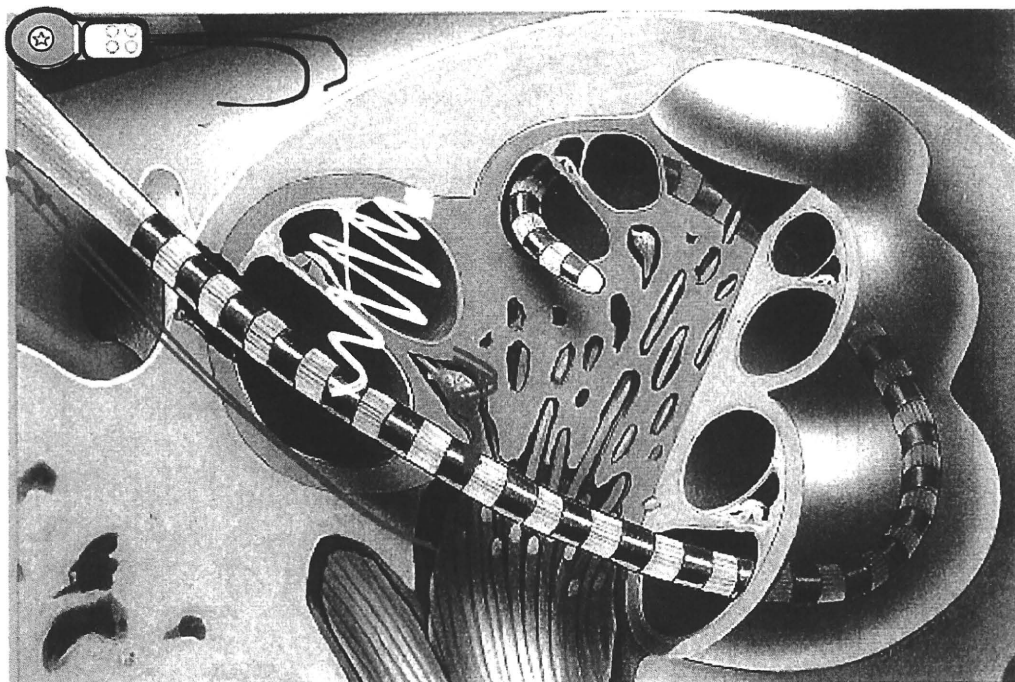


図1 人工内耳電極による聴神経電気刺激 (p.9, カラー図参照)

臨床応用され^{2,3)}, さらに中枢側の中脳(下丘)への埋め込み電極による電気刺激も試みられている⁴⁾。

こうした人工内耳, 聴性脳幹インプラントといった画期的な新規治療法の開発と時を同じくして, PET (positron emission tomography), MEG (magnetic encephalography), fMRI (functional MRI) といった脳機能画像解析が発展したことで, 脳内での聴覚情報の処理, 視覚情報や体性感覚情報といった他の感覚情報と聴覚野の相互作用についての研究が急速に進展した^{5,7)}。これらの研究から得られた聴覚の脳内処理に関する知見は, さらに, 高度感音難聴に合併する耳鳴の認知機構についても有益な情報をもたらした⁸⁻¹²⁾。その結果として, 耳鳴の中枢性発症機序という新しい概念が確立され¹³⁾, それは TRT (tinnitus retraining therapy) 治療, TMS (transcranial magnetic stimulation) 治療といった新しい耳鳴治療法の開発につながってきた^{14,15)}。

本稿では, 過去10年間に報告されたこれらの聴覚研究をミニレビュー的に振り返ることで, 21世紀に

おける「脳と聴覚」に関する研究の方向性を示唆することができればと願っている。

I. 人工内耳医療の発展

平成19年末の時点で, 人工内耳手術の症例数は世界全体で約110,000人, 日本国内で約5,000人となっている。人工内耳装用者数としては, 米国が約32,000人で第1位, ドイツが約6,000人で第2位, 日本はイギリスに次いで第4位である(2007年8月時点)。日本国内で人工内耳手術が最初に保険適応となったのは1994年, 小児例に対する人工内耳手術が保険適応となったのが1997年であり, 成人例, 小児例ともにその後も手術数は順調に増加し, 最近では年間約500例が人工内耳手術を受けている(図2)。

世界的には人工内耳手術の半数以上(52%, 2007年8月)は小児例であり, こうした小児人工内耳医療の発展により, 先天性聾(両側高度感音難聴)の症例ではできるだけ早期に人工内耳手術を行い, 臨界期(聴覚野の場合, 5~6歳とされる)を迎える前に聴覚

中枢路に電気信号を入れることが、言語聴取能や発語能力の発達のみならず、情緒、知能および社会適応能力の獲得に不可欠であることが確認されてきた。日本における小児人工内耳手術の比率は、人工内耳先進国に徐々に近づいてきており、2007年8月時点で37%まで上昇してきた。また、小児科医、産婦人科医と耳鼻咽喉科医との連携により「新生児聴覚スクリーニング」のシステムが稼働するようになり、国内の新生児120万人のうちの0.1~0.2%（約2,000人）とされる先天性聾症例を出生時に選別し、6ヵ月間以上の補聴器装用効果の有無を確認した上で、必要な症例に対して早期に人工内耳医療を提供することが可能となってきた。これに関連して、日本耳鼻咽喉科学会が定める「人工内耳適応基準」の2006年1月改定では、小児人工内耳手術の適応年齢が2歳から1歳6ヵ月に引き下げられ、聴力レベルも従来の両側100dB以上から両側90dB以上に修正された。実際に、4歳未満の人工内耳手術の比率は年々上昇し、逆に、手術時平均年齢は2007年4月時点で3.7歳まで低下した。両側高度感音難聴で、補聴器装用で言語発達が十分でない症例に対しては、より積極的に人工内耳医療を導入していくという方向性である。

人工内耳手術の年齢分布を見ると2つのピークが観

察される（図3）。一方は、前述の先天性聾を主とする2~4歳にピークを有する言語習得前・中の失聴症例であり、他方は60~65歳にピークを有するいわゆる高齢者群である。65歳以上の人工内耳高齢者群においても、その失聴原因の多くは内耳病変と推察され、他の成人例と比較しても人工内耳手術の治療効果には大きな差は見られない。このことは、一旦形成された聴覚中枢路が存在すれば、例え高齢者群であっても神経回路の可塑性は十分に保存されており、術後の言語訓練により、聴神経刺激で発生する電気信号が徐々に聴覚情報として脳内処理を受けるようになることを意味している。人工内耳手術の発展により、手術手技自体もより安全で確実なものになってきたこともあり、全身的な合併症等によりややリスクが高いと考えられる高齢者に対しても、人工内耳医療の適応は拡大してきている。

人工内耳医療の開発と同時進行の形で、主として電気生理学的な動物聴覚野での研究やヒト聴覚野での脳機能画像解析から、聴覚中枢における情報処理機構の解明が進められた。正常動物では、蝸牛内での周波数マップ（場所情報）は、下丘でも聴覚野内でも比較的正確に再現されている。すなわち、高周波数から低周波数まで、それぞれの特徴周波数に選択的に反応する

日本における年間手術数（全メーカー） 2007.8 現在

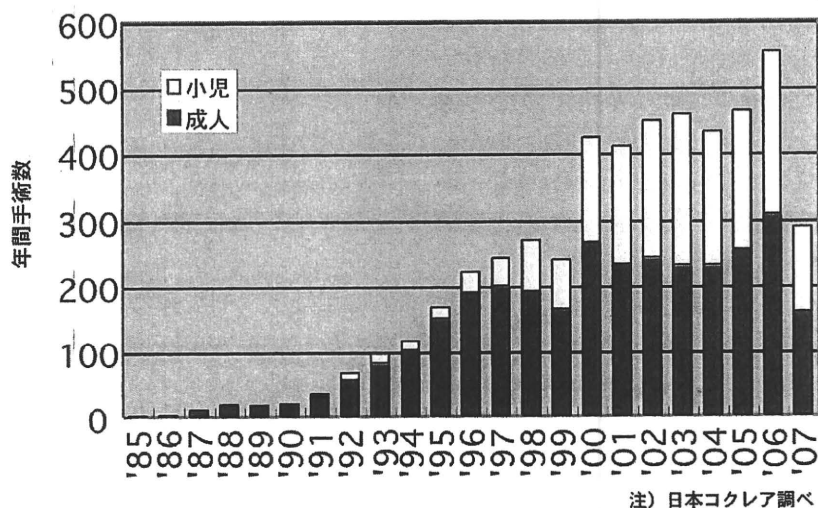


図2 人工内耳手術症例数の推移