

シングルチャンネル人工内耳：3症例の経験とその臨床成績

愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：柳原尚明教授）

暁 清 文, 佐 藤 英 光, 竹 田 一 彦, 柳 原 尚 明

SINGLE CHANNEL COCHLEAR IMPLANT : APPLICATION TO THREE PATIENTS

KIYOFUMI GYO, M.D., HIDEMITSU SATO, M.D., KAZUHIKO TAKEDA, M.D.
and NAOAKI YANAGIHARA, M.D.

Department of Otolaryngology, Ehime University School of Medicine, Ehime

Single channel cochlear implant of 3M/House design was implanted to the three patients with profound hearing loss. Before the implantation, use of hearing aid had not afforded serviceable hearing enough for speech recognition in these patients. Postoperative courses were uneventful. Speech rehabilitation was started at 3 weeks after the surgery. The speech tracking scores with the cochlear implant plus lipreading achieved 20—25 sunsetues (the minimum meaningful unit of the Japanese sentence) per minite at three or four months after the operation. All the patients could recognize speech of daily life with help of lipreading. However, speech recognition by the cochlear implant alone was not satisfactory.

Key words: 人工内耳, 聴能訓練, 復唱検査, 言語聴取能

A 92—1042—23598

I. はじめに

聴覚は視覚とともに社会生活を送る上で重要な感覚である。聴覚に障害がおこると周囲の人々とのコミュニケーションが十分にとれなくなり、難聴者は社会から隔離され孤独感を抱くことになる。とりわけ難聴が高度の場合には会話が全く不可能となり、通常の社会生活を送ることさえ困難になる。従来より難聴に対しては補聴器が用いられてきたが、高度難聴者には全く効果がなかった。このような患者に対して開発されたのが人工内耳（Cochlear Implant）である。人工内耳は高度内耳性難聴者の蝸牛内あるいはその近傍に電極を埋め込み、残存している蝸牛神経を電気刺激することによって音を聞かせる装置である。これによりこれまで医学的に治療方法のなかった聾の患者に音を聞かせることが可能となった。しかしながら、人工内耳の臨床応用はわが国では始まったばかりであり^{1)~7)}、日本語の会話における効果については十分に研究されていない。

今回、我々は3例の高度内耳性難聴者にシングルチャンネル人工内耳を植え込み、リハビリテーションを行う機会を得た。この方式の人工内耳による言語聴取能の回復効果とその限界、副作用等について検討したので報告する。

II. 装置の概要

今回使用したのは米国スリーエム社製のアルファ型人工内耳で、その主要構成要素は次の4つの部分から成る。すなわち、音を拾うマイクロホン、その音を電気刺激用の信号に変換するプロセッサー、体外から体内に信号を送る信号伝達装置、および蝸牛神経に電気信号を伝える電極である。図1に本装置の回路図を示す⁸⁾。信号伝達装置は体外部の発信機（体外コイル）と体内に埋め込む受信機（体内コイル）とからなり、信号は電磁誘導で伝達される。両者は中心部に強力な磁石を持ち、皮膚を介してくっつき合う。体内コイルは直径19.9mm、厚さ3.8mmのコイン状で、全体はチタ

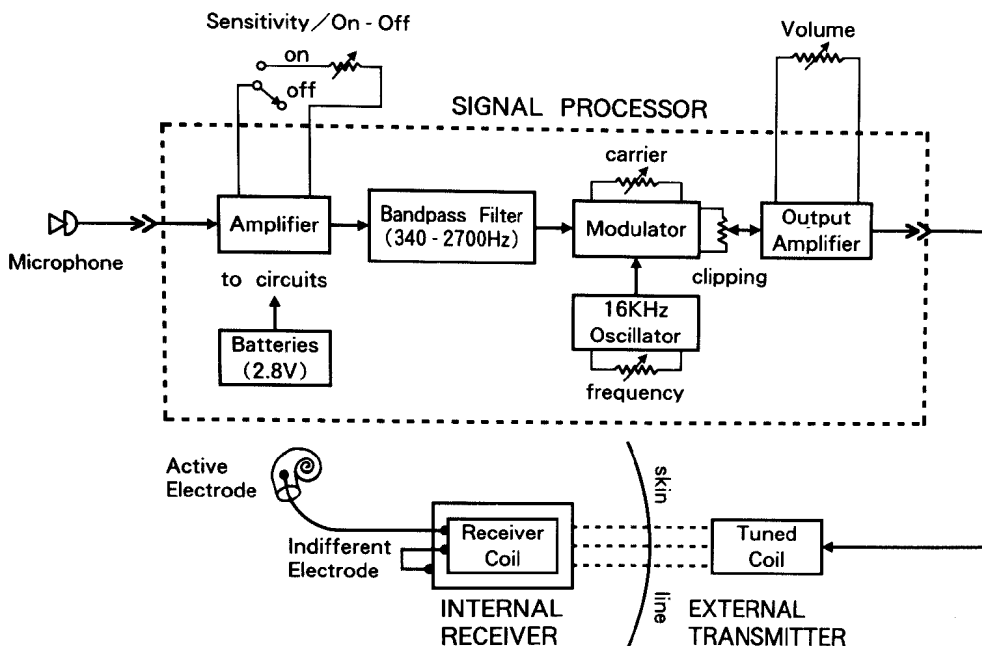


図1 スリーエム社製シングルチャンネル人工内耳の回路図⁸⁾。

ンで溶接密封され、それ自身が不関電極として働く。刺激電極は蝸牛内に埋め込む6mmの部分を除きシリコンチューブで被覆されている。この電極は数本の白金の細線を捻って作られており、先端は球状で、内耳組織を障害しないで挿入できるよう配慮されている。マイクロホンからの入力信号はアナログ信号処理され、340Hzから2700Hzの帯域フィルタを通した後、16kHzの搬送波を振幅変調(AM)して体外コイルに伝達される。体外コイルからの信号は電磁誘導で体内コイルに誘導されるが、後者に伝わる信号電圧は両者間の距離に応じて減弱する。従って、実際に蝸牛神経の刺激に負荷される電圧は体外装置の出力電圧よりも小さい。

III. 患者の選択

現在のところ、以下のような条件がそろった場合が人工内耳の適応と考えられる。

- 1) 原則として成人で、言葉を覚えた後に高度難聴となった場合。
- 2) 両側の聾ないし高度感音性難聴で、補聴器によっても実用聴力が得られない。
- 3) 社会復帰を強く望み、リハビリテーションに意欲的である。

4) 試験的な内耳の電気刺激で聴覚反応の認められること。

5) 中耳炎がないこと。あったとすれば十分に治療されていること。

6) 難聴の他に重篤な合併症のないこと。

7) 生体内に埋め込まれる装置の素材に対してアレルギーのないこと。

最終的な適応決定にあたっては聴力レベル、原因疾患、失聴の時期、難聴の進行度、補聴器の使用歴なども考慮した。また、術後のリハビリテーションには家族や周囲の人々の協力が必要なので、患者の家庭環境や社会環境なども調査した。

IV. 症 例

上記の条件を満たした3症例で人工内耳の植え込み手術を行った。以下、これら症例の概要を述べる。なお、手術に先だち、当大学倫理委員会の審査を受け、了承を得た。

症例1 37歳 男性 商品配送係員

現病歴：幼少期より両側の中耳炎を繰り返す。昭和47年から右耳に補聴器を使用。昭和54年に左鼓室形成術を受けるも聴力は改善せず。この頃より右聴力も悪化し、補聴器を使用しても全く聞こえなくなった。昭和

和59年、再度、左鼓室形成術を受けるも聴力は改善せず、また昭和60、61年に当科で段階的に鼓室形成術を行ったが、聴力は聾の状態で改善しなかった。患者の家庭および職場環境調査によるとコミュニケーションはすべて筆談で行われていた。何とか聞こえるようになりたいと人工内耳への期待は大きく、またリハビリテーションへの意欲は高かった。昭和62年2月、右耳に人工内耳の植え込みを行う予定であったが、耳小骨ならびに蝸牛窓周囲に陳旧性の炎症病変があったので乳突洞削開術にとどめ、8ヵ月後の昭和62年10月、右耳に人工内耳の植え込みを行った。

症例2 59歳 男性 運転手

現病歴：昭和54年に左耳の難聴、めまい発作があり、発作を繰り返すうちに次第に進行して高度難聴となった。昭和57年に右耳の難聴、めまい発作が生じた。しかし、高音域の難聴は残ったが進行せず、聴力は落ちていた。昭和62年9月、めまい発作とともに高度難聴となった。聴力は左90dB、右105dBと残聴があるので補聴器の調整を行い装用の指導を行ったが満足できず、本人の強い希望もあったため、昭和63年3月、右耳に人工内耳の植え込みを行った。

症例3 35歳 男性 郵便局員

現病歴：7歳の時、転倒して意識不明、その後、左耳の高度難聴に気づく。昭和62年4月、髄膜炎に罹患し意識不明となった。1週後に意識が回復した時、両側性の高度難聴に気づいた。当科受診時の聴力は右117dB、左110dBであった。患者は社会復帰の希望が強く、リハビリテーションへの意欲も高かった。昭和63年7月、右耳に人工内耳の植え込み手術を行った。

V. 手術方法

米国スリーエム社およびHouse Ear Instituteの定めた手引書に従った。術式の概要は以下の通りである。手術は全身麻酔下に行う。耳後部約3—4cmの位置に円弧状の切開を行い、体内コイルの位置を決定する。次いで乳突洞削開術を行い、下鼓室を開放、正円窓を露出する。正円窓に小孔を開け鼓室階内に電極を挿入し、その上を筋膜片で覆いフィブリン糊(Tissel[®])を用いて電極を固定する。電極挿入操作は症例2、3では容易であったが、症例1では正円窓が骨性閉鎖していたので、骨を2—3mm削開して鼓室階を開窓し電極を挿入した。

VI. リハビリテーションと術後の経過

人工内耳による聴覚は正常者のように会話音声のままの形で聞こえるのではなく、言語情報の一部の音が聞こえるものなので、リハビリテーションが非常に重要な役割を果たす。我々の場合、術後のリハビリテーションは教育学者、医師、看護婦がチームを作り協力して行った。リハビリテーションは手術創が落ち着くと考えられる術後3週目頃より開始した。リハビリテーションを短期間に集中的に行うか、外来通院しながら短時間ずつ行うかは、患者の住所や都合などを考慮して決めた。

実際のリハビリテーションではシングルチャンネル方式の人工内耳であることを考慮して、次のような点に特に留意した。1) 音の強さと時間のパターンの認識に重点を置いて指導する。2) 読話は必要不可欠なので、患者の意欲や動機づけを損わない範囲で読話の訓練を同時に進める。3) 文脈の明らかな課題に基づいた指導から始める。リハビリテーションの手順などの詳細については、すでに報告した⁹⁾¹⁰⁾ので省略し、ここでは術後の経過と聴取能力の成績について報告する。

症例1

術後3週間目に体外部を装着させ、リハビリテーションを開始した。初めて人工内耳により聞こえた音は、患者によれば「ビービー」とか「ジージー」と聞こえるにすぎないという。場面状況が設定された条件での聴取可能音の範囲は、その後、次第に増加した。特に、音の有無の明らかな断続音は聴取が容易であった。リハビリテーション開始2週目頃より訓練者の声を特定化できるようになり、文のアクセントやイントネーションが復唱できるようになった。人工内耳の装用に慣れるに従い聴取能力は次第に向上した。予想された通り読話の併用効果は大きかった。人工内耳のみでは聞き誤ったり、聞き取れない場合でも、読話を併用すると日常的には不自由のないコミュニケーションが可能となった。さらに人工内耳の使用により周囲の人々とのコミュニケーションが増加し性格にも変化が見られた。これまで閉じこもりがちであった性格から周囲の人にも関心が行き始め、明るい性格となった。退院後は終日、人工内耳を装着し、日常生活に欠かせないものとして活用している。人工内耳による聴覚および読話併用による会話理解力は単語、文章において著しく改善し、人工内耳装用の効果を認めた。また、術前にみられた構音の乱れや音声ピッチの不自然さも改善された。

症例2

人工内耳植え込み後1カ月を経過した時期から体外部を装着させ、リハビリテーションを開始した。初めて使用した時の印象は非常に良好であったが、基本的には人工内耳のみで会話音声までが分かるものではないとのことであった。リハビリテーション開始後3カ月の時点で、人工内耳の装着時間は1日約8時間であり、日常生活に欠かせないものとして活用している。人工内耳による聴覚と読話の併用による会話理解力

は、単語、文章において著しく改善し、術前の補聴器装着時の結果と比べても優れていた。なお、本例は術前に残聴がみられたが、術後3カ月目の人工内耳を植え込んだ右側の聴力は術前と比べ約15dB程度低下していた。

症例3

人工内耳植え込み後3週間目より体外部を装着させ、リハビリテーションを開始した。初めて人工内耳

表1 術前および術後3カ月目の読話能力ならびに聴取能力。

症例1

(単位は%)

	読話		聴覚		読話+聴覚	
	術前	術後	術前 (補聴器)	術後 (人工内耳)	術前 (補聴器+読話)	術後 (人工内耳+読話)
母音	100	100	0	20	100	100
1桁数字	78	89	0	50	95	100
単音節	15	38	0	10	35	45
単語(選択肢なし)	23	19	0	8	15	85
〃(選択肢あり)	81	69	0	27	—	96
文	38	17	0	22	38	89

症例2

(単位は%)

	読話		聴覚		読話+聴覚	
	術前	術後	術前 (補聴器)	術後 (人工内耳)	術前 (補聴器+読話)	術後 (人工内耳+読話)
母音	100	100	25	20	100	100
1桁数字	90	100	22	56	100	100
単音節	30	67	0	10	50	55
単語(選択肢なし)	10	55	15	0	75	100
〃(選択肢あり)	100	65	25	70	100	100
文	35	61	0	17	67	100

症例3

(単位は%)

	読話		聴覚		読話+聴覚	
	術前	術後	術前 (補聴器)	術後 (人工内耳)	術前 (補聴器+読話)	術後 (人工内耳+読話)
母音	100	100	10	10	100	100
1桁数字	61	88	22	22	67	100
単音節	30	40	0	0	25	50
単語(選択肢なし)	5	25	0	10	45	70
〃(選択肢あり)	75	95	15	15	75	90
文	0	22	0	0	0	78

を使用したときの印象は良好であったが、やはり基本的には「ビービー」とか「ジージー」と聞こえるとのことであった。リハビリテーション開始後3カ月の時点で、人工内耳の装着時間は1日約8時間である。人工内耳による聴覚、および読話併用による会話理解力は、単語、文章において著しく改善し、人工内耳装用の効果が認められた。人工内耳使用による会話理解力は、術前の良聴耳（反対側）の補聴器装用下の結果と比べても優れていた。現在は退院し、職場復帰の準備を行っている。

VII. 人工内耳による聴取能力

3症例の術前および術後3カ月目の母音、一桁数字、

単音節、単語、文の聴取能の結果を表1にまとめた。検査方法の詳細はここでは省略するが、いずれの症例でも人工内耳と読話の併用により術前の補聴器使用時よりも良好な結果が得られた。

Speech Tracking Test¹¹⁾（復唱検査）を指標とした術後の聴取能力の改善経過を図2に示した。この検査は検者が題材を読み、患者がそれを復唱する。これを10分間行い、1分間に何文節復唱できるかを求める。復唱検査では話題によって理解能に個人差があるので、ここでは題材に童話を用いた。いずれの症例も読話能力が改善したこともあるが、術前と比べ徐々に成績は改善し、術後3～4カ月で20～25文節/分まで復唱できるようになった。しかし4カ月目以後の向上は著

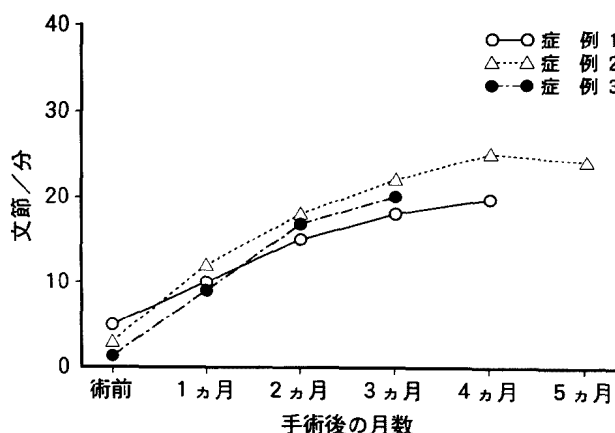


図2 読話と人工内耳の併用による復唱検査成績の経過。検査の題材には童話を用いた。術後の聴取能力は徐々に改善し、3～4カ月で20～25文節/分まで向上した。

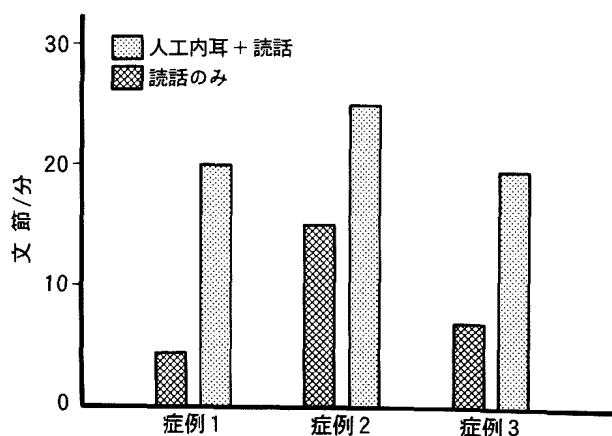


図3 読話のみと人工内耳併用時の復唱検査成績。症例1, 2は術後4カ月目、症例3は3カ月目の成績を示す。人工内耳と読話の併用により聴取能力は著明に向上した。

しくなく、頭打ちになる傾向にあった。図3は術後3～4カ月目の読話のみと人工内耳と読話を併用した時の復唱検査の結果を示したものである。患者の意欲を損ねないように人工内耳のみの検査は行っていない。症例2を除き、読話のみでは聴取能力は良くないが、人工内耳の併用でいずれも聴取能力は著明に向上した。

VIII. 副作用ならびに合併症

今回3症例に人工内耳の植え込みを行ったが、自覚的にも全く副作用や合併症を認めなかった。耳鳴りについてはいずれも術前と同じ程度であり、めまいは症例2で術後一過性に生じたが、その後は植え込まれた電極周囲を強く圧迫した時にファとする感を訴えるのみで、問題となることはなかった。

IX. 考 考

人工内耳には大別してシングルチャンネル方式とマルチチャンネル方式とがある。音声の理解のためには後者の方が優れているとされているが、前者にも後者との比較で、1) 内耳に埋め込む電極が短いので挿入が容易で内耳組織を障害しにくい、2) 構造が単純なので故障が起こりにくい、3) 将来、より高性能の装置が開発された場合も取り替えが容易である、4) 比較的安価である、といった長所がある。今回、植え込みを行ったアルファ型人工内耳はシングルチャンネル方式ではあるが、いずれの患者も聴覚を回復し、会話音声や環境音などの情報を耳から得ることができるようになった。とりわけ読話を併用すれば著明な聴取能力の改善が認められ、会話音の聴取に有効であった。

現在いくつかの人工内耳が実用化されているが、機種間の性能の比較のためには検査法の統一が必要である。米国などでは検査法の基準化が進められている¹²⁾が、言語構造の異なる日本語では欧米の検査法をそのまま用いることはできない。現在のところ、人工内耳による聴取能力の評価に母音・子音の弁別検査や単語の聞き取り検査の他に、復唱検査が広く用いられている。復唱検査は読話能力を含めた言語聴取能を評価するのに適しているが、実際には復唱させる題材によって成績に差があり、我々の症例でも童話では成績は良いものの新聞記事では低かった。本邦での術後成績の報告では題材として童話²⁾³⁾⁴⁾ないし小学校高学年程度の物語⁵⁾が用いられているので、本論文では童話による成績を示した。その結果、図2、3にも示したように術後3～4カ月の時点で20～25文節/分まで復唱で

きるようになった。船坂ら⁵⁾はNucleus社製マルチチャンネル方式の人工内耳の手術成績の報告の中で、リハビリテーション開始後3カ月目の読話併用での復唱検査の結果は、4例中最もよい例は32.2文節/分、悪い例は20.1文節/分であったと報告している。また伊藤ら⁶⁾も同じ機種を用い、良い時の成績は32文節/分であったと報告している。従って検査方法に多少の違いがあるとしても、シングルチャンネル方式人工内耳による言語理解能はマルチチャンネル方式の悪い例とほぼ同じ程度ということになる。

このように復唱検査では両者間にそれ程の差はみられないが、音声情報のみによる聴取能ではシングルチャンネル型は劣っていた。とりわけ母音の理解能では大きな差がみられた。これはNucleus社製人工内耳が特に母音聴取能に留意して設計されているからであろう。いずれにしろ、人工内耳で聞こえる音声情報はマルチチャンネル方式の方が多く、言語聴取能の点では明らかに優位にある。しかしながらマルチチャンネル方式人工内耳はすべての症例に適応があるわけではない。例えば、蝸牛が高度に骨化して長い電極が挿入できない場合や、蝸牛神経の残存が極端に少なくマルチチャンネルの効果が期待できない場合などはシングルチャンネル型の適応となりうる。

今回検討を行ったスリーエム社製アルファ型人工内耳は単にアナログ処理を行っているにすぎず、高度の信号処理を行えばシングルチャンネル方式でもかなりの程度まで言語聴取能を高めうる可能性がある。現在の装置はアナログ信号を内耳に送り込む比較的単純な方式であるが、圧縮音声信号を用いたり¹³⁾、音声信号内に母音情報を挿入するなどの工夫¹⁴⁾により言語聴取能が向上することが報告されている。今後の研究が期待される。

X. ま と め

シングルチャンネル方式のアルファ型人工内耳を3例の高度難聴者に植え込みリハビリテーションを行った。その結果、人工内耳は聾の治療法として有効な手段であり、また適切な注意を払えば手術は安全に行え、副作用はおこらないことを確認した。術後は集中的にリハビリテーションを行った。言語聴取能は月を追って向上したが、検査成績をみる限り3～5カ月後頃に頭打ちになる傾向にあった。最終的には、読話を併用すれば日常生活に不自由のない程度にまで言語聴取能は改善した。しかしながら、人工内耳のみでは言語聴

取能は不十分で、とりわけ母音や単語の理解能は低く、この方式による人工内耳では読話の併用が不可欠と思われた。

参考文献

- 1) 神尾友和, 八木聰明, 関根修二, 小林 謙, 恩地 豊: Cochlear Implant の一例. *Audiol Jpn* 24: 475-476, 1981.
- 2) 八木聰明, 山越順子, 小林 謙, 神尾友和: Cochlear Implant 症例の聴性誘発反応. *Audiol Jpn* 29: 194-198, 1986.
- 3) 船坂宗太郎, 細谷 睦, 林原成子, 高橋 整, 湯川久美子 他: 22チャンネル Cochlear Implant—そのシステム紹介と本格的言語訓練前の話聴取能について. *日耳鼻* 89: 1070-1076, 1986.
- 4) 船坂宗太郎, 林原成子, 高橋 整, 湯川久美子, 初鹿信一: 22 Channel Cochlear Implant 患者の言語聴取能. *日耳鼻* 90: 995-1003, 1987.
- 5) 船坂宗太郎, 高橋 整, 湯川久美子, 城間将江, 熊川孝三: 22 Channel Cochlear Implant 患者の語音聴取能とその生理学的考察. *耳喉頭頸* 60: 283-289, 1988.
- 6) 伊藤寿一, 土師知行, 川野通夫, 竹内真理子, 本庄 蔵: 人工内耳手術とリハビリテーション. *耳鼻臨床* 81: 1563-1568, 1988.
- 7) 広田栄子, 小寺一興, 加我君孝, 鈴木淳一: 人工内耳適応症例におけるリハビリテーションの評価. *Audiology Jpn* 31: 343-344, 1988.
- 8) Fretz RJ, Fravel RP: Design and function: A physical and electrical description of the 3M House cochlear implant system. *Ear and Hearing* 6 (supplement 3): 14S-19S, 1985.
- 9) 高橋信雄: 人工中耳および人工内耳による聴取能力回復のための訓練. *電子情報通信学会音声研究会資料* SP87-74: 21-27, 1987.
- 10) 高橋信雄, 柳原尚明, 暁 清文, 佐藤英光: シングルチャンネル型人工内耳での聴取能力の検討. *Audiology Jpn* 31: 339-340, 1988.
- 11) De Filippo CL, Scott BL: A method for training and evaluating the reception of ongoing speech. *J Acoust Soc Am* 63: 1186-1192, 1978.
- 12) Brackmann DE: Recommendation for the reporting of preoperative testing and postoperative results in cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 97: 519-521, 1987.
- 13) Hochmair ES, Hochmair-Desoyer IJ: Percept elicited by different speech-coding strategies. *Ann N Y Acad Sci* 405: 268-279, 1983.
- 14) 高橋国広, 松島純一, 伊福部 達, 熊谷雅彦, 寺山吉彦: 単電極型人工内耳のためのホルマント情報伝達に関する実験的研究. *耳鼻臨床* 81: 453-459, 1988.

患者のリハビリテーションに際して御指導を頂いた愛媛大学教育学部豊心理, 高橋信雄助教授に感謝します. 本論文の要旨は第14回日耳鼻四国四県地方部会(高知)において報告した.

(原稿受付 1989年1月5日)

別刷請求先 〒791-02 愛媛県温泉郡重信町大字志津川
愛媛大学医学部耳鼻咽喉科学教室 暁 清文