

原著

三次元MRIと高分解能CTによる蝸牛の領域分析 —人工内耳適応の術前診断への応用—

秋葉英成¹⁾, 氷見徹夫²⁾, 晴山雅人¹⁾

¹⁾ 札幌医科大学医学部放射線医学講座 (主任 晴山雅人 教授)

²⁾ 札幌医科大学医学部耳鼻咽喉科学講座 (主任 氷見徹夫 教授)

Segmental Analysis of Cochlea on Three-dimensional MR Imaging and High-resolution CT
— Application to Pre-operative Assessment of Cochlear Implant Candidates —

Hidenari AKIBA, Masato HAREYAMA

Department of Radiology, Sapporo Medical University, School of Medicine.

(Chief: Prof. M. HAREYAMA)

Tetsuo HIMI

Department of Otolaryngology, Sapporo Medical University, School of Medicine.

(Chief: Prof. T. HIMI)

ABSTRACT

High-resolution computed tomography (HRCT) and magnetic resonance imaging (MRI) have recently become standard pre-operative examinations for cochlear implant candidates. HRCT can demonstrate ossification and narrowing of the cochlea, but subtle calcification or soft tissue obstruction may not be detected by this method alone, and so conventional T2 weighted image (T2WI) on MRI has been recommended to disclose them. In this study, segmental analyses of the cochlea were made on three-dimensional MRI (3DMRI) and HRCT in order to predict cochlear implant difficulties.

The study involved 59 consecutive patients with bilateral profound sensorineural hearing loss who underwent MRI and HRCT from November 1992 to February 1998. Etiologies of deafness were meningogenic labyrinthitis (n = 9), tympanogenic labyrinthitis (n = 12), and others (n = 38). Pulse sequence of heavy T2WI was steady state free precession and 3DMRI was reconstructed by maximum intensity projection method. HRCT was reconstructed by bone algorithm focusing on the temporal bone. For alternative segmental analysis, cochleas were anatomically divided into five parts and each of them was classified by three ranks of score depending on 3DMRI or HRCT findings.

There was a close correlation by ranks between the total score of the five parts on 3DMRI and HRCT ($r_s = 0.86$, $P < 0.001$), and a statistically significant difference was identified between causes of deafness in the total score on 3DMRI or HRCT ($P < 0.001$, respectively). There was a significant difference in the score among the five parts on each examination ($P < 0.001$, respectively), and abnormal findings were more frequent in the inferior horizontal part (IHP) of the basal turn. Of the 35 patients who underwent cochlear implantation, no one had ossification in the IHP on HRCT and only one patient had an obstacle to implantation. When no signal void in the IHP on 3DMRI and no ossification in the IHP on HRCT were assumed to be the criteria for candidacy for cochlear implantation, the true negative rate was 94% and the false negative rate was 0%; which fulfilled our goal of establishing feasibility of cochlear implant. The decreased signal or narrowing of the cochlear part on 3DMRI was thought to indicate slight fibrosis or inflammatory exudate in the cochlea without signifying difficulties in implantation and the increased attenuation or narrowing of the cochlear part on HRCT was considered to be primarily ascribed to partial volume averaging effect.

The segmental analysis of the cochlea on 3DMRI and HRCT provides regional information on cochlear implant candidates, i.e. fluid-filled, apparently healthy, cochlea and/or pathological findings such as ossification, fibrosis and so on, and it is consequently useful for the final decision about candidacy.

(Received June 13, 2002 and accepted October 20, 2002)

Key words: Cochlear implant, Inner ear, Labyrinthitis, MRI, CT

1 諸 言

近年, 内耳性高度感音性難聴の治療として, 人工内耳手術が施行されるようになった^{1,2)}. 現在使用されている蝸牛内型22チャンネル人工内耳は, 聴力検査やプロモントリテストなどの諸検査を総合的に勘案して行われるが, 電極を挿入するための正常な蝸牛が形成され, かつ迷路に広範囲な狭窄や閉塞がないことが前提条件である^{2,4)}. そこで先天奇形の除外や骨化性迷路炎の診断のために, 高分解能Computed tomography (CT) を用いた術前画像診断が行われてきた⁵⁻¹⁴⁾. その後1987年頃よりみられるMagnetic resonance imaging (MRI) のT2強調画像を用いた報告は, 内耳の骨化のみならず線維化の診断が可能であることを示唆していた^{3,7,15-17)}. しかし, 内耳の詳細な評価をするためには従来のT2強調画像は低空間分解能であり, 撮像も長時間を要したため, 最近ではHeavy T2強調画像を利用した内耳描出能の技術的進歩が報告されてきた¹⁸⁻²⁵⁾.

現在では高分解能CTとMRIのHeavy T2強調画像は人工内耳手術の標準的な術前検査である. しかしこれまで, Heavy T2強調画像については技術的報告や少数例の報告を認めるが, 多数例における蝸牛の異常所見の解剖学的分布を検討した報告や高分解能CTと比較した報告はほとんどない. 本論文においては, 蝸牛の三次元MRIや高分解能CTの画像所見の臨床的意義とその人工内耳適応の診断能の評価を目的に, 両者の画像所見の領域分析を行い, 難聴の原因との関係を調べ, 病理組織学的報告と比較検討する.

2 対象と方法

2・1 対象

対象は1992年11月から1998年2月の間に, 両側高度感音性難聴と臨床診断され人工内耳適応の術前診断を目的に, MRIのHeavy T2強調画像を撮像した59例118耳で, 男性24例, 女性35例で, 成人48例, 小児11例であり, 平均年齢46歳(3-77歳)であった. 難聴の原因疾患は, Table 1に示すように, 迷路炎21例(髄膜炎9例, 中耳炎12例), 薬剤性2例, ミトコンドリア脳筋症3例, 特発性24例, 先天奇形2例, 不明7例であった.

Table 1 Cause of deafness in 59 patients

Cause of deafness	No.
Labyrinthitis	21
Meningogenic	9
Typanogenic	12
Ototoxicity	2
Mitochondrial encephalomyopathy	3
Idiopathy	24
Congenital anomaly	2
Unknown	7

2・2 撮像法および画像処理

MRIは, General Electric (Milwaukee, WI, U.S.A.) 1.5-T超伝導型MRI装置Signaを使用し, Head Coilを用い, 撮像パルス系列はSteady state free precession (SSFP)法で, 横断面のHeavy T2強調画像を撮像した. 撮像条件はRepetition time (TR)/Echo time (TE)/Flip angle (FA)/加算回数(NEX) = 22 - 24ms/38.7 - 43.8ms/60°/2 - 4であり, 撮像範囲14 - 18cm, スライス厚0.7 - 1mm (gapless), 撮像Matrix: 256 × 192pixels, 撮像数28断面であった. 撮像時間は4分32秒(2NEX)または9分51秒(4NEX)であった.

画像評価は, はじめに28断面のHeavy T2強調画像を専用画像表示装置で繰り返してページングモード表示し, 内耳の三次元的な構造を観察した. また内耳の立体的な信号分布を更に客観的に表現するために, 三次元表示法の一つであるMaximum intensity projection (MIP)法を用いた投影表示を利用し, 三次元MRIを作成した^{19-21,26)}. 撮像断面の内耳の近傍には, 内耳道内の脳脊髄液が認められ, また中耳炎がある場合には滲出液が近接することがある. MIP法による投影表示では重なる構造の前後が区別できないため, これらの信号と内耳の高信号の重なりは内耳の三次元表示の妨げとなる^{19,20,26)}. そこで各断面において画像処理を行い, 近傍構造を除いた左右の内耳だけの連続断面とし, それぞれMIP法を用いて多方向から投影表示して三次元画像を作成し, 観察した.

高分解能CTは, General Electric (Milwaukee, WI, U.S.A.) CT装置9800またはHi Lite AdvantageおよびPro Seed SAを使用し, その撮像条件は, Field of view (FOV) 18cm, Matrix: 512 × 512pixels, スライス厚1.0 - 1.5mmであり, 左右側頭骨をFOV4.9cm, Matrix: 256 × 256pixels, 骨条件で再構成し, 撮像数は18 - 24断面であった. 画像評価はfilm上の横断面画像で行った.

2・3 検討方法

検討に当たっては, 従来の報告のような内耳の蝸牛全体を対象とした分析ではなく, 新しい観点から分割した蝸牛回転の個々の領域についての画像評価を試みた. その理由は, 第1に今回の三次元MRIが高空間分解能で蝸牛の領域分割が可能なためであり, 第2に一般的に人工内耳の電極が挿入される範囲は蝸牛の鼓室階を1回転前後入れれば十分とされるためであり^{4,27)}, 第3に後述するように病変の局在によって手術操作が変わり得るためである^{1,2,23)}. つまり病変の蝸牛内分布の評価が, 人工内耳の手術に有用な画像情報をもたらすことが期待されるからである.

具体的にはKubikらに従い, Fig. 1に示すように, 蝸牛の基底回転をフック部から下水平部Inferior horizontal part (IHP), 上行部Ascending part (AP), 上水平部Superior horizontal part (SHP), 下行部Descending part (DP)と4分割し, 中回転から蝸牛頂までMiddle apical turn (MAT)を加えた5領域に形態学的に分割し²⁸⁾, 各領域の

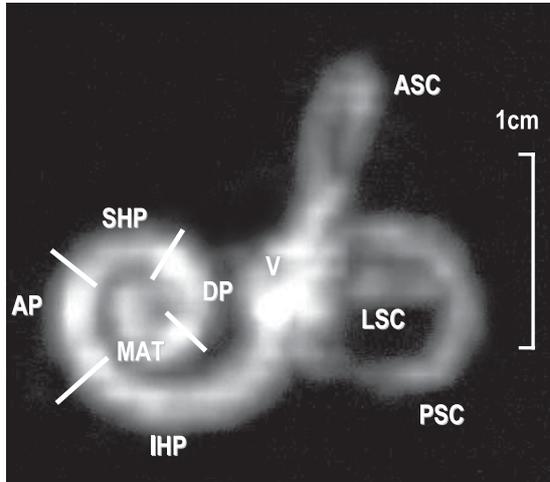


Fig. 1 Three-dimensional magnetic resonance image (3DMRI) shows anterior oblique aspect of the normal right inner ear of a 65-year-old woman. The cochlea is anatomically divided into five parts: the inferior horizontal part (IHP), ascending part (AP), superior horizontal part (SHP), and descending part (DP) of the basal turn; and the part of the middle and apical turn (MAT). The anterior semicircular canal (ASC), lateral semicircular canal (LSC), posterior semicircular canal (PSC), and vestibule (V).

Table 2 Classification into three categories depending on 3DMRI or HRCT finding for each segmental part

Score	3DMRI finding	HRCT finding
2	Signal void or interruption	Ossification or interruption
1	Decreased signal or narrowing	Increased attenuation or narrowing
0	Normal high signal	Normal low attenuation

Note. - Three-dimensional magnetic resonance imaging (3DMRI) and high-resolution computed tomography (HRCT).

三次元MRIの信号強度を評価した。なお中回転から蝸牛頂は、人工内耳の挿入時の支障がほとんどないことから、画像上の分割評価が難しい場合が多いことから、一括して領域の一つ(MAT)とした。また高分解能CTでは、上記に準じて横断画像のfilm上で各領域の吸収値や形態を評価した。

客観的な画像評価を行うために、Table 2に示すように各領域の三次元MRIと高分解能CTの画像所見を視覚的に3段階に数値化した。三次元MRIでは無信号か完全な途絶があるものがスコア2、低信号か細まりがあるものをスコア1、高信号で十分に太いものをスコア0とした。評価画像はMIP法による三次元画像に加えて、画像処理前の横断像も必要に応じて随時参照した。また高分解能CTでは、骨化や完全な途切れがあるものがスコア2、軽度の吸収値上昇や細まりがあるものをスコア1、正常吸収値で十分に太いも

のをスコア0とした。なお、三次元MRIと高分解能CTの評価は一人の診断医が別々に行った。

上記の検討方法に従って、蝸牛の画像所見と難聴の原因との関係、画像の人工内耳適応の診断能について分析し、従来のCTやMRIの報告と比較検討した。更に本研究の特徴である蝸牛の異常所見の領域分析については、従来の画像評価報告がないので、病理報告などの文献的考察を加え検討を行った。

統計は、Spearman順位相関係数の検定、Kruskal-Wallis順位検定およびFriedman順位検定を行った^{29,30)}。

3 結果

3・1 三次元MRIと高分解能CTの比較 (Fig. 2)

三次元MRIと高分解能CTの比較を行えた67耳では、蝸牛の5領域を合計したスコアのスピアマン順位相関係数は0.86であり、統計学的に相関がみとめられた(Spearman順位相関係数の検定, $P < 0.001$)。合計スコアが5以上の乖離は、三次元MRIで0、高分解能CTで5を示した髄膜炎性迷路炎の1例であった。また合計スコアが4の乖離は三次元MRIと高分解能CTの合計スコアが6と2、および5と1を示した中耳炎性迷路炎の2例であった。

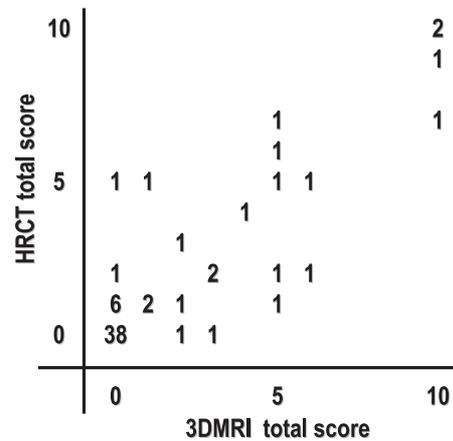


Fig. 2 The correlation table by ranks on the total score on 3DMRI and high-resolution computed tomography (HRCT) in 67 ears ($rs=0.86$, $P<0.001$).

3・2 蝸牛の画像所見と難聴の原因の検討 (Table 3)

三次元MRIや高分解能CTで、蝸牛5領域の合計スコアがそれぞれ1以上を異常所見と考え、難聴の原因との関係を検討した。MRI検査を施行し三次元MRIを作成した57例(先天奇形の2例を除く)で、異常所見を示した15例の難聴の原因疾患は、髄膜炎性迷路炎9例、中耳炎性迷路炎5例、特発性1例であり、髄膜炎性迷路炎9例中9例、中耳炎性迷路炎12例中5例に異常所見を認めた。また高分解能CTを施行した34例で、異常所見を示した17例の難聴の原因疾患は、髄膜炎性迷路炎8例、中耳炎性迷

Table 3 Cause of deafness and abnormal finding on 3DMRI or HRCT

Cause of deafness	Meningogenic labyrinthitis	Tympanogenic labyrinthitis	Other causes	Total
3DMRI (TS > 0)				
Pts%	100 (9/9)	42 (5/12)	2.8 (1/36)	26 (15/57)
Ears%	89 (16/18)	29 (7/24)	1.4 (1/72)	21 (24/114)
MTS (SE)	4.0 (0.79)	1.7 (0.65)	0.07 (0.07)	1.0 (0.23)
HRCT (TS > 0)				
Pts%	100 (8/8)	60 (6/10)	19 (3/16)	50 (17/34)
Ears%	93 (14/15)	45 (9/20)	16 (5/32)	42 (28/67)
MTS (SE)	3.7 (0.77)	1.5 (0.61)	0.38 (0.23)	1.4 (0.31)

Note. – Total score(TS), patients(Pts), mean total score(MTS), and standard error(SE). There was a significant difference between causes of deafness in the total score of the five parts on 3DMRI or HRCT ($P < 0.001$, respectively).

路炎6例, 特発性1例であり, 髄膜炎性迷路炎の8例中8例, 中耳炎性迷路炎の10例中6例に異常所見を認めた。

難聴の原因を髄膜炎性迷路炎, 中耳炎性迷路炎, その他の3群に分類し分析すると, 三次元MRIや高分解能CTの合計スコアは3群で互いに統計学的有意差が認められた(各々 Kruskal-Wallis 順位検定, $P < 0.001$).

3・3 蝸牛の画像所見の領域分析 (Fig. 3)

3・2の結果, 三次元MRIや高分解能CTの異常所見は迷路炎が原因の難聴で多いことが証明された。そこで迷路炎が原因の難聴例に関して三次元MRIや高分解能CTで蝸牛の5領域ごとのスコアを合計し, 分布を検討した。その結果, Fig. 3に示すように三次元MRIを撮像した迷路炎例42耳では, スコア2または1は蝸牛回転の蝸牛窓に近い部位ほど多く, 蝸牛頂に近い部位ほど少ない傾向があった。内耳ごとの5領域それぞれのスコアを関連多群として分析

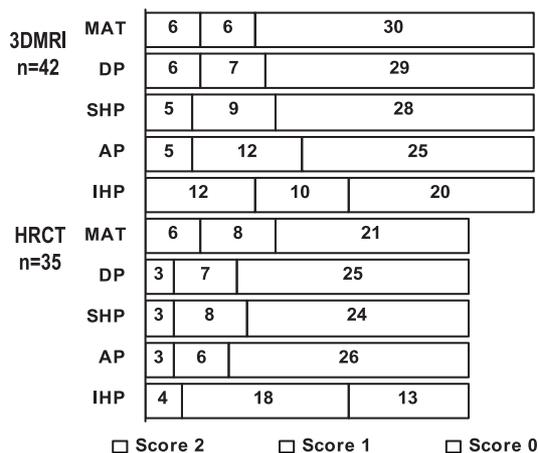


Fig. 3 The intra-cochlear segmental distribution of 3DMRI scores (n=42) and HRCT scores (n=35) in patients with labyrinthitis. There was a significant difference among the scores of the five parts on each examination ($P < 0.001$, respectively) and abnormal findings were more frequently demonstrated in the IHP.

を行うと, 蝸牛内スコア分布に統計学的有意差を認めた (Friedman 順位検定, $P < 0.001$). また高分解能CTを撮像した迷路炎例35耳では, スコア2または1は基底回転のIHPに多く, AP, SHP, DPに少ない傾向がみられ, 同様に, 内耳ごとの蝸牛内スコア分布に統計学的有意差を認めた (Friedman 順位検定, $P < 0.001$).

3・4 人工内耳手術結果と画像所見 (Table 4)

人工内耳手術を施行した35耳で, 基底回転のIHPについて術前の画像所見と手術結果の比較を行った。高分解能CTのスコアが2の手術例は無く, また三次元MRIのスコアが1または0では病的所見は認められなかった。人工内耳の電極挿入で支障がみられたのは1例のみで, 三次元MRIのスコアは2, 高分解能CTのスコアは1であった。これと同じスコアを示したほかの2耳は, 正常の手術所見であった。

Table 4 Result of surgery and IHP score on 3DMRI and HRCT in 35 patients with cochlear implantation

IHP score	HRCT			
	2	1	0	—*
3DMRI 2	ND	P1N2	ND	ND
3DMRI 1	ND	P0N3	P0N2	ND
3DMRI 0	ND	P0N5	P0N19	P0N3

Note. – Pathologic cochlea number (Pn) and normal cochlea number (Nn) at surgery, and no data (ND). Inferior horizontal part (IHP). * IHP scores on HRCT were not able to be assessed.

また人工内耳の電極とダミーを合わせた挿入数と三次元MRIの合計スコア(28例), および高分解能CTの合計スコア(25例)はいずれも有意な相関は認められなかった。

Fig. 4は4才女児の例で, 手術の1mmドリルによる開窓時に外リンパの流出が無く, 0.6mmドリルで開窓部を広げ鋭匙で肉芽を除いた後に人工内耳が挿入されたものである。三次元MRI (Fig. 4A)ではIHPに完全な途切れがみられるが(スコア2), 高分解能CT (Fig. 4B)ではIHPに吸収値の軽度上昇をみとめるのみである(スコア1)。

4 考 察

従来の高分解能CTを用いた人工内耳適応診断の報告では, 髄膜炎や中耳炎による迷路炎例で高率に内耳骨化が見られたとするものが多い^{5,6,8,9,11}。今回の研究ではTable 3に示すように, 高分解能CTのほか三次元MRIでも, 迷路炎が原因で失聴した例で異常所見が有意に多いことが証明された。迷路炎の病理組織学的検討によれば, 髄膜炎や中耳炎が原因の化膿性迷路炎は, 外リンパ隙に滲出と白血球浸潤が起こるAcute stage, 外リンパ隙に線維芽細胞が増殖するFibrous stage, 蝸牛の基底回転の外リンパ隙に最初に骨化が起きてそれが拡大するOssification stageの3段階に

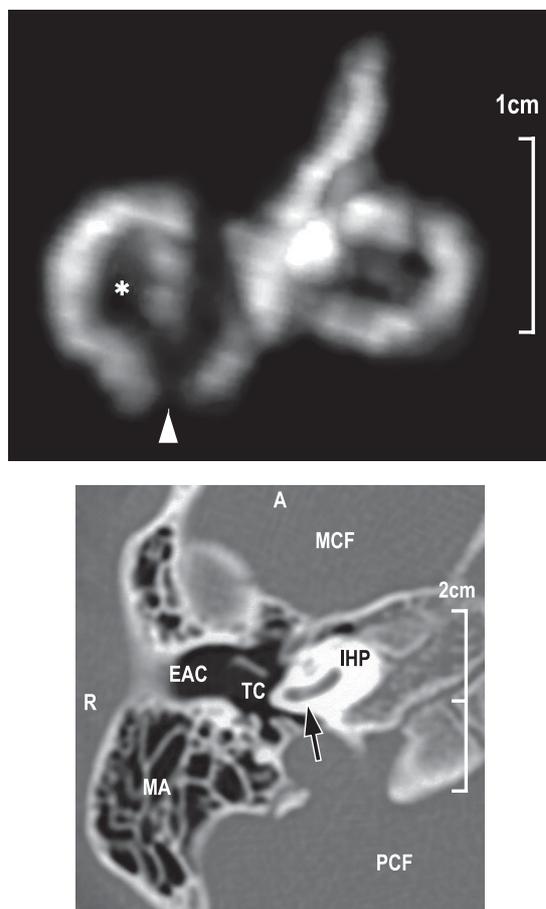


Fig. 4 A 4-year-old girl with meningogenic labyrinthitis. A. Anterior oblique aspect of the right inner ear on 3DMRI shows interruption in the IHP (arrow heads, score=2) and MAT (asterisk, score=2). B. Axial HRCT of the right temporal bone reveals small increased attenuation in the IHP (arrow, score=1). Anterior side (A), right side (R); the tympanic cavity (TC), external auditory canal (EAC), mastoid antrum (MA), middle cranial fossa (MCF), and posterior cranial fossa (PCF).

分類される^{33,34)}。高分解能CTでは、このOssification stageを描出すると考えられるが、Acute stageやFibrous stageの所見は正常のリンパと区別ができないと考えられる。一方で、MRIは正常組織や病的組織の自由水や結合水の多寡を組織コントラストに反映した画像である³¹⁾。迷路内の外リンパや内リンパは自由水が主体であり、従来のSpin Echo (SE) 法によるT2強調画像で高信号を示す^{7,15,16)}。SSFP法によるHeavy T2強調画像は、この自由水の存在をSE法よりも強調する撮像法であり^{19,22,32)}、正常の内耳リンパは高信号を示し、骨化性迷路炎がある場合は内耳の自由水が減じて低信号を示すほか、線維化がある場合も相対的に自由水が減じて低信号を示す。緒言で述べたように、高分解能CTの濃度分解能では検出できない程度の微細な内耳骨化の存在や^{6,8-11,14)}、高分解能CTでは診断できない迷路の線維化が指摘されており⁶⁾、MRIのSE法に

よるT2強調画像での描出が報告されてきた。従って今回の三次元MRIは迷路炎のOssification stageに加えFibrous stageも描出していると考えられる。

この結果に基づき、迷路炎が原因の難聴例について蝸牛の画像所見の領域分析をおこなったところ、蝸牛の基底回転のIHPにおいて、三次元MRIの無信号や低信号が多く、また高分解能CTの骨化や吸収値上昇が多いことが証明された (Fig. 3)。こうした領域は前述の考察から蝸牛に骨化や線維化が生じていると考えられる。病理組織学的報告によれば³³⁻³⁸⁾、髄膜炎は蝸牛小管や内耳道を介して迷路に炎症が波及し、蝸牛小管や内耳道の近傍の鼓室階に骨化が起こるとされる。また中耳炎は正円窓から迷路に炎症が波及し、正円窓の近傍の鼓室階に骨化が起こるとされる。このように蝸牛の炎症は基底回転に始まると考えられており、今回行った蝸牛の画像所見の領域分析結果は病理組織学的傾向を裏付けるもので、炎症の波及経路を推察できたと考えられる。人工内耳の手術では、基底回転のIHPのみの閉塞は、ドリルによる削開を進めることで電極の挿入が可能とされている^{1,2,23,27)}。またこうした閉塞部位の蝸牛内の局在や広がり、高分解能CTで診断する必要性も報告されている。従来にはMRIの異常信号の蝸牛内分布を検討した報告はほとんどないが、今回の研究で行った領域分析は、手術可能例の検討で客観的情報が得られ、有意義であると考えられる。

次に人工内耳の適応診断であるが、一般的な病変検出目的の診断とは異なり、手術に支障のないもの (画像上での正常) を見出すことが主たる目的である。三次元MRIや高分解能CTで異常所見があるときには、人工内耳挿入の機械的障害の可能性があるので、手術を避ける場合が多い。従って無病正診率が高く有病誤診率が低い検査であることが大切である。今回の人工内耳手術施行35例の結果とIHPのスコアの比較 (Table 4) では、有病は1例のみで、また高分解能CTのスコア2で手術された例はなかった。このように有病例が少なく完全な骨化例が除外されたのは、患側を避けて手術を行う目的がある以上、むしろ適確な手術側選択が行われたためである。そこで、Table 4の結果から三次元MRIと高分解能CTの両方でスコア0または1を手術に支障のない所見と考えて、人工内耳適応の診断基準をTable 5に示す。これに従うと無病正診率は94% (29/31)、有病誤診率は0% (0/1)であり、目的に即した検査になる。ただし、高分解能CTのスコア2は蝸牛の骨化や閉塞を意味するので、画像上の絶対的適応外と考える。次に今回の結果をこの基準に再度あてはめ、その診断能をTable 6に提示する。

さて、ここで三次元MRIや高分解能CTにおけるスコア1または2の原因を推察する。三次元MRIではIHPのスコアが1の5耳、IHPのスコアが2の3耳中2耳において、手術で正常に人工内耳が挿入された (Table 4)。いずれも難聴の原因は迷路炎であり、画像の異常所見と内耳の病的

Table 5 Assumed criteria depending on IHP score on 3DMRI and HRCT for cochlear implantation

IHP score	HRCT		
	2	1	0
2	×	—	—
3DMRI 1	×	+	+
0	×	+	+

Note. — Applicable (+), inapplicable (—), and absolutely inapplicable(×).

状態との関連が疑われる。先に述べたように、MRIは組織の自由水や結合水の多寡を画像に反映するので、炎症による蛋白成分の滲出で内耳のリンパの結合水が増加すると、信号強度の違いとして描出される³¹⁾。特にHeavy T2強調画像は、SE法によるT2強調画像に比べて自由水の描出に優れ、結合水の増加で信号が低下する傾向がある。したがって、これらの7耳では人工内耳の電極の挿入に支障がない軽度の線維化や、炎症による内耳リンパの蛋白成分増加などが描出された可能性が高い。今回の診断基準ではIHPのスコア2は手術適応外としたが、以上のように骨化や石灰化や線維化のほか、手術に支障の無い軽度線維化や炎症性浸出液の場合があり得るので、Table 6に示すような無病誤診率が67%で診断能が低い結果となったと考えられる。このためスコア2でも手術する場合があると思われるが、慎重な扱いが必要である。他方、高分解能CTでは11耳中10耳において、IHPのスコアが1であるにもかかわらず、手術では正常に人工内耳が挿入された(Table 4)。それらの難聴の原因は迷路炎が8耳で、特発性が2耳であった。そのうち8耳は撮像スライス厚が1.5mmで、Heavy T2強調画像に比して約2倍のスライス厚であり、蝸牛の基底回転の太さに相当するので、一般的にはpartial volume averaging effectが画像の異常所見の主な原因と思われる。

以上の考察から、結果3・1に示した三次元MRIと高分解能CTの所見の乖離例が説明される。高分解能CTで低いスコアを示し三次元MRIで高いスコアを示した例は、線維化や炎症性滲出液が推測される。逆に、三次元MRIで低いスコアを示し高分解能CTで高いスコアを示した例は、partial volume averaging effectを第一に考慮する必要がある。両検査には相関がみとめられるが、高分解能CTでは検出できない線維化が三次元MRIで描出でき、また三次元MRIで異常信号を示しても、骨化の有無は高分解能CTで評価される。したがって、両者の所見の組み合わせで、骨化や石灰化、線維化や炎症性滲出液といった蝸牛の病態を推測できる。

Eisenbergらは、髄膜炎による内耳炎で失聴した小児において正円窓や鼓室階に骨化が高率に生じており、高度な骨化を有した群では部分的骨化あるいは骨化のない群に比べ、有意に高い電気刺激の最小可聴域値を示したと報告し

Table 6 Diagnostic value of assumed criteria in 32 patients with cochlear implantation

IHP score	HRCT		
	2	1	0
2	— undetermined	33% (1/3) equivocal	— undetermined
3DMRI 1	— undetermined	100% (3/3) reliable	100% (2/2) reliable
0	— undetermined	100% (5/5) reliable	100% (19/19) reliable

ている¹⁾。このように聴覚検査から骨化の程度と内耳障害の程度が相関することが示唆されている。またコルチ器の有毛細胞には、機械的エネルギーを電気的エネルギーに変えて蝸牛神経に伝える役割があり、多くの両側感音性難聴では有毛細胞の変性が認められる²³⁾。人工内耳は、この有毛細胞をバイパスし、機能的に残っているラセン神経節を直接刺激することで、聴力の回復をはかるものである。したがって、このラセン神経節の数が人工内耳手術後の聴力回復と相関があり、その障害と迷路炎との関連が報告されている^{36,37)}。今回の手術例の三次元MRIでの異常所見の臨床的意義については推測の域を出ないが、いずれも迷路炎が原因の難聴であり、内耳の線維化や内耳リンパの成分変化など、炎症の波及を示唆していると思われる。この所見はラセン神経節の障害との関連が予想され、さらに言及すると、Himiらの報告に示されているように、人工内耳手術後の聴力回復の指標のひとつになる可能性がある³⁹⁾。

5 結 語

Heavy T2強調画像による内耳の三次元MRIと高分解能CTにより、骨化や線維化などといった蝸牛の病態評価ができる。迷路炎による難聴例で異常所見を示すことが多く、特に蝸牛の基底回転のIHPに認める傾向がある。三次元MRIで無信号がなく、かつ高分解能CTで骨化がない場合は、人工内耳手術で電極挿入の支障はない。それ以外の場合には、電極挿入で障害を示す可能性があり、領域分析によって病変の局在や分布を明確にすることが手術可能例の検討に役に立つ。

参考文献

1. Eisenberg LS, Luxford WM, Becker TS, House WF. Electrical stimulation of the auditory system in children deafened by meningitis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1984; 92: 700-705.
2. Balkany T, Gantz B, Nadol JB Jr. Multichannel cochlear implants in partially ossified cochleas. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1988; 135: 3-7.
3. 熊川孝三, 武田英彦, 武藤奈緒子, 宮川晃一, 湯川久美子, 船坂宗太郎. CTとMRIによる内耳の画像診断—人工内耳適応診断を中心として—. *日本耳鼻咽喉科学会誌* 1992;

- 95 : 817-824.
4. 熊川孝三. 高度感音難聴耳のMRI. 熊川孝三, 煎本正博編 耳と脳幹・脳神経の最新MRI. 東京: メジカルビュー社; 1991. P.28-34.
 5. Swartz JD, Mandell DM, Faerber EN, Popky GL, Ardito JM, Steinberg SB, Rojer CL. Labyrinthine ossification: Etiology and CT findings. *Radiology* 1985; 157: 395-398.
 6. Jacker RK, Luxford WM, Schindler RA, McKerrow WS. Cochlear patency problems in cochlear implantation. *Laryngoscope* 1987; 97: 801-805.
 7. Harnsberger HR, Dart DJ, Parkin JL, Smoker WR, Osborn AG. Cochlear implant candidates: assessment with CT and MR imaging. *Radiology* 1987; 164: 53-57.
 8. Bath AP, O'Donoghue GM, Holland IM, Gibbin KP. Paediatric cochlear implantation: how reliable is computed tomography in assessing cochlear patency? *Clin Otolaryngol* 1993; 18: 475-479.
 9. Seidman DA, Chute PM, Parisier S. Temporal bone imaging for cochlear implantation. *Laryngoscope* 1994; 104: 562-565.
 10. Frau GN, Luxford WM, Lo WW, Berliner KI, Telischi FF. High-resolution computed tomography in evaluation of cochlear patency in implant candidates: a comparison with surgical findings. *J Laryngol Otol* 1994; 108: 743-748.
 11. Johnson MH, Hasenstab MS, Seicshnaydre MA, Williams GH. CT of postmeningitic deafness: observations and predictive value for cochlear implants in children. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995; 16: 103-109.
 12. Woolford TJ, Roberts GR, Hartley C, Ramsden RT. Etiology of hearing loss and cochlear computed tomography: findings in preimplant assessment. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 1995; 166: 201-206.
 13. Langman AW, Quigley SM. Accuracy of high-resolution computed tomography in cochlear implantation. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1996; 114: 38-43.
 14. Woolley AL, Oser AB, Lusk RP, Bahadori RS. Preoperative temporal bone computed tomography scan and its use in evaluating the pediatric cochlear implant candidate. *Laryngoscope* 1997; 107: 1100-1106.
 15. Laszig R, Terwey B, Battmer RD, Hesse G. Magnetic resonance imaging and high resolution computer tomography in cochlear implant candidates. *Scand Audiol Suppl* 1988; 30: 197-200.
 16. 煎本正博. MRIによる内耳の描出—人工内耳術の適応決定への応用—. *日本医学放射線学会雑誌* 1991 ; 51 : 529-537.
 17. Klein HM, Bohndorf K, Hermes H, Schutz WF, Gunther RW, Schlondorff G. Computed tomography and magnetic resonance imaging in the preoperative work-up for cochlear implantation. *Eur J Radiol* 1992; 15: 89-92.
 18. Tien RD, Felsberg GJ, Macfall J. Fast spin-echo high-resolution MR imaging of the inner ear. *AJR Am J Roentgenol* 1992; 159: 395-398.
 19. Stillman AE, Remley K, Loes DJ, Hu X, Latchaw RE. Steady-state free precession imaging of the inner ear. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 348-350.
 20. Takehara Y, Ichijo K, Tooyama N, Kodaira N, Fujiwara T, Nozaki A. Three-dimensional projection images of the labyrinth acquired with multislab 3DFT fast spin-echo sequence and dual-array surface coil. *AJR Am J Roentgenol* 1995; 165: 645-646.
 21. Arnold B, Jager L, Grevers G. Visualization of inner ear structures by three-dimensional high-resolution magnetic resonance imaging. *Am J Otol* 1996; 17: 480-485.
 22. Casselman JW, Majoor MHJM, Albers FW. MR of the inner ear in patients with Cogan syndrome. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 131-138.
 23. Swartz JD, Harnsberger HR. Imaging of the temporal bone. 3rd ed., New York: Thieme Medical Publishers, Inc.; 1998. p.308-310.
 24. Weissman JL. Hearing loss. *Radiology* 1996; 199: 593-611.
 25. Arriaga MA, Carrier D. MRI and clinical decisions in cochlear implantation. *Am J Otol* 1996; 17: 547-553.
 26. Guirado CR, Martinez P, Roig R, Miroso F, Salmeron J, Florensa F, Roger M, Barragan Y. Three-dimensional MR of the inner ear with steady-state free precession. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995; 16: 1909-1913.
 27. 熊川孝三. 人工内耳手術の実際と問題点. *JOHNS* 1995 ; 11 : 551-557.
 28. Kubik S, Banfai P. Applied anatomy of the cochlea for the purpose of the cochlear implant technique. *Acta Morphol Hung* 1990; 38: 179-187.
 29. 市原清志. バイオサイエンスの統計学. 東京: 南江堂; 1990. p.124-131.
 30. 柏木力. 医学統計解析. 東京: 朝倉書店; 1979. p.60-77.
 31. Mitchell DG, Burk DL, Vinitzki S, Rifkin MD. The biophysical basis of tissue contrast in extracranial MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 1987; 149: 831-837.
 32. Silberman B, Garabedian EN, Denoyelle F, Moatti L, Roger G. Role of modern imaging technology in the implementation of pediatric cochlear implants. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1995; 104: 42-46.
 33. Paparella MM, Sugiura S, Minn M. The pathology of suppurative labyrinthitis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1967; 76: 554-586.
 34. Schuknecht HF. Pathology of the ear. Cambridge, Mass.: Harvard University Press; 1974. p.241-247.
 35. Henneford GE, Lindsay JR. Deaf-mutism due to meningogenic labyrinthitis. *Laryngoscope* 1968; 78: 251-261.
 36. Merchant SN, Gopen Q. A human temporal bone study of acute bacterial meningogenic labyrinthitis. *Am J Otol* 1996; 17: 375-85.
 37. Lu CB, Schuknecht HF. Pathology of prelingual profound deafness: magnitude of labyrinthitis fibro-ossifi-

- cans. Am J Otol 1994; 15: 74-85.
38. Jang CH, Merchant SN. Histopathology of labyrinthine fistulae in chronic otitis media with clinical implications. Am J Otol 1997;18: 15-25.
39. Himi T, Akiba H, Yamaguchi T. Topographic analysis of inner ear lesions in profoundly deafened patients with tympanogenic and meningogenic labyrinthitis using three-dimensional magnetic resonance imaging. Am J Otol 1999; 20: 581-586.
-

別冊請求先:

〒060-8556 札幌市中央区南1条西17丁目
札幌医科大学医学部放射線医学講座 秋葉英成