

## 耳小骨連鎖の可動性に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 渋谷, 和郎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/9123">http://hdl.handle.net/2297/9123</a>

## 耳小骨連鎖の可動性に関する研究

金沢大学医学部耳鼻咽喉科学講座 (主任: 古川 俊教授)

渋谷 和 郎

種々の中耳疾患における、聴力改善を目的とした耳科手術を行う場合、個々の症例の耳小骨連鎖の状態の如何を知ることは大変重要であるが、既存の諸検査では直接耳小骨の病態像を評価することはできなかった。そこでツチ骨柄先端 (鼓膜膈部) を直接押し込み、この押し込んだ距離とその時かかる荷重を同時に読みとることができる装置を開発し、正常ならびに鼓膜穿孔耳を含む種々の中耳疾患に対し検討した。微小荷重測定器と変位測定器をマイクロコンピュータに組み込み、プローブを接続して顕微鏡下で測定できるよう工夫した。各々の測定器からの出力を X-Y レコーダにてグラフ化した。比較検討範囲を 0.5~4gf とし、この範囲における回帰直線 (荷重/距離, gf/mm) を本研究のパラメータとした。正常者10名を測定したところ、平均値10.05, 標準偏差2.17を得た。種々の疾患については、単純穿孔性中耳炎や耳硬化症等では正常者との有意差を認めず、鼓室硬化症や真珠腫による上鼓室骨化等では固着性の有意差を、外傷性耳小骨離断や真珠腫による耳小骨破壊等では離断性の有意差を認めた。この検査は鼓膜切開術と同要領に外来にて局所麻酔下に簡単に行うことが出来る上、耳小骨の状態を直接評価できる為、手術術式を考える上でも非常に有用であった。

**Key words** displacement transducer, eardrum perforation, load transducer, ossicular mobility analyzer

中耳手術を手がけるものにとって、中耳の伝音機構に精通することは、伝音連鎖再建を考える上で必須である。

中耳疾患に対し手術を行う目的は様々であるが、聴力改善はその中で最も大きなテーマであり、患者の期待は大きい。その聴力改善の成否を握る要因の一つに、術前に如何に耳小骨の状態を知るかが挙げられる。しかし、耳小骨連鎖の状態を考えるにあたってのこれまでの術前検査は貧相なものであるといわざるをえない。例えばオージオグラムは実際の聴力、気導骨導差などの情報は多いものの、耳小骨の状態についてはわずかに硬化型聴力曲線 (stiffness curve) が知られているのみであり、また自覚的検査だけに患者本人の要素が入るといふ不確定な面が大きい。コンピュータ断層撮影法 (computed tomography, CT) は肉眼的可視範囲以外の中耳についても多大な情報を我々に与えるが、耳小骨自体が小さいため、細かい部分、例えば脚の欠損などを十分に描出することは不可能である。外来でよく行われるペーパーパッチによるパッチテストも小さな穿孔に対しては有効で確実であるが、中~大穿孔となると検者の技量に左右されたり、施行不能となることも多い。インピーダンスオージオメトリー法は鼓膜穿孔があると耳小骨の状態を反映することは出来ない。

鼓膜や耳小骨の振動様式についての研究はこれまでかなりなされている。Brenkman ら<sup>1)</sup> は磁場を応用した超伝導量子干渉装置 (superconducting quantum interference device, SQUID) によって、Tonndorf ら<sup>2)</sup> はホログラムを用いて、Goode ら<sup>3)</sup>、Knudsen ら<sup>4)</sup>、Løkberg ら<sup>5)</sup> はレーザーによって、また有友<sup>6)</sup>、Gyo ら<sup>7)</sup> は独自の耳小骨振動画像解析装置 (video monitoring

system, VMS) を開発し、鼓膜や耳小骨の微細な振動の仕組みを解析している。しかし、これらはどれも耳疾患のない正常の生体または死体の中耳に対して検索されたものであり、実際の耳疾患に対しては検討されていない。

そこで本研究では個々の症例の耳小骨の可動性を知る目的で独自の耳小骨可動度解析装置 (ossicular mobility analyzer, OMA) を作製し、正常例も含め様々な耳疾患に対し検討を行った。

## 対象および方法

## 1. 実験装置, 実験手順

本研究用に新しく開発したシステムについて述べる。ブロックダイアグラムを図1に示す。

## 1. 計測機器群

マイクロコンピュータ M-4N (成茂科学器械研究所, 東京) をベースとして用いた。このコンピュータは X, Y, Z の三次元の微小移動が可能であり、各々操作ハンドルにて独立運動が出来る。まずコンピュータのピペットホルダー支持部に微小荷重トランスデューサ LVS-50GA (共和電業, 東京) を固定した。固定にあたってはコンピュータの Z 軸駆動方向とトランスデューサの感度方向が一致するようにした。さらに Z 軸方向へ動かした距離 (今後これを移行距離と呼ぶ) を計るために自作金属プレートを通して変位トランスデューサ 9E08-D3 (NEC 三栄, 東京) をコンピュータに固定した。荷重トランスデューサには後述する計測用プローブが固定されており、これが直接耳小骨 (ツチ骨柄先端) を押す部分となる。つまりマニ

平成6年12月16日受付, 平成7年2月15日受理

Abbreviations: COM, chronic otitis media; CT, computed tomography; EAM, external auditory meatus; OMA, ossicular mobility analyzer

ピュレータのZ軸用操作ハンドルを回すことによりこれと一体化した荷重トランスデューサがZ軸方向にわずかづつ前進し、さらに荷重トランスデューサに直結されたプローブが耳小骨を変位させる。この時プローブにかかってくる荷重を荷重トランスデューサが読みとると同時に、変位させた距離を変位トランスデューサが測定する仕組みとなっている。各々の測定器からの信号はストレンアンプ ASI202 (NEC 三栄) を介して増幅され、X-Y レコーダ 8U16-L (NEC 三栄) によって記録することとした。

## 2. 計測用プローブ

プローブの開発にあたって、耳小骨の回転軸と外耳道との関係が問題となった。耳小骨の回転軸は外耳道とある程度の角度

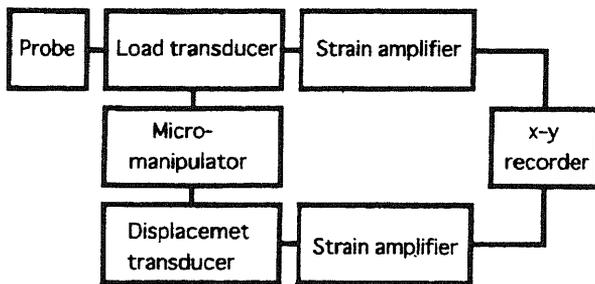


Fig. 1. The block diagram of the ossicular mobility analyzer. The probe is directly connected with the load transducer. The load transducer and displacement transducer are combined with the micromanipulator.

をなしている<sup>10)</sup>。つまり、単に真直なプローブを外耳道に沿って挿入したのでは、耳小骨を外耳道と同方向に変位させることになってしまうが、耳小骨を変位させる方向は、耳小骨回転軸に出来る限り垂直になるよう設定するのが望ましい。まず、この耳小骨回転軸と外耳道とのおりなす角度について検討した。

### 1) CT による検討

慢性中耳炎術前検索のために撮影された CT18 例を用いて検討した (図 2)。一番広く外耳道が写っているスライスにおいて、外耳道前壁の異なる二点 AA' をとり、各々から垂線をおろし後壁と交わる点 BB' 迄の中点 CC' を結び、今回これを外耳道の軸とした。

篠原ら<sup>11)</sup>は、耳小骨の回転軸は鼓膜、耳小骨の重量等を考慮すると、前ツチ骨靭帯と後キヌタ骨靭帯を結ぶ線上にあると述べている。これは CT 上ではツチ、キヌタ骨の上部構造が一番大きく写っているスライスにおいて、ツチ骨頭前端とキヌタ骨体後端を結ぶ直線とはほぼ一致する。今回はこれを耳小骨回転軸とし、前述の外耳道の軸との角度を測定した。計測は CT 画像をコンピュータに取り込み解析用ソフトウェアを用いた。各々の CT につき 3 回計測し、平均値をその症例の持つ角度とした。

計測の結果を表 1 に示す。今回の検討では平均 54.0 度、標準偏差 5.80 が得られた。つまり、外耳道軸と耳小骨回転軸とは約 50 度の角度があることがわかる。このことは同時に、外耳道から挿入されたプローブは外耳道軸と 50 度の角度をもって耳小骨を変位させる必要があることを意味する (図 3)。

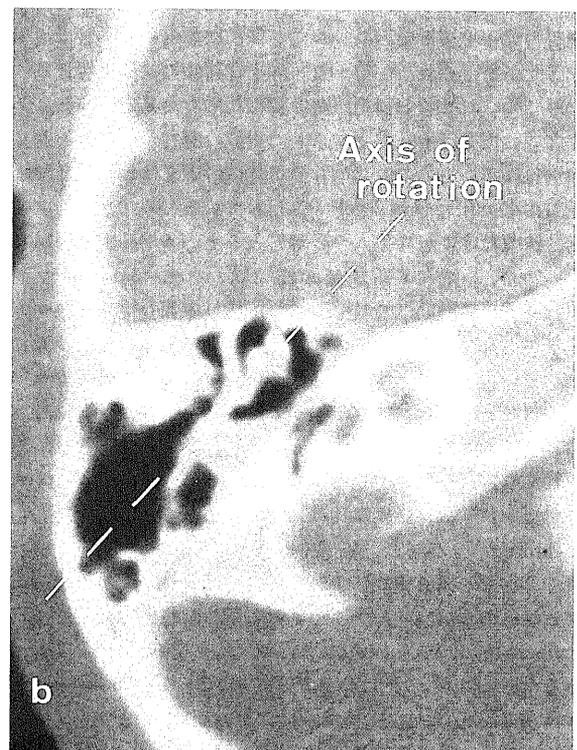


Fig. 2. The axis of EAM (a) and the axis of ossicular rotation (b). At first, two different points (AA') were adopted on the anterior wall of EAM, then a perpendicular line from each point were drawn to the posterior wall to get the intersection points (BB'). A dashed line was then drawn passing C and C', the midpoints of lines AB and A'B' respectively. This line was regarded as an axis of EAM. The axis of ossicular rotation was fixed as a line which passes the foremost point of the malleus head and the rearmost point of short process of the incus.

2) プローベ

そこで上記の目的にかなうプローベを自作した。鼓膜切開刀のデザインを参考にし、必要な角度をもたせた。図4の如く接触部A、外耳道部B、ロードセルとの接合部Cに分けられ、AとCは平行になっており、これはそのままロードセルの感度方向となる。Bは外耳道に沿って挿入させる部分である。Cにはナットを溶接し、ロードセルとは径2mmのボルトで固定することとした。右耳用、左耳用の2本のプローベを用意した。

3) 支持装置

これらの一塊となった計測機器群を磁石固定式支持台 GJ-1 (成茂科学器械研究所) に図5の如く固定した。これにより調節ハンドルHをゆるめることで計測装置を上下、左右、首振りなどいかなる方向にも自由に動かすことが出来、またHを締め付けることで十分な固定力が得られた。またこの支持台も磁石の圧着、解放がレバー(L)の操作一つで行えるため、解放時には磁石の影響なく支持台固定用鉄板 SG-1 (成茂科学器械研究所) の上をスムーズに動かすことが出来る。つまり、目的の部位まで計測装置を移動させ、挿入角度、方向を決定する事が容易な上、調節ハンドルHを締め付けLを固定することにより、十分な計測装置の固定を得ることができるわけである。

局所麻酔下での計測手順を示す。ベット上に固定用鉄板を置き、頭部 CT スキャン時に使用する頭部固定用の発泡スチロールをのせ、被検者を仰臥位とし、頭部を固定する。鉄板と発泡スチロールはマジックテープで留められている(強すぎる固定はかえって危険である)。やや検側と反対方向を向かせ、安静を指示する。外耳道に耳鏡を挿入し顕微鏡にて観察し、鼓膜臍を明視下におき、耳鏡を自作の固定器によって固定する。計測装置を外耳道入口部まで近づけ挿入方向を決定した上で、微調整をしながらプローベの先端を鼓膜臍直前まで持っていき全てを

固定する。最終的な臍へのプローベ先端の微調整は、マニピュレータのX軸、Y軸用操作ハンドルによって行うことが出来る。

外耳道入口部よりプローベを挿入してからの一切の操作は全て顕微鏡下に行った。外耳道異常などで鼓膜臍部が明視出来ないものや、検査内容を理解できない小児、固定までの段階で恐怖感を訴えるものは除外した。全身麻酔下での計測もほぼ同様であるが、これには小児例も含まれている。計測風景を図6に、また計測状態を図7に示す。

II. 実験対象

中耳疾患の既往がなく、健康なボランティア10例(男性6例、女性4例、年齢22~35歳、平均27.0歳)を正常群とした。また、金沢大学医学部付属病院および関連病院耳鼻咽喉科を受診し中耳疾患を指摘された39例(男性21例、女性18例、年齢7~68歳、平均41.3歳)を疾患群とした。疾患の内訳は慢性中耳炎(非真珠腫)、真珠腫性中耳炎、癒着性中耳炎、耳硬化症、鼓室硬化症、外傷性耳小骨離断等多岐にわたった。全身麻酔下手術となった34症例は麻酔導入後に検査を施行した。その他は外来にて局所麻酔下(ツェンテールまたは4%キシロカイン)に行った。今回は特に手術となり、耳小骨の状態を確認しえたものを中心に検討することとした。

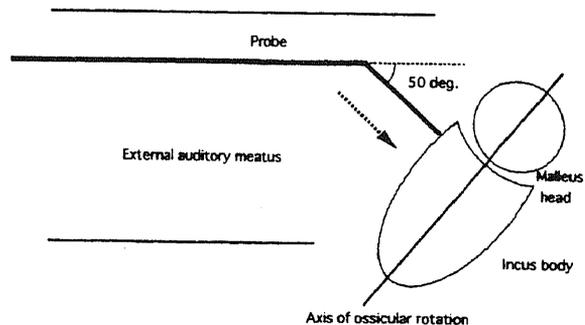


Fig. 3. The relationship between the direction of probe movement and the axis of ossicular rotation. The direction of probe movement (dotted arrow) should be the right angle to the axis of ossicular rotation.

Table 1. The angle between the axis of external auditory meatus and the axis of ossicular rotation measured by CT scan

Patient number	The angle (degree) measured from CT Scan			$\bar{x}$
	1st	2nd	3rd	
1	49	45	42	45.3
2	53	50	48	50.3
3	45	47	45	45.7
4	48	46	52	48.7
5	54	60	56	56.7
6	62	62	61	61.7
7	54	50	54	52.7
8	46	52	50	49.3
9	58	55	61	58.0
10	51	47	51	49.7
11	50	49	47	48.7
12	60	68	67	65.0
13	55	48	62	55.0
14	51	51	50	50.7
15	63	61	59	61.0
16	58	61	59	59.3
17	59	61	56	58.7
18	57	53	55	55.0
$\bar{x}$	54.1	53.7	54.2	54.0
S.D.				5.80

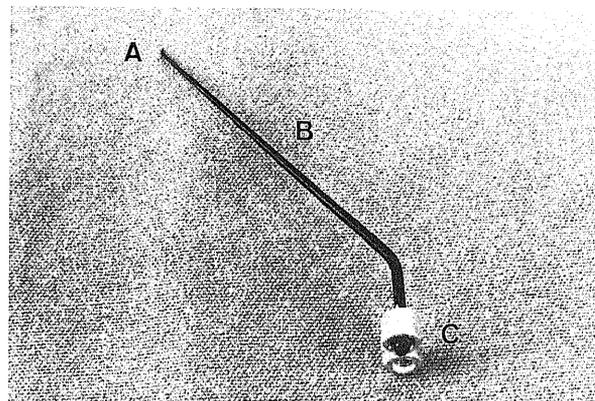


Fig. 4. The probe designed for this study. The part A is parallel to the part C, and the part B is inserted along the external auditory meatus. This photograph shows a probe for the test in the left ear. The symmetrical probe has also made for the right ear.

### Ⅲ. 実験項目, 解析方法

プローベの先端が鼓膜臍に接触し耳小骨を変位させた距離と、その時にかかる荷重について検討した。圧トランスデューサの分解能は 0.013gf, 変位トランスデューサの分解能は 0.010mm であり, 今回の計測には十分な精度と思われる。

各変換器からのデータは X-Y レコーダにてグラフ化される。

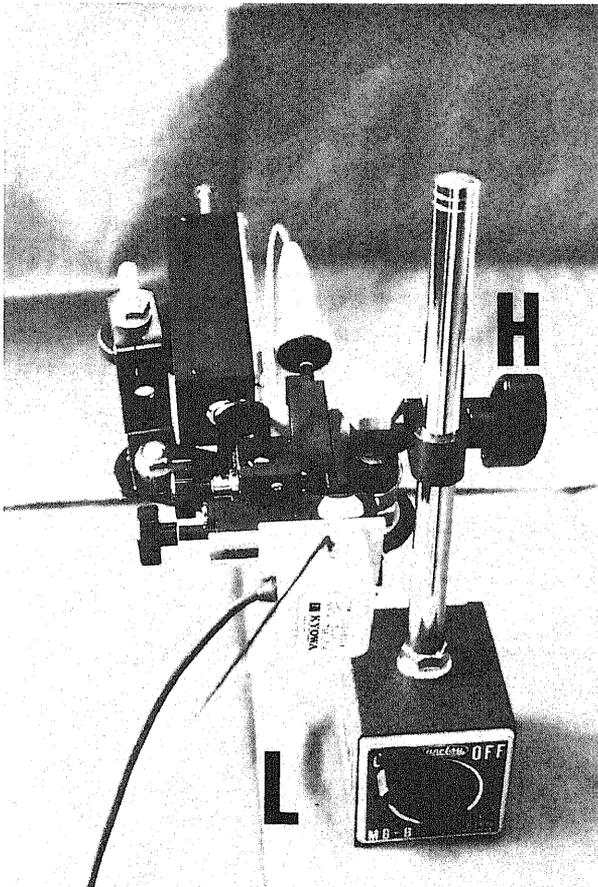


Fig. 5. The ossicular measuring apparatus set up and fixed to the supporting instrument. By loosening the handle H, this apparatus is able to move freely, but it is completely unperturbed, once the handle H is fastened tightly.

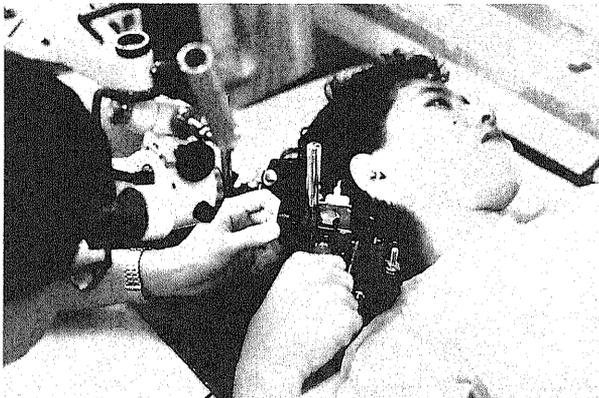


Fig. 6. The view of examination. This examination can be performed easily in an outpatient room under local anesthesia.

今回は縦軸に荷重を, 横軸に移行距離をとり, 実測値をプロットした。

後述する理由のため, 本研究では 0.5~4gf の荷重範囲における実測線について検討することとした。この荷重区間の任意の 10 点を取り, 基準点 (後述する) からの荷重, 移行距離を算出し, グラフ化すると同時に同区間での回帰直線を求め, その傾き (gf/mm) を本研究のパラメータとした。つまり, 例えば耳小骨が固着し可動制限がある場合には, 傾きは大きくなり, 耳小骨離断によって可動性が増している場合にはその傾きは小さくなるのが推定される (図 8)。

曲線の検討範囲を 0.5~4gf と設定したのは次の理由からである。本来ならば鼓膜臍部への接触開始点を基準点とし, ここからの各点をとれば理想的なのだが, 疾患によっては臍部の鼓膜が肥厚し, 鼓膜臍の押し始めが必ずしも耳小骨の動き始めではないことが実験を進めるにあたってわかってきた。つまり図 9a の如く直接プローベがツチ骨柄先端をとらえた場合, その



Fig. 7. The enlarged telescopic view of examination through the ear speculum. The probe is about to touch the malleus manubrium.

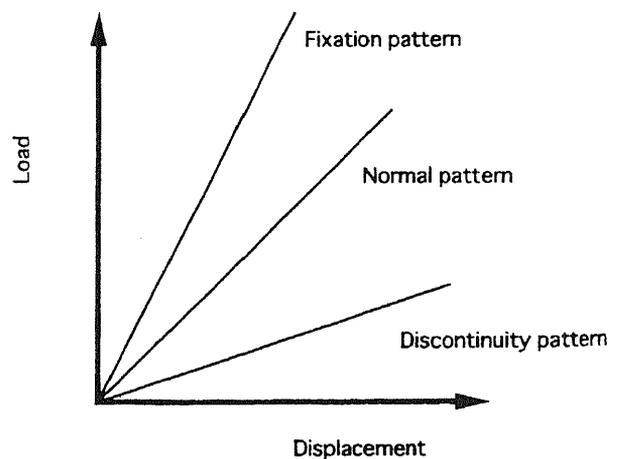


Fig. 8. The schematic drawing of the relationship between the "load" and the "displacement" in three categories of ossicular mobility, the normal, fixation and discontinuity states. The slope should become steeper for a patient whose ossicular bones are more "fixed" than the normal ones, while it becomes gentle for a patient whose bones are more easy to move.

点からの急激な立ち上がりとなってグラフ上に現れるが、肥厚鼓膜がある場合には図 9b の R の部分の如く立ち上がりまでにくだらかな勾配となって現れる。この R の現れ方も症例によって異なるため、正常例を除いて距離による「基準点」をとることは不可能と考えられた。よって、いずれの症例にても立ち上がりとしてはっきりする、「荷重が 0.5gf とする点」を今回は基準点とした。

更に耳小骨離断の頁にても述べるが、ある程度以上の荷重では鼓膜の張力の影響が見れるため、上限は諸症例から検討した上で 4gf とした。

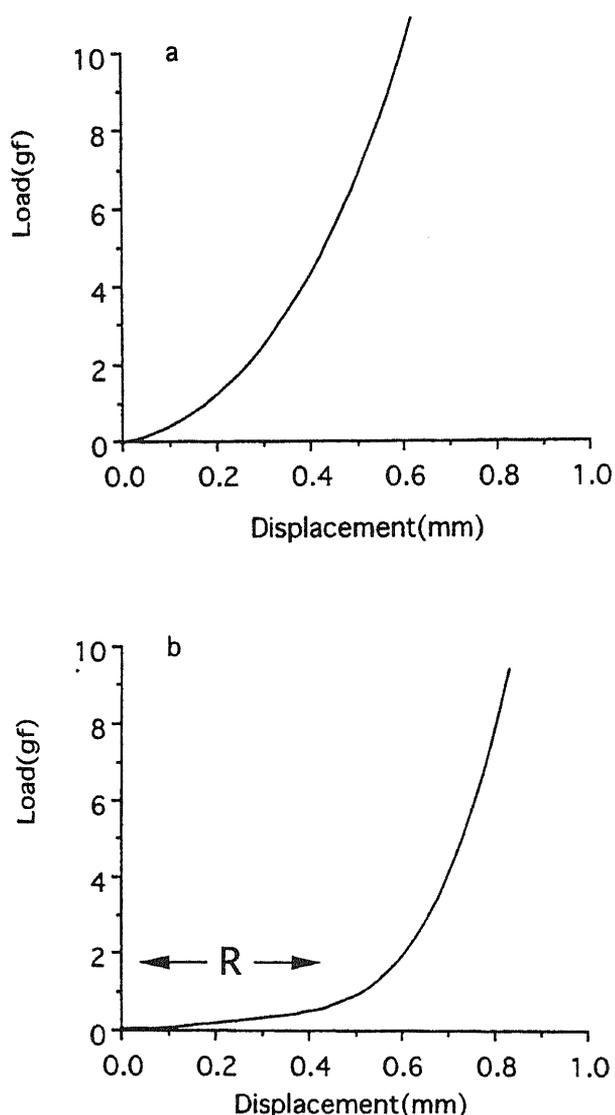


Fig. 9. Two cases of the load-displacement relationship for normal ossicular mobility. If the eardrum thickness at the umbo is normal (a), like a person who has never suffered from ear diseases, the manubrium begins to move when the probe has just touched. On the other hand, if the eardrum has become thick at the umbo, just like with long-term chronic otitis media (b), the ossicular bone does not move immediately after probe touching (shown by the section R).

## 成 績

### I. 予備実験

#### 1. 押し込み角度の差について

市販されているバネを壁面に固定し、計測装置にて左30度、右30度、正面の三方向から押し込みを行った。いずれも3回ずつ計測し、またバネ係数の違う別のバネを用いての計測も行った。結果はいずれのバネにおいても角度による有意差を認めなかった。

#### 2. プローベの「しなり」について

今回使用したプローベ自体がどれほど「しなる」かを知るために、固定された一点に対する押し込み実験を行った。押し込み方向は荷重ロードセルの感度方向とした。結果は図10の如く傾き 202.5gf/mm が得られた。これは後述する各群の計測結果に対して十分無視できる数値と思われた。

### II. 実験成績

測定群を9群に分けた。すなわち、1) 正常群、2) 慢性中耳炎連鎖正常群、3) 慢性中耳炎連鎖固着群、4) 真珠腫性中耳炎連鎖正常群、5) 真珠腫性中耳炎連鎖固着群、6) 真珠腫性中耳炎連鎖破壊群、7) 癒着性中耳炎群、8) 耳硬化症群、9) 外傷などによる連鎖離断群である。各群の定義については各々の項目で述べることとする。

今後述べる平均値、最大値、最小値は全て回帰直線の傾きを示しており、単位は gf/mm である。

今回測定した各群のうち、正常群は正規分布に従うと考えられるものの、その他の群は症状の程度が症例によって異なるため、いずれの群も正規分布には従わない。そのため有意差検定には、ノンパラメトリック検定のうち2群間対応のない場合に用いる Mann Whitney のU検定を用いることとした。なお、 $p \leq 0.05$  を有意差ありとした。以下疾患群ごとに提示する。

#### 1. 正常群

これまでに中耳炎等耳疾患の既往がなく、聴力正常な10名10耳を正常群とした。本人に中耳炎罹患の記憶がなく、また聴力が正常な場合でも、鼓膜三標識が確認できないなど視診上何らかの異常が認められたものは除外した。全例ティンパノグラム

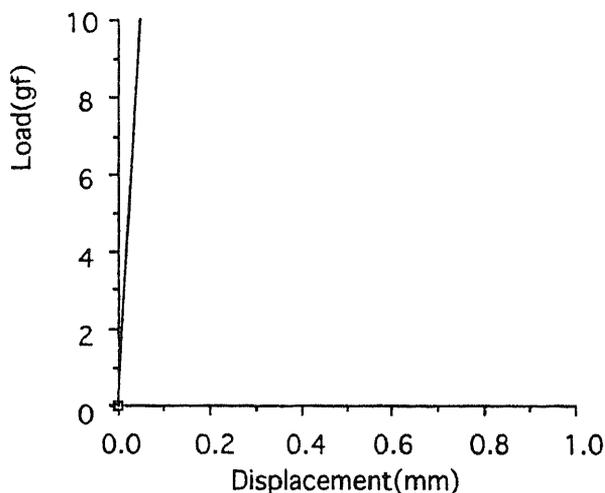


Fig. 10. The warp ratio of the probe. It is much larger than any other practical data, so we can ignore the warp of the probe now.  $y = 202.51x$ .

はA型, 静的コンプライアンス (static compliance) は正常であった。

測定結果を表2に示す。平均値10.05, 最大値12.77, 最小値7.04, 標準偏差2.17を得た。また正常者の実際の計測曲線の一例を図11に示す。

## 2. 慢性中耳炎連鎖正常群

鼓膜穿孔があるが, 手術的に非真珠腫であり, 耳小骨やその周囲に著しい異常を認めない16例(男性8例, 女性8例)をこの群とした。鼓膜穿孔の位置や大きさ(今回は鼓膜面積の1/4未満を小穿孔, 1/4以上1/2未満を中穿孔, 1/2以上を大穿孔と定義する), 残存鼓膜や鼓室粘膜の肥厚程度は症例によって様々であったが, 全例耳小骨に異常のないことを手術的に確認している。一例を示す。

K. M. 58歳, 女性(表3にて症例 No. 5)

右鼓膜緊張部に中等度穿孔があり, CTで上鼓室と乳様洞に軟部組織陰影を認めた。聴力検査で気骨導差は39dB(4分法)と大きかった。ペーパーパッチによる閉鎖は不十分であった。OMA実測値は7.99とほぼ正常の値が得られた。手術所見では, 軟部組織陰影は真珠腫でなく肉芽組織であり, 耳小骨は保たれており連鎖も正常で特に可動性異常も感じられなかった。

本群の計測結果を表3に示す。平均値10.16, 最大値13.70, 最小値7.15であり, 参考までの標準偏差は1.97となった。有意

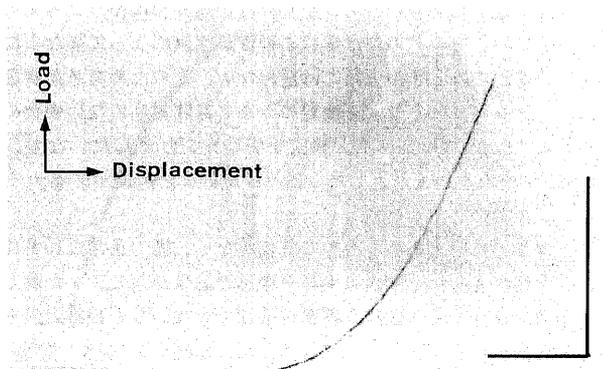


Fig. 11. The real curved line obtained by one of the volunteers with normal hearing. The vertical axis shows the "load" and the horizontal axis shows the "displacement". Vertical bar=5 g. Horizontal bar=0.5 mm.

Table 2. Results of OMA in normal subject

Volunteer number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	F	7.055
2	F	12.212
3	M	11.038
4	M	7.040
5	F	11.499
6	F	11.981
7	M	12.772
8	M	8.172
9	M	10.161
10	M	8.596

M, male; F, female; OMA, ossicular mobility analyzer.

差検定にて, 正常群との間に有意差は認められなかった( $p=0.92$ ).

## 3. 慢性中耳炎連鎖固着群

鼓膜穿孔があり, 手術的に真珠腫ではないことを確認したものの, 耳小骨や残存鼓膜に著明な石灰沈着や骨化を見る, いわゆる鼓室硬化症を伴う症例をこの群とした。一症例を呈示する。

N. O. 7歳, 男性(表4にて症例 No. 1)

術前の視診所見では鼓膜緊張部の中穿孔と残存鼓膜の石灰化が著明であった。術中所見では耳小骨周囲にも強い石灰化があり, 耳小骨の可動性は妨げられていた。CTではこの耳小骨の障害をとらえることは出来なかった。この症例でのOMAの計測結果は16.18であり, 固着性の可動障害があることをうかがわせた。

この群には3例(男性2例, 女性1例)が該当した。測定結果を表4に示す。この群は平均値21.54, 最大値28.71, 最小値16.18であり, 有意差検定において正常群との間に有意差を認めた( $p=0.011$ ).

## 4. 真珠腫性中耳炎連鎖正常群

弛緩部型真珠腫または緊張部型真珠腫であるが, 手術的に耳小骨に異常がないか, またはややカリエスや変形を認めるものの, 耳小骨連鎖は残存しており, かつ著しい可動性異常を術者

Table 3. OMA data, size of perforation and air-bone gap in the patients of COM with eardrum perforation

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)	size of TM perforation	A-B gap (dB)
1	M	8.908	Large	8.75
2	M	10.786	Middle	6.25
3	F	10.646	Middle	12.50
4	F	9.080	Large	7.50
5	F	7.991	Small	11.25
6	M	7.150	Large	17.50
7	F	7.430	Large	7.50
8	F	13.477	Middle	16.25
9	F	11.094	Middle	11.50
10	F	9.892	Large	37.50
11	M	11.725	Small	5.00
12	M	12.474	Middle	12.50
13	M	13.702	Large	13.75
14	M	9.686	Small	22.50
15	F	9.154	Small	27.50
16	M	9.481	Small	15.00

COM, chronic otitis media; TM, tympanic membrane; A-B gap, air bone gap. Cholesteatoma cases are not included in this category. Ossicular mobility of all cases is not restricted.

Table 4. OMA data, size of perforation and air-bone gap in the COM patients with ossicular fixation

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)	size of TM perforation	A-B gap (dB)
1	M	16.175	Middle	15.00
2	M	19.746	Middle	23.75
3	F	28.712	Small	20.00

Cholesteatoma cases are not included in this category.

が感じなかったものをこの群とする。その一例を示す。

T. Y. 42歳男性 (表5にて症例 No. 2)

典型的な弛緩部型真珠腫であり、鼓膜張部は正常、上鼓室側壁の破壊が見られるもののCTでは耳小骨上部構造は正常であった。術中所見では耳小骨の破壊は見られず、連鎖も正常であったが、真珠腫の上皮がキヌタ骨の短脚から体部にかけて覆い、真珠腫内容物がこの部位を圧排していたことをうかがわせた。

この群には4例が該当し (男性2例、女性2例)、平均値14.58、最大値15.71、最小値13.51であった (表5)。全例が弛緩部型真珠腫であった。有意差検定では、正常群に対して  $p=0.005$  と、有意差が認められた。

#### 5. 真珠腫性中耳炎連鎖固着群

弛緩部型真珠腫または緊張部型真珠腫であり、手術的に上鼓室内に著しい鼓室硬化症を認めるために耳小骨の可動性制限があったものをこの群とする。本群の一例をまず呈示する。

M. O. 40歳、男性 (表6にて症例 No. 2)

視診上弛緩部に真珠腫を見るが、緊張部鼓膜は正常である。CTでは上鼓室に限局性の軟部組織陰影があるものの、耳小骨周囲は正常であった。聴力検査にて気導閾値61dBの混合性難聴を見た。

この例でのOMA測定結果は20.46と、正常平均を大きく上回っていた。手術所見ではキヌタ骨体部周囲に強い鼓室硬化症が認められ、高度の耳小骨の可動制限があった。

本群には2例 (男性2例) が該当し (表6)、平均値19.06、各々の実測値は20.46、17.66であった。同様の検定にて正常群とは有意差を認めた ( $p=0.032$ )。

#### 6. 真珠腫性中耳炎連鎖破壊群

弛緩部型真珠腫または緊張部型真珠腫であり、手術的に耳小骨のカリエスや消失を認め、耳小骨連鎖が残存しないものをこの群とした。3例 (男性1例、女性2例) が該当した。一例を示す。

M. O. 19歳、男性 (表7にて症例 No. 1)

鼓膜弛緩部に真珠腫を認め、CTでは上鼓室から乳様洞に軟部組織陰影を見るが、骨破壊の有無に関しては不明瞭であった。聴力検査で20dBの伝音性難聴を認めた。本例の計測結果は6.19であった。術中所見はツチ骨やツチキヌタ関節は正常

なもの、キヌタ骨の短脚、長脚、アブミ骨の上部が欠損し、完全な耳小骨離断の状態であった。

この群の測定結果のまとめを表7に示す。平均値5.68、最大値6.19、最小値5.10であった。有意差検定では正常群との間に  $p=0.011$  と、有意差を認めた。

#### 7. 癒着性中耳炎群

鼓膜穿孔はないものの、鼓膜は内陥が著しく耳小骨ないし岬角にその一部または全部が癒着し、耳小骨の変位を強く認めるものをこの群とした。癒着の程度は石井<sup>10)</sup>の分類にて1-3度から1-4度と比較的高度であった。一例を示す。

K. N. 25歳、男性 (表8にて症例 No. 2)

左鼓膜は強く内陥し青色鼓膜であった。CTでは上〜中鼓室に軟部陰影の充満を見た。聴力検査で気骨導差は18dBとそれほど強いものではなかった。手術所見ではコレステリン肉芽などは見られず、粘性耳漏の貯留のみであったが、鼓膜は内陥した張部が岬角に癒着していた。本例の計測結果は25.19と、強い固着型を示した。

この群には4例 (男性3例、女性1例) が該当した (表8)。平均値21.85、最大値25.19、最小値19.29と、平均値は全群の中で最大であった。有意差検定では  $p=0.005$  と正常群との間に有意差が認められた。

#### 8. 耳硬化症群

手術的にアブミ骨底の固着が確認されたもの5例 (男性2例、女性3例) に対して検討した。一例を示す。

S. S. 18歳、男性 (表9にて症例 No. 1)

左耳に約35dBの伝音性難聴を見る。鼓膜所見は正常であり、CTでも特に異常を見ない。静的コンプライアンスは正常であった。術中所見ではアブミ骨底の固着を確認した。

この群の測定結果は平均値10.05、最大値13.33、最小値6.86であり (表9)、有意差検定では  $p=0.807$  と正常群との有意差を認めなかった。

#### 9. 連鎖離断群

外傷などで従来の諸検査から耳小骨連鎖離断 (真珠腫での骨破壊による離断を除く) を疑われた2例 (男性1例、女性1例) をこの群とした。一例をまず提示する。

Table 5. The data of OMA measurement in the patient of cholesteatoma with intact ossicular chain

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	F	13.512
2	M	15.707
3	M	14.181
4	F	14.922

Table 6. Result of OMA in patients of cholesteatoma with ossicular fixation

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	M	17.662
2	M	20.461

Table 7. OMA data in patients of cholesteatoma with ossicular discontinuity

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	M	6.192
2	F	5.757
3	F	5.100

Table 8. Result of OMA measurement in patients of adhesive otitis media

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	F	19.289
2	M	25.189
3	M	23.481
4	M	19.443

Table 9. Result of OMA measurement in patients of otosclerosis

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	M	10.997
2	F	9.169
3	M	9.885
4	F	6.857
5	F	13.326

Table 10. OMA data in the patients categorized in "ossicular discontinuity"

Patient number	Sex	OMA data (gf/mm)
1	M	4.915
2	F	5.217

One patient (No. 1) has not undergone an operation yet.

Y. T. 33歳, 女性 (表10にて症例 No. 2)

自宅で耳掃除をしていたところ, 子供の投げたものがあたり出血したと来院, 初診時には鼓膜張部に小穿孔を認めた. 13日後に穿孔は閉鎖したものの, 難聴は持続した. 聴力検査で 31dB の気導骨導差を認めた. 静的コンプライアンスは Ad 型を示したが, 再生した薄い鼓膜による影響も否めなかった. 本検査を施行したところ, 5.22と小さな値であった. 受傷後121日目手術, ツチ骨柄の中央付近の骨折を認めた.

2例のこの群の平均値は5.07, 各々の実測値は5.22, 4.91であり (表10), 正常群とは  $p=0.032$  で有意差を認めた. この群の他の1例は未だ手術には至っていないが, 従来の諸検査に加えて本検査にて離断性の有意差が見られたことから, 診断の確実性はより一層高まったものと思われる.

## 考 察

耳小骨連鎖の状態を評価しようとする試みは以前から数多くなされており, 現在その中心となっているのがインピーダンスオージオメトリー法である. しかし, 従来からの単一低周波数による測定方法では診断限界も数多く報告され<sup>13)~16)</sup>, そのため様々な改良もなされてきた. 例えば Colletti<sup>19)</sup>はプローブ周波数  $f$  を色々と変えてティンパノグラムを測定し, 耳小骨連鎖離断におけるW型などの特徴的な波形の出現を報告し, また船井ら<sup>20)</sup>, 熊川<sup>21)22)</sup>, 和田ら<sup>23)~25)</sup>はプローブ周波数  $f$  を連続的に変化させ, 耳小骨離断や固着の診断に有用であるとしている. しかし, 特殊装置を必要とすることもあり一般にはまだ普及していない. 更にインピーダンスオージオメトリー法には, 鼓膜穿孔があると使えないという大きな弱点がある. 中耳疾患の多くは鼓膜穿孔を伴っており, 前出の著者らの測定対象である (鼓膜穿孔のない) 耳小骨連鎖離断や耳硬化症の頻度は慢性穿孔性中耳炎に比べればかなり低い. 鼓膜穿孔耳に対するインピーダンスオージオメトリー法の応用としてわずかに和田ら<sup>25)26)</sup>は穿孔部位にペーパーパッチを施行し測定を試みているが, 圧漏れなどの問題が残っている. また小林ら<sup>27)</sup>も同様に中耳含気腔容積や上鼓室疎通性の診断に対する有用性を述べているが, 耳

小骨の状態については触れていない.

インピーダンスオージオメトリー法の耳小骨診断に対するもう1つの弱点は, 穿孔がなくとも鼓膜の状態によって検査結果が左右されるところである. 例えば外傷性耳小骨離断には受傷時に鼓膜穿孔を伴うことが多い. この穿孔は比較的閉鎖しやすいものの, 全く受傷以前のように再生するとは考えにくい. 石井ら<sup>28)</sup>はホルモットを用いて鼓膜切開後の治癒機転を観察しているが, それによると切開を受けた鼓膜が元の強度を獲得するには12か月かかるとしている. 外傷性穿孔に対する検討はないものの, 切開より長期に及ぶか, あるいは元の強度を取り戻さない可能性も高い. これは直接インピーダンスオージオメトリーに反映されてしまう.

インピーダンスオージオメトリー法の最大の利点はその非侵襲性にある. しかしこれまで, その非侵襲性のみばかりにとらわれてきた感があることも否めない. 中耳手術を行う際に耳小骨に触れ, 動かし, 可動性を手で感じることは日頃我々がよく行うことであり, また鼓膜切開のように外来で実際に鼓膜に触れることにも手慣れているはずである. が, これまで実際に耳小骨に触れ, 情報を得たという報告はない. 今回著者は独自の装置から, 諸々の中耳疾患に対し侵襲以上の情報を得ることが出来た.

実際に研究を始めるにあたって3つの問題点が考えられた. まず第一には前述の外耳道と耳小骨回転軸との角度であるが, これはCTの検討からプローブを工夫することによりほぼ解決されたと考えている. 第二には耳小骨自体の個人差である. もし耳小骨の質量や長さの個人差が大きければ, 同じ正常者でもモーメントから測定値はばらつきが大きくなる. しかし佐藤<sup>29)</sup>は1315個の耳小骨の計測を行った結果, 耳小骨回転軸からツチ骨柄先端までの距離に左右差はなく, 重量も17歳までは増加するものの極僅かであるとし, 平出ら<sup>30)</sup>も107個の耳小骨を計測したうえで, 耳小骨はいつの時代のどのような人種でも同じ大きさを保つとしている. これらのことから, 耳小骨そのものに個人差はなく, 検査の施行前の形態的条件は一定であると考えてよさそう. 第三には実際にどれほど耳小骨を押し込んでよいかということである. あまりに大きな変位は耳小骨の脱臼や骨折をも起こしかねない. この点についてもこれまで報告はないため, 今回著者はこの距離の限界を1mmとした. 中耳手術中に最もツチ骨柄を動かすのは柄から鼓膜を剥離するときであろうが, この限界設定はこの時の経験に基づくものである.

今回の OMA 計測にて諸疾患ごとに明らかになった項目が多いため, 以下に疾患別に考察する.

まず正常群についてであるが, 正常な鼓膜や耳小骨の音入力に対する振幅は非常に小さいため, その振動様式を観察, 測定することは必ずしも容易ではない. しかし19世紀に Mach と Kessel が金箔を使っての光学的観察を行って以来<sup>31)</sup>, 計測機器の進歩とも相まってその振動様式は徐々に解明されてきた. Békésy は微小静電容量変化を測定することで, 鼓膜は振動負荷時にはツチ骨柄の延長上に最大振幅のある円錐状振動を行い, 耳小骨もそれに追従し一体となって運動すると述べた<sup>32)</sup>. しかしレーザーやホログラムの応用といった手法が広まるにつれ, 最近では鼓膜はツチ骨柄を境にして前後に分かれて振動を行い, 高周波になるほど振動は複雑化するとの意見が一般的である<sup>33)34)</sup>. このことから耳小骨の運動は決して鼓膜の運動と一

致しているわけではなく、耳小骨にも独自の駆動抵抗があり<sup>35)</sup>、その力が鼓膜の剛性にのみ込まれているわけではないことをうかがわせる。本研究においても正常群と鼓膜穿孔のある慢性中耳炎連鎖正常群との間に有意差を認めなかったことから、今回設定した比較検討範囲 (0.5~4gf) において耳小骨の駆動抵抗は鼓膜の剛性に比べて大きなものであると推察されるだけでなく、正常群で得られた実測値は耳小骨の駆動抵抗をそのまま表すものと考えられた。

慢性穿孔性中耳炎連鎖正常群に該当した16例はいずれも鼓膜穿孔を伴っている。穿孔の大きさは小穿孔から大穿孔まで様々であったが、今回検討した範囲ではその大きさと聴力像、OMA 検査結果とは特に関係を認めなかった (表3)。手術は鼓膜形成術が9例、鼓膜穿孔閉鎖術が3例であり、4例はCTにて上鼓室や乳様洞の陰影を指摘され、蜂巣を削開し確認したが、炎症性肉芽のみであった。ペーパーパッチによるパッチテストを施行できたものが6例あり、全例陽性であった。これらのことから穿孔性中耳炎の手術にあたっては、従来の諸検査に加え本検査で正常域と判断できれば、基本的には上記のような術式でよいものと判断できた。

慢性中耳炎連鎖固着群は、耳小骨の固着の程度からかなりのばらつきが見られた。本群も全例鼓膜穿孔を見たが、穿孔の大きさ、聴力像、OMA 検査結果に特に関連を認めなかった (表4)。手術所見は全例が耳小骨の石灰沈着による鼓室硬化症であった。鼓室硬化の程度と聴力とは、Bhaya の報告<sup>36)</sup>にもあるとおりに関連はなかった。手術としては前鼓室開放、靭帯切除を含む清掃を行い、耳小骨可動性の向上を追求した。すなわち、従来の諸検査に加え、本検査にて固着性の有意差を指摘されたならば、何らかの耳小骨に対する可動性向上のための操作を加えることが望ましいということになる。

真珠腫性中耳炎連鎖正常群は耳小骨連鎖が残存していたにも関わらず、固着型の有意差を示した。本群の内訳は弛緩部型真珠腫3例、張部型真珠腫1例であり、耳小骨は全く変形を見なかったものが2例、キヌタ骨体部から短脚が消失していたものが1例、ツチ骨頭、キヌタ骨体部とも殆ど破壊されているものの一部で連鎖が残っているものが1例であった。全ての例で鼓膜穿孔が認められたが、その大きさと聴力像、本検査結果とは関連がなかった。手術所見ではいずれも残存している耳小骨周囲に真珠腫被膜が密に張り付き、可動性障害もたらしているかのようであった。このことから、真珠腫が明らかになったときにはたとえ連鎖が残っていてもある程度の可動性障害が起こっていることを考慮する必要があることが推察される。つまり、聴力改善をも目的にするならば、密に接した被膜の処理を同時に行い、耳小骨可動性の向上を確認する必要があると思われる。今後、術後評価もあわせ検討したい項目である。

真珠腫性中耳炎連鎖固着群に分類された2症例はいずれも鼓室硬化を伴っていた。鼓室硬化症が中耳真珠腫に合併しやすいことはよく知られている。一般的には鼓室硬化症が乳様洞まで入り込むことは稀で、合併時には真珠腫が乳様洞に存在し、鼓室硬化病変が鼓室腔にあることが多い。今回の2症例はいずれも弛緩部型真珠腫であり、乳様洞に入り込む真珠腫と上鼓室の強い鼓室硬化病変を見、耳小骨上部構造は周囲の骨と一体化し原形をとどめてはなかった。今回症例数が少ないことから有意差検定は出来なかったが、真珠腫性中耳炎連鎖正常群のいずれの OMA 実測値よりも本群の実測値が大きかったことで、真

珠腫単独よりも鼓室硬化を伴う方がより耳小骨の固着が強いという過去の報告を裏付けただけでなく、術前に鼓室硬化の程度を知り得ることから新たな問題提起も起こすことが出来た。すなわち、OMA にて耳小骨の固着度が強いとなった時には耳小骨が周囲の骨組織と一体化していることを想定する必要があるということである。つまりこの状態でキヌターアブミ関節が正常ならば、乳様洞削開時に削開用ドリルを用いると感音難聴をもたらす可能性が高い。固着度の強いときには削開にはいる前にキヌターアブミ関節を確認し、必要なら一時的に脱臼させ、振動が直接内耳に及ばぬよう配慮すべきと思われた。

真珠腫に骨融解を伴うことは更に多い。この破壊吸収機序については破骨細胞の存在<sup>37)</sup>、マクロファージ等の炎症性細胞の出現<sup>38,39)</sup>、細菌感染<sup>40)</sup>、真珠腫そのものによる圧迫等諸説あり現在も明確にされていないが、いずれにせよ真珠腫上皮が様々な部分を破壊することは事実である。今回真珠腫性中耳炎連鎖破壊群とした3例ではキヌタ骨長脚の欠損とツチ骨頸部の骨折による連鎖離断を指摘することが出来た。耳小骨破壊例に離断性有意差が見られたことで、術前評価の精度が更に高められ、術式を考える上での手がかりになるものと思われた。

癒着性中耳炎は中耳癒着症、鼓膜癒着症ともいわれ、治療に抵抗する疾患である。鼓膜の内陥はやがて岬角や耳小骨との接触をもたらす、更に進行すると組織学的に癒着するようになる。Sadé ら<sup>41,42)</sup>はこの状態をⅠ~Ⅳ度に分類している。すなわち、ステージⅠは軽度の鼓膜陥凹、Ⅱはキヌタ骨やアブミ骨に接するもの、Ⅲは岬角に接するもの、Ⅳは岬角に癒着するものとした。また石井<sup>43)</sup>は鼓膜の接触 (癒着) の部位による分類として、Ⅰ度: 岬角のみの接触 (癒着)、Ⅱ度: 岬角部の接触に加えキヌタ骨、アブミ骨に接触または癒着しているものと設定し、更に接触 (癒着) の大きさについて鼓膜臍部から鼓膜輪の長さを三等分し、接触面積が1/3以内のものを1度、2/3以内のものを2度、鼓膜輪まで達するものを3度、鼓膜輪を越えて深く下鼓室に入り込んだものを4度とした。赤地<sup>44)</sup>は聴力と接触 (癒着) 量との関係を、1度から4度に有効振動面積が少なくなるほど聴力は悪く、Ⅱ度よりもⅠ度が悪い傾向が強いと述べている。今回の検討症例は石井らの分類ではⅠ-3が3例、Ⅰ-4が1例であった。いずれも耳小骨が内方へ転位し、耳小骨可動性は制限されていた。癒着の程度と本検査の結果との関連は明らかでなかったが、癒着が進むにつれ可動性制限は高まるものと推測される。

耳硬化症群と耳小骨離断群については鼓膜所見が正常な伝音性難聴をテーマとして両群を一括し、本研究の有用性につき述べることにする。

耳硬化症には、耳管通気度良好で動きの良好な正常な鼓膜を持ち、その多くは両側性進行性伝音性難聴という特徴がある<sup>45)</sup>。しかし、本邦においては欧米人と比べると約1/10という頻度の低さから、難聴を主訴に受診した場合、耳硬化症の診断を見逃す可能性もある<sup>46)</sup>。鼓膜正常な伝音性難聴を見た場合、頻度の高い鑑別すべき疾患として、鼓膜穿孔のない鼓室硬化症と耳小骨連鎖不全が特に挙げられるよう。これまでは鑑別法として、インピーダンスオージオメトリー法による静的コンプライアンスの比較や、聴力検査による硬化型聴力曲線の存在、CTその他の画像診断、病歴等を複合し評価してきた。しかしそのどれも、確実に耳小骨の病態を把握できるものではなかった。前述したようにインピーダンスオージオメトリー法は鼓膜の影

響を大いに受けやすいし、CT等の画像診断にて病態がつかめる方が稀である。その点今回の検査法は耳小骨を直接測定するため、診断価値は高いと思われた。今回の検討では残念ながら鼓膜穿孔のない鼓室硬化症については評価できなかったため、例えば軽度の鼓室硬化症について、その固さが指摘できるかどうかは不明であり、今後の検討課題としたいと思う。しかし、鼓室硬化症を伴う穿孔性中耳炎では正常例に対し有意差を認めたことから、評価できる可能性は十分高いと考えられる。

耳硬化症が正常群に対して有意差を示さなかったのは興味ある事である。つまりこれは、アブミ骨の固着はツチ骨の可動性にまで影響を及ぼさないことを意味する。このことは、耳硬化症の殆どが静的コンプライアンス正常というこれまでの報告<sup>46)7)</sup>を裏付けるものとなろう。

有意差を認めない理由としてツチキヌタ関節、キヌターアブミ関節の介在が考えられよう。従来からツチキヌタ関節の関節運動の有無については論争があったが、恩地<sup>3)</sup>はツチキヌタ関節では2,000ダイン/cm<sup>2</sup>以下の音圧負荷では関節運動は起こらないが、10,000ダイン/cm<sup>2</sup>以上の音圧を負荷すると明らかに関節運動が生じているとした。またキヌターアブミ関節は、比較的個人差の少ない耳小骨において唯一様々な形態をとる部位であるが<sup>48)</sup>、正常の場合関節包に包まれ、関節腔をもつ<sup>49)</sup>。これらのことからいずれの関節も関節運動を持ち、過大音量に対する緩衝装置としての働きを持つ可能性が高い。また手術操作中もアブミ骨底が完全固着し、全く可動性がないにも関わらず、全例においてツチ骨柄先端の可動性はそれほど障害されているとは思えなかったことから、アブミ骨底の固着によるツチ骨の可動障害は両関節で吸収されるものと考えられた。

耳小骨連鎖離断群は正常群に対して離断性の有意差を示した。このうち手術的に確認できたのは一例のみであったが、他の一症例の静的コンプライアンスが高値を示し(しかしこれは前述の如く穿孔した鼓膜が再生したためという可能性も捨てられない)、病歴(外傷の既往あり)その他からも診断は確実と思われるが、未だ手術には至っていない。今後症例を増やし、インピーダンスオージオメトリーと比較検討を行いたいと考えている。連鎖離断群にはもう一つの特徴を見た。つまり、約4gfをこえるとこれまででなだらかだった立ち上がりは正常群に近くなることである。これは4gfを越えると鼓膜の張力の影響が大きいことによると思われる。比較検討範囲をここまでと設定し

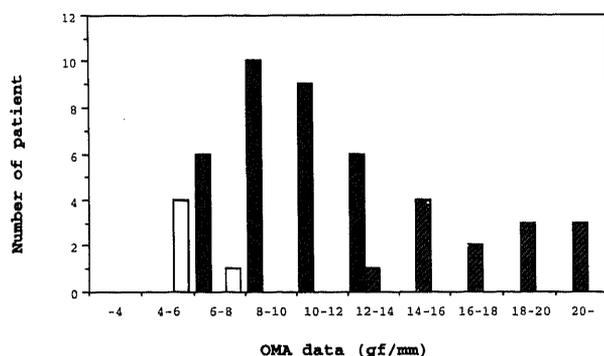


Fig. 12. The histogram of three categories of ossicular mobility. ■, normal group; ■, fixation group; □, discontinuity group.

たのも、この理由からである。

これまでの疾患群を再分類し、有意差なし群(正常群、慢性中耳炎連鎖正常群、耳硬化症群)、固着性有意差群(慢性中耳炎連鎖固着群、真珠腫性中耳炎連鎖正常群、連鎖固着群、癒着性中耳炎群)、離断性有意差群(真珠腫性中耳炎連鎖破壊群、連鎖離断群)として各々一括し、グラフ化したものを図12に示す。将来的には症例を増やし、おおよその各群の境界を明確にしたいと考えている。

## 結 論

独自の耳小骨可動度解析装置(OMA)を作製し、正常な中耳10例ならびに諸々の中耳疾患39例に対し耳小骨の可動度について検討した。

1. これまで不明であった生体における正常耳小骨の可動度を示すことが出来た。その結果、0.5-4gfの今回の比較検討範囲では平均10.05gf/mmを示した。

2. 鼓膜穿孔耳を含む諸々の中耳疾患における耳小骨可動度評価と疾患鑑別の精度の向上をもたらすことが出来た。具体的には、

1) 非真珠腫の慢性中耳炎では、鼓室硬化の有無によって耳小骨可動性は異なっており、本検査は鼓膜穿孔があっても明確に可動性の良悪を評価することができ手術の指標となった。

2) 真珠腫性中耳炎ではたとえ連鎖が残存していても、上鼓室に密着した真珠腫被膜により可動性は障害されている場合が多い。また鼓室硬化症の合併による耳小骨硬化、真珠腫による骨破壊の有無をとらえることができ、術式を考えるにあたっての手がかりとなった。

3) 癒着性中耳炎では鼓膜の内陥が強くと耳小骨が内方へ変位しているため、可動性障害は諸群の中でも大きかった。癒着の程度と耳小骨固着度については今後の検討課題である。

4) 耳硬化症では本検査にて正常群と有意差を示さなかった。これはアブミ骨底の固着がツチ骨の可動性に影響を及ぼさないことを示しており、耳硬化症はティンパノグラムA型、静的コンプライアンス正常例が多いという従来の報告と一致した。

5) 外傷などによる耳小骨連鎖離断も明確に指摘することが出来た。鼓膜を介さず直接耳小骨の動きを評価できることから、鼓膜穿孔から再生鼓膜となることの多い外傷性の場合、本検査は従来の諸検査より診断能力において優れていると思われる。

以上より、本研究において作製した耳小骨可動度解析装置は耳小骨の病変診断に有効であったばかりでなく、手術方針を立てる上でも非常に有用であった。今後は症例数の増加、システムの簡略化、小型化など使いやすくするための改良も考えている。

## 謝 辞

稿を終えるに臨み、御指導、御校閲を賜りました恩師古川 俊教授に深甚なる謝意を表します。また終始にわたり直接の御指導を賜りました岡部陽三博士に心から感謝いたします。また本研究に御理解、御協力を頂きました小森 貴博士、上田裕朗博士はじめ、金沢大学医学部耳鼻咽喉科教室の皆様にも厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Brenkman, C. J. & Grote, J. J.: Acoustic Transfer

- characteristics in human middle ears studied by a SQUID magnetometer method. *J. Acoust. Soc. Am.*, **82**, 1646-1654 (1987).
- 2) Rutten, W. L. C., Peters, M. J. & Brenkman, C. J.: The use of a SQUID magnetometer for middle ear research. *Cryogenics*, **22**, 457-460 (1982).
- 3) Tonndorf, J. & Pastaci, H.: Middle ear sound transmission. *Am. J. Otolaryngol.*, **7**, 120-129 (1986).
- 4) Tonndorf, J. & Khanna, S. M.: Tympanic-membrane vibrations in human cadaver ears studied by timeaveraged holography. *J. Acoust. Soc. Am.*, **52**, 1221-1233 (1972).
- 5) Goode, R. L., Ball, G. & Nishihara, S.: Measurement of umbo vibration in human subjects-method and possible clinical applications. *Am. J. Otol.*, **14**, 247-251 (1993).
- 6) Knudsen, V. S. & Michelsen, A.: Effect of crossed stapedius reflex on vibration of malleal handle in man. *Acta. Otol. Stockh.*, **107**, 219-224 (1993).
- 7) Løkkberg, O. J., Hogmoen, K. & Gundersen, T.: Vibration measurement of the human tympanic membrane-in vivo. *Acta. Otolaryngol.*, **89**, 37-42 (1980).
- 8) 有友 宏: ヒト側頭骨における耳小骨振動様式の研究. *日耳鼻*, **92**, 1359-1370 (1989).
- 9) Gyo, K., Goode, R. L. & Miller, C.: Effect of middle ear modification on umbo vibration. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.*, **112**, 1262-1268 (1986).
- 10) 野村恭也: 側頭骨 (I). 新耳科学アトラス (野村恭也, 平出文久, 原田勇彦編), 第1版, 1-32頁, 東京医学社, 東京, 1993.
- 11) 篠原 靖, 佐藤靖雄: 人間鼓室小骨の密度及び重心に関する研究. *日耳鼻*, **59**, 89-91 (1956).
- 12) 石井哲夫: 陥凹と癒着. 物理的特性から見た鼓膜・膜迷路の病態. 第5章 (石井哲夫編), 第1版, 43-63頁, 東京医学社, 東京, 1993.
- 13) 恩地 豊: インピーダンス・オージオメトリーの原理 その1. *耳鼻臨床*, **74**, 2597-2613 (1981).
- 14) 本庄 巖, 井野千代徳: ティンパノグラムによる中耳疾患の鑑別 (その信頼度の再検討). *耳鼻*, **26**, 557-562 (1980).
- 15) 大西信治郎: オージオロジー. *JOHNS*, **2**, 37-42 (1986).
- 16) Jerger, J., Anthony, L. & Jerger, S.: Studies in impedance audiometry. *Arch. Otolaryngol.*, **99**, 165-171 (1974).
- 17) Browning, G. G., Swan, I. R. C. & Gatehouse, S.: The doubtful value of tympanometry in the diagnosis of otosclerosis. *J. Laryngol. Otol.*, **99**, 545-547 (1985).
- 18) 遠藤里見, 高坂知節, 河本和友: 滲出性中耳炎のティンパノグラム (モデル実験による考察). *日耳鼻*, **86**, 305-313 (1983).
- 19) Colletti, V.: Methodologic observations on tympanometry with regard to the probe tone frequency. *Acta Otolaryngol.*, **80**, 54-60 (1975).
- 20) 船井洋光, 熊川孝三, 船坂宗太郎: ブローブ音の連続周波数変化および位相計測を導入したインピーダンス検査法. *Audiology Jpn.*, **25**, 84-89 (1982).
- 21) 熊川孝三: 耳小骨病変診断に関する検査法の研究 (音圧・位相計測による計量診断法とその評価), *日耳鼻*, **87**, 1538-1548 (1984).
- 22) 熊川孝三: 静的コンプライアンスによる伝音難聴耳の診断 (Ad, As 型の新しい判定基準の提案). *日耳鼻*, **93**, 177-182 (1990).
- 23) 和田 仁, 小林俊光: 中耳の動特性解析 (人工中耳モデルによる検討). *日耳鼻*, **90**, 717-722 (1987).
- 24) 和田 仁, 小林俊光: 中耳の動特性解析 (Middle Ear Analyzer による測定). *日耳鼻*, **91**, 521-527 (1988).
- 25) 和田 仁, 小林俊光, 末竹光子, 新川秀一: 中耳動特性測定装置による中耳疾患例の測定. *日耳鼻*, **92**, 548-555 (1989).
- 26) Wada, H., Kobayashi, T. & Tachizaki, H.: Diagnosis of middle ear disease with eardrum perforation by a newly developed sweep frequency measuring apparatus. *Audiology*, **31**, 132-139 (1992).
- 27) 小林俊光, 高坂知節, 和田 仁: ティンパノメトリーによる中耳含気腔容積ならびに上鼓室疎通性の診断. *日耳鼻*, **91**, 240-246 (1988).
- 28) 石井哲夫: 鼓膜切開・チューブ挿入. 物理的特性から見た鼓膜・膜迷路の病態, 第6章 (石井哲夫編), 第1版, 65-87頁, 東京医学社, 東京, 1993.
- 29) 佐藤靖雄: 人間鼓室小骨の諸種計測的研究. *日耳鼻*, **59**, 953-961 (1956).
- 30) 平出文久, 小倉雅実, 細川 智: 日本人耳小骨の観察と計測値について. *日耳鼻*, **86**, 1407 (1983).
- 31) 恩地 豊: 外耳・中耳-臨床. 生理学体系Ⅵ-感覚の生理学 (勝木保次編), 第1版, 708-732頁, 医学書院, 東京, 1967.
- 32) Goodhill, V.: *Ear Diseases, Deafness and Dizziness*, 1st ed., p19-33, Harper & Row Publishers, Inc., New York, 1979.
- 33) 岡野和美: 中耳貯留液の鼓膜振動に及ぼす影響について (ホログラフィ干渉法による実験的研究). *日耳鼻*, **93**, 1847-1855 (1990).
- 34) 末広倫雄: 中耳腔圧変化の鼓膜振動に及ぼす影響について (ホログラフィ干渉法による実験的研究). *日耳鼻*, **90**, 398-406 (1987).
- 35) 恩地 豊: 鼓室成形術の伝音理論. *耳喉*, **34**, 837-845 (1962).
- 36) Bhaya, M. H., Schachern, A., Morizono, T. & Paparella, M. M.: Pathogenesis of tympanosclerosis. *Otolaryngol Head Neck Surg.*, **109**, 413-420 (1992).
- 37) Chole, R. A.: Osteoclasts in chronic otitis media cholesteatoma and otosclerosis. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*, **97**, 661-666 (1988).
- 38) Harris, A. J.: Cholesteatoma and chronic otitis media. *Laryngoscope*, **72**, 954-980 (1962).
- 39) Abramson, M. & Huang, C. C.: Localization of collagenase in human middle ear cholesteatoma. *Laryngoscope*, **97**, 854-859 (1987).
- 40) 杉田麟也: 真珠腫の感染菌種. 真珠腫, 耳鼻咽喉科・頭頸部外科 MOOK (野村恭也編), 第1版, No. 16, 73-82頁, 金原出版, 東京, 1991.
- 41) Sadé, J. & Berco, E.: Atelectasis and secretory otitis media. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.*, **25**, 66-72 (1976).
- 42) Sadé, J., Avraham, S. & Brown, M.: Atelectasis,

retraction pockets and cholesteatoma. *Acta Otolaryngol.*, **92**, 501-512 (1981).

- 43) 赤地陽子: 滲出性中耳炎と鼓膜癒着症の聴力. *日耳鼻*, **93**, 437-444 (1990).
- 44) 斎藤春雄: 耳硬化症の鑑別診断. 耳硬化症, 耳鼻咽喉科・頭頸部外科 MOOK (野村恭也編), 第1版, No. 20, 25-30 頁, 金原出版, 東京, 1991.
- 45) 高山幹子, 石井哲夫, 薬師寺道代: 耳硬化症の診断. 耳硬化症, 耳鼻咽喉科・頭頸部外科 MOOK (野村恭也編), 第1版, No. 20, 16-24 頁, 金原出版, 東京, 1991.
- 46) Lehnhardt, E.: *Praktische Audiometrie*. Georg Thieme

Verlag, Stuttgart, 1978. 森満 保 (訳): 臨床聴力検査—その基礎と実際—, 第1版, 52-77 頁, 文光堂, 東京, 1983.

- 47) Bel, J., Causse, J. & Michaux, P.: Paradoxical compliance in otosclerosis. *Audiology*, **14**, 118-129 (1975).
- 48) Miller, G. W. & Keith, R. W.: Hypermobility of the incudostapedial joint: A clinical entity? *Laryngoscope*, **89**, 1943-1950 (1979).
- 49) 平出文久, 木村 仁, 山口秀樹: アブミ骨及び周辺の臨床解剖. 耳硬化症, 耳鼻咽喉科・頭頸部外科 MOOK (野村恭也編), 第1版, No. 20, 39-52 頁, 金原出版, 東京, 1991.

**A Study of Ossicular Mobility** Kazuo Shibutani, Department of Otorhinolaryngology, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. *Juzen Med Soc.*, **104**, 175—186 (1995)

**Key words** ossicular mobility analyzer, eardrum perforation, load transducer, displacement transducer

#### Abstract

Prior to surgical treatment of the middle ear, it is essential to know the condition of the ossiculus. It has been difficult, however, to evaluate ossicular mobility by routine measurements. A new ossicular measuring system, the ossicular mobility analyzer, OMA, has been developed for diagnosis of the ossicular condition, in a fixed or relaxed state. This apparatus measures the load and the displacement of the malleus manubrium jogged with a probe, which was directly connected to a load transducer. This transducer and the displacement transducer were combined to the micromanipulator. The graphic curve was drawn by X-Y recorder. The slope of straight regression line (load/displacement) of this curve in the range of 0.5 to 4gf were decided on as a parameter for comparison. A preliminary study was performed with ten volunteers who have never suffered from ear diseases. The value of OMA in normal subjects was  $10.05 \pm 2.17$  (gf/mm). Both in the ossicular fixation state, such as tympanosclerosis, and in the ossicular discontinuity state, such as trauma or cholesteatoma with bone erosion, the data of OMA revealed a significant difference from the normal group. But other groups, such as chronic otitis media with eardrum perforation or otosclerosis do not reveal a significant difference. This examination can be undertaken readily in an outpatient room under local anesthesia and greatly assists diagnosis and operation planning.