論

説

インピーダンスオージオの応用範囲と
2・3の問題点

本 庄 巖

Clinical Application of Impedance Audiometry
and Points at Issue

Iwao Honjo

(Kochi Medical School)

To examine the reliability of impedance audiometry in testing middle and inner ear functions, analysis of 3,371 tympanograms, experiments in cats and examination of reflex waves in several ear diseases were carried out. In diagnosing middle ear diseases using tympanograms, the following four points should be taken into account.

1) A considerable number of ears with tubal obstruction show type A tympanograms. 2) Ears with severe tubal obstruction produce type B tympanograms. 3) Ears with serous otitis media show type C tympanograms. 4) Characteristic disturbance of the middle ear ossicles produce type As and Ad tympanograms.

The animal experiments revealed that the fluid in the tympanum below the level of the tympanic umbo resulted in type A or C tympanograms instead of type B. Thus discrepancy between the tympanogram and the condition in the middle ear was elucidated. In measurement of middle ear muscle reflex, the following three points must be taken into consideration. 1) Pseudo-middle ear muscle reflex occurs by ipsilateral acoustic stimulation. 2) Reflex of the tensor tympani muscle exist even in human beings. 3) Positive reflex of type C ears may be overlooked, unless ear canal pressure was equalized to the middle ear one.

は じ め に

インピーダンスメーターの普及は著しく、最近では第一線の臨床でも高頻度に使用されるようになった。この様な普及はインピーダンス法が従来の検査法に比しかなり質のちがう聴覚系の情報を提供してくれる事によるが、逆に本来この検査法がカバーする範囲を越えた検査ができるとの誤解も一部には生じたようで、現在の所、インピーダンスオージオの反省期にきているともいえる。

そこで本稿では、1) インピーダンスオージオが中耳・聴覚の検査法としてどの程度まで信頼できるか、その臨床応用の範囲を自験例を基に再検討し、ついで 2) 本検査法が内蔵する 2, 3 の問題点を特に耳小骨筋反射の場合について述べたい。

インピーダンスオージオメトリーとは

オージオメトリーという名称からするとともに聴覚に関する測定法の様であるが、表1に示される様にインピーダンスメーターで測定できる3項目のうち2つまでが、鼓膜、耳小骨系の可動性、あるいは音をどの程度透過させる

表1：インピーダンスオージオメトリーの項目

1. ティンパノメトリー	} 鼓膜, 耳小骨系の可動性
2. 鼓膜インピーダンス	
3. 耳小骨筋反射 (S. R.)	—— 聴覚および 耳小骨連鎖の状態

か、という中耳の伝音性の状態を調べるもので、いわゆるオージオメトリーの概念とはやや異なる検査法といえる。また静止時の鼓膜インピーダンス (Static Compliance) は最近のインピーダンスメーターではティンパノメトリーに包含される測定因子となった。3番目の耳小骨筋反射はアブミ骨筋反射 (S. R.) に代表される聴性反射であり、これがオージオメトリーに直接関係する部分である。更に本反射を利用し中耳伝音成分、すなわち耳小骨連鎖の状態を推定する事も可能である。

ティンパノメトリー

1. ティンパノグラムでわかる因子 (表2)

まずピークの高さに関する情報で、縦軸 (Y 軸) 上のどの点にピークがあるかで鼓膜、耳小骨系の動きやすさが示される。これは前述の Static Compliance と同じ要素である。このピークが異常に低く一見平坦な波形がB型で、滲出性中耳炎や鼓室硬化症などでみられる中耳可動性の低下 (音響抵抗の増大) を示す。As型はピークはあるがこれが著明に低い場合であり、B型ほどの不動性ではなく代表例は耳硬化症である。このAs型は正常小児でもみられるが、これは鼓膜の面積や外耳道の容積が大人に比し小さい事による。逆にピークが異常に高いAd型は中耳伝音系の異常可動性を示してお

り耳小骨離断や鼓膜萎縮で高頻度にみられる。

次に横軸 (X 軸) 上での位置にピークがあるかの情報は中耳腔の圧を示し、これが正常圧の場合はA型あるいはAs、Ad型をとる。陽圧になることはあまりない。ピークが $-100\text{mmH}_2\text{O}$ 以下になると中耳の異常陰圧状態を示すC型となり、主に耳管狭窄に起因することが知られている。

3番目はピークの形であり、これが二峰性になるとD型に分類されるが、特徴的な疾患はない。

2. タイプ間の移行

この様なティンパノグラムの各タイプが相互にどう移行していくかを第1図に示す。主に耳

表2：ティンパノメトリーでわかること

1. ピークの高さ——鼓膜耳小骨系の可動性を示す

- ・異常に低い場合
  - B型 滲出性中耳炎
  - 鼓室硬化症など
- ・異常に高い場合
  - As型—耳硬化症など
  - Ad型—耳小骨離断など

2. ピークの圧——中耳腔の圧を示す

- ・正常圧の場合 A型 (As, Ad型)
- ・陰圧の場合 C型——耳管狭窄

3. ピークの型

- 二峰性の場合 D型

図1：ティンパノグラム各タイプ間の移行

管狭窄や滲出性中耳炎の場合を示したもので、先ず耳管狭窄が一定期間持続して中耳が陰圧化するとA型はC型に移行する。次で滲出液が一定量貯留するとB型に移行する。C型を経ずにA型から直接B型に移行するタイプもある。これが治癒してゆく過程もC型を経てA型に戻る場合や、As型を経由してあるいは直接A型に戻る場合もありうる。この点D型あるいはAd型は中耳の圧とは無関係の独立したティンパノグラムのタイプである事がわかる。

3. 聴力との関係

ティンパノグラムのタイプと聴力との関係を見ると、タイプによって難聴の程度がほぼ決まることがわかる(図2)。Aタイプでは難聴例が少なく、またCタイプの段階では難聴はそれほど著明でない事がわかる。一方滲出性中耳炎

を主とするBタイプで鼓膜耳小骨系の可動性が低下すると15dB以上の難聴例が増加する。

4. 疾患との関係

ティンパノグラムの各タイプと疾患との関係を3911耳で洗い直してみた²⁾(図3)。A型では感音難聴を含む中耳正常例が当然多いが、耳管狭窄がA型の約16%を占めることが注目される。次にB型の代表は従来滲出性中耳炎とされてきたが、滲出性中耳炎は約37%を占めるにすぎず、他に耳管狭窄が約25%を占めており、B型をとる耳管狭窄がかなりあることに注意すべきである。C型では耳管狭窄が半数を占めているが、その他滲出性中耳炎をはじめとする各種中耳疾患も含まれる。

逆に耳疾患のほうからティンパノグラムのタイプをみた結果を図4に示す。自覚症のほかに

図2：ティンパノグラムのタイプと聴力との関係

図3：ティンパノグラム各タイプと耳疾患との関係

複数の耳管機能検査法により診断された耳管狭窄症 360 耳のティンパノグラムのうちわけは、C 型が約 1/3 を占めるにすぎず、残りは A 型と B 型である事がわかる。この結果から耳管狭窄は即 C 型をとるとはいえず、次の動物実験で示される様に狭窄の程度が強いと B 型をとるし、一方狭窄の程度が軽い場合には A 型に滞まる事がわかった。

滲出性中耳炎は鼓膜穿刺で滲出液を検出できた 50 耳だけを選んだ。B 型がやはり大半を占めたが、たとえ滲出液がたまっているも C 型をと

る例が約 1/3 を占めることが注目される。

5. 動物実験

上述の中耳病態とティンパノグラムのタイプとの矛盾を説明するために、ネコ中耳に種々の条件負荷を行って、その時のティンパノグラムの変化を観察した²⁾。

中耳圧を陰圧にしてゆくとピークが順次マイナスの方に移行してくる (図 5)。この場合耳管狭窄が高度かつ長期にわたり中耳圧が異常に低下し、例えば $-300\text{mm H}_2\text{O}$ 以下になると普通のメーターではピークは描かれず、図の様に

図 4 : 耳疾患とティンパノグラムタイプとの関係

図 5 : 中耳陰圧化によるティンパノグラムの変化
($-300\text{mmH}_2\text{O}$ 以下の陰圧では一見 B 型を呈す)

平坦部のみの波形となりB型を呈する。一方もし耳管狭窄の程度が軽く、嚥下でたまたま一回でも空気が通るとたとえ狭窄症があってもA型を呈することになる。従ってC型はあくまで中耳陰圧の状態を示し、耳管狭窄という疾患を示しているのではない事に注意する必要がある。

次に中耳に水を順次注入してゆき、これが鼓膜の半分に達してはじめてA型がB型に変わる事が確認された。それより水の量が少ないとA型のままである。つまり滲出性中耳炎の場合滲出液の量によってA型をとったりB型をとったりする事がわかる。次に中耳に水を 0.3ml 注入したA型の状態で中耳を $-100\text{mm H}_2\text{O}$ の陰圧にするとティンパノグラムのピークはそのまま $-100\text{mm H}_2\text{O}$ に移動しC型を呈する事がわかった(図6)。この場合滲出液があっても中耳陰圧の因子の方が勝りC型を呈したものであり、これが先の滲出性中耳炎における32%のC型に

図6：中耳注水，陰圧状態でのティンパノグラム
(0.3ml注水ではC型を呈す)

相当するものと考えられる。

6. インピーダンスメーターによる耳管機能検査法について

従来ティンパノグラムがA型であれば耳管正常，C型であれば耳管狭窄。鋸歯状波は耳管開放症を示すと単純明快に診断されてきた。しかし前述の様にA型でも耳管狭窄がありうるし，逆に耳管狭窄すべてがC型とは限らず，A型やB型をとることもある事に注意すべきであろう。また耳管開放症で鋸歯状波は確かに認められるが，これは本疾患を疑って早い呼吸を被検者に指示しないと数秒の描記時間内では記録されず，逆に外耳道充血による脈波をひろう場合がある。

この様に単一ティンパノグラムによる耳管機能の判定には種々問題があるので，バルザルバ，あるいはトインビー通気前後のティンパノグラムピークの移動から耳管機能を調べる方法が開発されている。更に簡便法としてバルザルバ通気時の鼓膜インピーダンスの変化をパターンとして記録判定する方法がある。

これには耳小骨筋反射のチャンネルを利用し，約12秒の掃引時間内にバルザルバ通気と数回の嚥下をやらせる³⁾。図7下段の左耳では通気で鼓膜が突出するとコンプライアンス(鼓膜の可動性)が著減し，嚥下で鼓膜が復元するとコンプライアンスも正常にもどっている。とこ

図7：インピーダンス法による耳管機能の検査
(上段は耳管狭窄，下段は正常耳管)

ろが上段の右耳では耳管狭窄症があり何度嚙下をやっても耳管は開かず、コンプライアンスの減少状態が持続している。また耳管開放症では

呼吸に一致したコンプライアンスの変動パターンがえられ、短時間の検査で耳管機能の判定ができる事がわかった。

耳小骨筋反射

耳小骨筋反射は強音からの内耳防御機構と考えられ、耳小骨筋（あぶみ骨筋と鼓膜張筋）収縮による鼓膜、耳小骨系インピーダンスの反射的增加を検査に応用する方法である。

耳小骨筋反射の臨床応用としては、1. 他覚的聴力検査；幼児聴検あるいは詐聴，心因性難聴の検出で，ABRなどと同じく耳小骨筋反射の閾値から難聴の有無とその程度の推定ができ

る。聴覚の定量的測定には Niemyer あるいは Jerger の式が用いられる。2. 骨導が不明な場合の難聴の種類の鑑別；骨導が不確実で難聴の存在だけがはっきりしている場合，耳小骨筋反射をうまく使うと難聴の種類の鑑別が可能である。3. 顔面神経麻痺の程度判定，4. リクルメントの判定，などがある。

耳小骨筋反射測定上の注意点

1. C型耳の反射：ティンパノグラムC型（中耳陰圧）耳で耳小骨筋反射を記録する場合，外耳道圧が正常圧であると，内外の圧差で鼓膜の可動性が制限され反射がでにくいことがある。検査の手続きとしてはまずティンパノグラムのピークで中耳圧を求め，これに外耳道圧を合わせたのち耳小骨筋反射を測定する方法をとる。図8では，中耳圧が $-65\text{mm H}_2\text{O}$ であり，外耳道圧が $0\text{mm H}_2\text{O}$ のままでは微弱な反射しか得られない。外耳道圧を $-65\text{mm H}_2\text{O}$ にしてはじめて明確な反射が得られている。この様に

実際には反射があるのに，ないと判定を誤まらぬ様注意する必要がある。

2. 逆向き反射の問題：反射が起こると鼓膜の音響抵抗は一過性に増大する。つまりコンプライアンスは減少するので，波形上では普通下向きの反射が得られる。しかし時に逆向き（上向き）の反射波形が得られることがあり，これには同側耳刺激の場合と対側耳刺激の場合とがある。先ず通常の対側耳刺激についてみると，これは正常耳ではみられず，感音難聴や鼓室硬化症などで時にみられる。図9では音が入った

図8：C型耳の耳小骨筋反射測定
（外耳道圧を中耳圧（ $-65\text{mm H}_2\text{O}$ ）と等しくすると反射が顕現化する）

時と切れた時の両方で逆向き反射が出ており、on, off 時の鎧骨底の状態が変わるためとされている。しかし対側耳刺激の逆向き反射の成立機転については、なお不明な点が残されている。

同側耳刺激の場合の逆向き反射はよく遭遇する。このうちの一部は生理的反射ではなく偽反射と考えられる。その理由は聾耳でも明確な反射が得られる事による。別の観察法として図10の如くハローセン麻酔下の同側耳刺激で上段の如くに逆向き反射が得られている(土師ら⁴⁾)。しかし対側耳刺激では下段の如く反射がみられず反射弓は麻酔剤でブロックされていると考えられる。更にこの被験者の覚醒時の反射は下向きの通常の反射なので麻酔時の逆向き反射は偽反射と解釈できる。更に人工耳を用いて同側耳刺激をした所、図11のようにやはり逆向き反射

図9：鼓室硬化症でみられた逆むき反射
(音刺激の on と off で反射がみられる)

図10：ハローセン麻酔時の耳小骨筋反射(土師ら)同側耳刺激(上段)で逆むき反射がみられる

が得られた。聾、全身麻酔例、人工耳などの陽性結果から同側耳刺激でみられる逆向き反射は偽反射の場合がある事に注意する必要がある。

3. 鼓膜張筋の問題：耳小骨筋反射の閾値は顔面神経麻痺の程度判定に応用できる事が判っており⁵⁾、これはあぶみ骨筋の機能をみている事になる。しかし、もう1つの耳小骨筋である鼓膜張筋の反射が誘発されるケースがあり注意が必要である。図12がその例で、左のハント症候群で誘発筋電図も出ていない完全麻痺の状態であるのに耳小骨筋反射は、患側でもはっきりと出ている。これは鼓膜張筋由来の反射と考え

図11：人工耳での逆むき反射

図12：顔面神経完全麻痺例(左ハント症候群)でみられた耳小骨筋反射陽性例

られ、その根拠はまず 200 mmsec. と長い潜時であること、また外耳道圧測定法で鼓膜内陷、すなわち鼓膜張筋収縮と同時に反射が出現していること、そしてあぶみ骨筋反射は顔神麻痺の程度からみて無視しうること、などによる。

図13は同じく顔面神経麻痺例で、鼓膜張筋由来の反射が明確に示されたケースである。この症例で興味深い事は左列の健側耳の反射は二峰性を示し、この第一峰はあぶみ骨筋、第二峰は鼓膜張筋に由来すると考えられる事である⁶⁾。

その理由は中央の麻痺側耳の反射波（鼓膜張筋由来）を健側の反射波と重ね合わせると丁度第2波と一致すること、そして顔神麻痺が回復すると右列の如く麻痺側耳の反射波形に健側耳でみられる第1波（あぶみ骨筋由来）が加わる事などによる。この二峰性波形は正常人でも時に見る事がある。人の場合は、耳小骨筋反射は主にあぶみ骨筋に由来するが、鼓膜張筋由来の反射も時にみられるので、本筋の波形の特徴を頭にいれておく必要があろう。

図13：健側耳が2峰性（あぶみ骨筋と鼓膜張筋）を示した顔神麻痺例

耳小骨連鎖状態の判定

1. 耳小骨離断：鼓膜正常であるにもかかわらず純音聴力検査で著明なABギャップがあり、ティンパノグラムがA_D型を示す症例は耳小骨離断が最も疑われるが、耳小骨筋反射を調べると、図14の如くに音刺激に反応するのは外耳道圧のみであり、コンプライアンスの変化はみられない。外耳道圧変化で鼓膜は内陷しているので鼓膜張筋は正常に作動していると推定で

きる。鼓膜張筋の収縮を誘発する air jet 刺激でも外耳道圧の陰圧化（鼓膜内陷）のみで、コンプライアンスは不変であった。以上の聴力検査、インピーダンスオージオの所見を総合すると耳小骨離断の診断が得られ、手術により先天性砧鐙関節離断が確認された。

2. 耳硬化症：同じく鼓膜正常，ABギャップ，ティンパノグラム A_S 型で耳硬化症が疑わ

図14：耳小骨離断例の耳小骨筋反射（左方は音刺激，右方は air-jet 刺激）

れた症例の耳小骨筋反射は、やはり音刺激で反射が得られず、図15の如く **air jet** 刺激で外耳道圧だけが反応し鼓膜内陷がみられた。これら

からあぶみ骨は不動であるが、前方の鼓膜張筋の可動性は残っていると推測され、手術で耳硬化症が確認された。

図15：耳硬化症例の耳小骨筋反射（左方は音刺激，右方は **air-jet** 刺激）

インピーダンスオージオによる難聴耳診断のすすめ方

鼓膜正常の難聴耳の場合その難聴の種類の判定、つまり伝音性が感音性かの鑑別は純音聴力検査だけでは難しい症例がある。この様な場合、インピーダンスオージオをうまく利用すると診断が容易になる例を経験する。以下、これを使った診断のすすめ方をフローチャート式に説明する。

1. 難聴耳の鑑別（表3）：ティンパノグラムB型、C型では伝音性難聴が先ず疑われるが、鼓膜正常でA型をとる難聴耳の場合が問題で、耳小骨筋反射を利用するとある程度、鑑別

診断が可能である。即ち耳小骨筋反射（対側耳刺激）が陽性の場合には少なくとも反射弓と患側耳小骨系には異常なしといえるので、消去法で障害部位は内耳あるいはそれより上位と考えられ、感音性難聴の診断がえられる。しかし反射がない場合には複数の障害部位が想定される。まず耳硬化症、耳小骨離断などの耳小骨系の障害が考えられるが、内耳障害の存在も否定できない。またこの反射弓上の障害（聴神経腫瘍や顔面神経麻痺）でも反射は出てこず確定診断は難しくなる。したがってA型難聴耳の場合、耳小骨筋反射陽性の場合にのみ感音難聴の診断を下しうる。

2. 伝音性難聴耳の鑑別（表4）：鼓膜正常の伝音難聴耳の鑑別には、ティンパノグラムが有用である。すなわちピークが異常に高い **Ad** タイプでは耳小骨離断が最も疑われ、一方ピークが異常に低い **As** タイプでは耳硬化症をはじ

表3：難聴の鑑別診断

難聴耳	ティンパノグラム		耳小骨筋反射	
	A型	B型 C型		
↑	→	→	+	感音性難聴
	→	→	-	伝音性難聴 (又は混合性)
↓	→	→	-	伝音性難聴 (又は混合性)

表4：伝音難聴耳の鑑別診断

鼓膜所見	ティンパノグラム	耳小骨筋反射		診 断
		音響刺激	ジェット刺激	
伝音難聴耳	正 常	→ Ad 型	±	} — 耳小骨離断
		→ A 型	±	
		→ As 型	±	} — 耳硬化症
	異 常	→ B 型	—	
		→ C 型	—	中耳炎など

めとする耳小骨連鎖の固着が疑われる。しかし耳小骨筋反射の情報は鑑別診断にはほとんど役立たず、ティンパノグラム、あるいは Satatic

Compliance が離断か固着かの鑑別に最も役立つ。

ま と め

ティンパノメトリーでわかることはをまとめると表5の如くなる、A型は鼓膜中耳が正常である事を示すとされるが、我々の調査結果では正常耳は約70%であり、他に耳管狭窄症がかなり含まれること。B型は鼓膜耳小骨系が動きにくい状態を示すが、疾患としては滲出性中耳炎だけではなく、程度の強い耳管狭窄も含まれること。C型は中耳の陰圧状態を示すが、C型イコール、耳管狭窄とはいえ滲出性中耳炎もあること。As型、Ad型にはそれぞれ耳小骨の異常を示す代表的疾患があること、などである。

また耳小骨筋反射の注意点は、1. 同側耳刺激の逆向き反射は疑反射の場合があること。2. ヒトでも鼓膜張筋の反射を認める例がありこれを無視できないこと。3. C型耳では外耳道圧を中耳の陰圧に一致させないと反射を見落することがあること。などである。

表5 : インピーダンスオージオのまとめ

I. ティンパノグラムによる診断 (4504耳による)

A型——鼓膜・中耳正常…… (70%)

B型——病態；鼓膜・耳小骨が動きにくい

疾患；滲出性中耳炎 (61%)

耳管狭窄…… (22%)

C型——病態；中耳が陰圧

疾患；耳管狭窄…… (39%)

滲出性中耳炎 (31%)

As型——耳硬化症・滲出性中耳炎

Ad型——耳小骨離断・鼓膜萎縮

II. 耳小骨筋反射の注意点

◦ 同側耳刺激での偽反応 (逆むき)

◦ 鼓膜張筋の反射

◦ C型の反射測定法

◦ 反対耳刺激での逆むき反射

本稿は、第9回大阪耳鼻咽喉科医会記念學術研修会 (昭和54年9月29日、大阪市)、第2回伝音難聴の診断と治療セミナー (昭和54年12月9日、東京都)、第7回日耳鼻四国連合学会特別講演 (昭和56年6月7日、徳島市) での口演をまとめたものである。

参 考 文 献

- 1) J. Jerger : Clinical experience with impedance audiometry. Arch Otolaryngol. 92 : 311~324, 1970.
- 2) 本庄巖, 松井博史, 牛呂公一, 奥野吉昭, 岩野正, 井野千代徳 : ティンパノグラムによる中耳疾患の鑑別. 耳鼻と臨床 25 : 557~562, 1980.
- 3) 熊沢忠躬, 本庄巖, 本田啓二 : インピーダンスメーターによる動的耳管機能測定の試み. 耳鼻臨床 72 : 1415~1423, 1979.
- 4) 土師知行, 岩永迪孝, 福島英行, 牛尾信也, 山本

悦生：同側刺激時の逆向き耳小骨筋反射について. 日耳鼻 83: 855, 1980.

- 5) 本庄巖, 中山堯之, 松井博史, 三苫藤吉郎: 耳小骨筋反射よりみた顔面神経麻痺. 日耳鼻 83: 1635~1644, 1980.

- 6) 松井博史, 本庄巖, 中山堯之: 耳小骨筋反射にお

ける二峰性波形の成因. 耳喉科 53: 1033~1037, 1981.

原稿到着: 昭和56年7月23日

別刷請求先: 本庄 巖

〒781-51 高知県南国市岡豊町小蓮
高知医科大学耳鼻咽喉科学教室