インピーダンス・オージオメトリーによる 難聴の診断, その 1. 鼓膜に穿孔のない伝音難聴 の診断

慶応義塾大学医学部耳鼻咽喉科 (主任: 鈴木安恒教授)

神崎 仁, 猪 忠彦, 高橋 正紘
小野 博, 古賀慶次郎*

難聴の鑑別診断法はエレクトロニクスの進歩とともに精度の高いものになりつつあるが, それでもなお, 1) 耳小骨連鎖の固着と耳小骨連鎖離断の鑑別, 2) 鼓膜に穿孔はないが癒着の程度や中耳腔内貯溜液の有無を知ること, などについては必ずしも容易でない。外耳道側からみた鼓膜の acoustic impedance の測定は以上の問題を解決する方法として北欧ではじめられて以来久しい^{6)11)~13)15)}。しかし本邦ではまだこの方面の検討に乏しい^{16)~18)}。

著者ら¹⁷⁾は electro-acoustic impedance bridge (Madsen ZO 72) を用い, その臨床的応用の方向について既に報告したが, 今回は主として鼓膜に穿孔のない伝音難聴例について測定した成績にもとづき, この方法の有用性について考察した。

インピーダンス (外耳道側からみた鼓膜のインピーダンス): インピーダンス (Z) は抵抗 (R , resistance) とリアクタンス (jX , reactance) からなり, 次の式で表わされる。

$$Z = R + jX$$

またアドミタンス (Y) は, $Y = \frac{1}{Z}$ で表わされる。

electro-acoustic impedance bridge (Madsen ZO 72) による鼓膜の acoustic impedance の測定に際してはリアクタンスの代りに compliance が用いられる。compliance は等価容積 (cc) で示されている。

以下「外耳道側からみた」との表現を本論文では省略する。

インピーダンス・メータ: Metz の acoustic bridge をはじめとし, Zwislocki, Madsen と種々のものがある。詳細については Marquet ら¹⁰⁾の著書に譲るが, ここではインピーダンスメータ (Madsen ZO 72, Madsen

型と便宜上略す) についてのみ簡単にのべる。Madsen 型では他のメータと異なり 220Hz の検査音 (probe tone) のみを用いている。

Madsen 型では外耳道に挿入する 3 本の金属管の中の 1 本から 220Hz の音が与えられ他の 1 本はこの音の音圧の変化を小さいマイクロフォンよりモニターし bridge 回路, バランス・メータに伝える。バランス・メータは compliance の変化を示しこの感度は 4 段階になっている。3 本目の管は外耳道腔に $\pm 400\text{mmH}_2\text{O}$ の圧を加え得るポンプにつながっている。3 本の管には外耳道腔の大きさに応じたプラスチック, あるいはシリコンラバーの耳栓をかぶせ外耳道腔が閉鎖腔となるようにする (図 1)。

インピーダンス・オージオメトリー: この用語は, Jerger ら^{7) 8)}によって使われているが Madsen 型の器械とオージオメータの組合せによる検査を意味している (Madsen ZO 72 にはオージオメータが組込まれている)。Zwislocki 型の acoustic bridge のみによる検査についてはこの用語は適用されない。

インピーダンス・オージオメトリーは Madsen 型で施行できる検査項目, 即ち, 以下にのべる。tympanometry, インピーダンスあるいは static compliance, およびアブミ骨筋反射 (本稿では便宜上 $S \cdot R$ と略す) 域値の検査からなるものを指している。

a) tympanometry: 陽, 陰圧の変化に対する鼓膜の compliance の相対的变化を示し正常の場合外耳道腔の圧が $\pm 100\text{mmH}_2\text{O}$ 以内で, compliance が最大となる。(A型). $+200\text{mmH}_2\text{O}$ の加圧より次第に減圧していき, $-100\text{mmH}_2\text{O}$ 以上の減圧で compliance が最大の場合 (C型). や, compliance の変化が減圧の経過で少ないもの (B型) は病的な場合に多くみられる (図 2)。

* 国立小児病院耳鼻咽喉科

Fig 1.—Schematic diagram of principal components of the electroacoustic impedance bridge.

図1 インピーダンス・オージオメトリーの原理 (Jerger ら)

図2 Tympanometiy の分類, 縦軸は compliance の変化を示す

以上の分類は Jerger らに従っている。正常者および感音難聴例の大部分でA型がみられるがその他の型 (B型, C型) も年齢によりみられることは, 既に報告されている⁹⁾。

b) インピーダンスおよび static compliance : 中耳の疾患ではインピーダンス (Z) の抵抗部分は compliance に比べて重要性が少なくまた compliance の測定もひとつの周波数で充分と考えられており, これが Madsen 型で 220Hz のみを使用している大きな

理由とされている。Madsen 型を用いた場合鼓膜のインピーダンス (Z_d) は次の式により概算されるにすぎない。

$$Z_d = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 - Z_2}$$

上の式で Z_1 は外耳道腔に +200mmH₂O 加圧時の stiff drum の compliance, Z_2 は減圧して最大の compliance を示した時の値である。Madsen 型では抵抗の部分が一定で無視できるならば Z_d の値を compliance から推測できるがそうでない場合, このような式で計算しなくとも static compliance (+200mmH₂O 加圧時の compliance と減圧した際の最大の compliance の差) で表わす方が適当といわれており⁹⁾, 本稿ではこの方法をとった。この場合注意すべきことは compliance と抵抗あるいは上式の Z_d では表現が逆になることである。たとえば耳硬化症では抵抗あるいは Z_d は大, あるいは高値を示すと表現されるが, compliance は逆に小, あるいは低値と表現されることになる。

static compliance は正常者および感音難聴例では, 0.3~1.5cc の間にあるが年齢を考慮する必要がある^{9) 9) 17)}。

c) アブミ骨筋反射 (SR) の域値 : 金属管を挿入する耳と反対側の耳に音刺激を与える。この際の SR の

域値を求める。両側正常耳の場合の SR 域値は 500～2000Hz ではほとんど同様に 70～95dB (hearing level ISO 1964) の間にある⁷⁾¹⁷⁾。本稿では SR 域値の測定値のみ ISO (1964) のレベルで表わしその他の検査はすべて JIS のオーディオメータ・レベルで表わした。

SR の測定は上記のごとく行なわれるため、正常値の範囲内のレベルで SR が観察されないときには、音刺激による神経の興奮が、SR の反射弓に反射を惹起するのに十分な強さで到達しない場合と、SR を検出する金属管を挿入した耳に SR の検出を不能にする程度以上の伝音障害が存在する場合の二通りの原因を考えなければならない。また SR が検出されたときには音刺激を加えた耳で反射を惹起するのに十分な神経の興奮があり（このことは最小可聴値が正常であることを意味するとは限らない¹⁷⁾。）、金属管を挿入した耳に SR の検出を不能にする程度の伝音障害は存在しないことを意味する。

検査対象：正常者17名、伝音難聴37例

（いずれも鼓膜穿孔のないもの。臨床的耳硬化症6例、耳小骨連鎖離断（連鎖離断と略す）5例、滲出性および癒着性中耳炎26例）。臨床的耳硬化症、連鎖離断の診断は全例手術によりそれぞれ確認されたものである。

鼓膜に穿孔のない伝音難聴例のインピーダンス・オーディオメトリー

a) tympanometry：滲出性および癒着性中耳炎では大部分がB型を示す。耳硬化症、連鎖離断例では、A型を示す。バランス・メータのフレを直読する以外にX・Y記録計で示すとA型はピークの深い型とそうでないものとの2つに分けられる。連鎖離断では前者のものがみられることがある(図3)。

b) static compliance：臨床的耳硬化症6例の内訳は耳硬化症4例、アブミ骨脚の位置異常1例、van der Hoeve 症候群1例であった。これらのうち3例で compliance は 0.3cc 以下であった。1例は正常範囲内にあり他の2例は正常範囲の下限に近い値を示した。一方連鎖離断5例中3例では正常より高値を示した。滲出性および癒着性中耳炎併せて27例では、static compliance は低値を示すものが多く、0.3cc 以下の例は18例 (66.7%) であった(図4)。

上記の臨床的耳硬化症、連鎖離断例について手術前後の compliance の変化は図5～7に示すように連鎖離断では static compliance の著明な減少、耳硬化症ではアブミ骨切除後 gelfoam-wire 使用し、増大、不変が1例づつであった(図5, 6, 7)。連鎖離断例はキ

図3 耳小骨連鎖離断（外傷性）が疑われた例の tympanogram. (右耳), 右耳 (rt) では反対側に比べてピークが深いことを示す。

図4 左: 耳硬化症(0), 耳小骨連鎖離断例(+)の年令と static compliance の関係を示した。
右: 滲出性, 癒着性中耳炎について左図と同様の関係を示した。

表1 伝音難聴(鼓膜に穿孔のない)の鑑別診断

	tympanometry	impedance	static compliance
耳小骨連鎖離断	A 型 (ピークが深い)	正常～低値	正常～高値
臨床的耳硬化症	A 型	正常～高値	正常～低値
滲出性, 癒着性中耳炎	B 型	高 値	低 値

スタ・アブミ関節離断例でテフロンをツチ骨とアブミ骨底の間に挿置した。

c) SR の域値: 一般に伝音難聴の SR の域値は上昇し検出できないことが多く, 原因による特徴はない。以上の関係を疾患別にまとめると表1のようになる。

骨導検査不能例あるいは判定困難な例に対するインピーダンス・オージオメトリー

骨導検査は気導検査に比べ正確な測定値が得られにくく, 特に幼小児ではこの傾向が強い。このような場合インピーダンス・オージオメトリーをルーチンにおこなっていると伝音難聴か感音難聴か, あるいは伝音障害が混じっているか(混合性難聴)推測できることが多い。混合性難聴の場合は骨導検査は不可欠であり

インピーダンス・オージオメトリーのみでは診断できない。

図8 aはその1例で7才のやや知能低下のある女児で右耳は伝音性かどうか問題である。インピーダンス・オージオメトリーでは tympanometry B型, 右耳に金属管を挿入し左耳に音刺激を与えたときS.R.の検出が不能であり, pneumatic otoscope-による鼓膜所見でも可動性が悪いことから伝音性と診断した。

図8 bは, 4kHz で気骨導差がみられマスキング不足が疑われるが SR 域値正常, tympanometry A型であり感音難聴といえる。

総括と考按

インピーダンス・オージオメトリーなる表現は主に Madsen 型のインピーダンス・メータで検査がおこな

EAR	TYMP. TYPE	IMPEDANCE	STAT. COMPLIANCE
R	A	1807	0.68
L	A	3157	0.28

EAR	TYMP. TYPE	IMPEDANCE	STAT. COMPLIANCE
R	A		0.6
L	A		0.83

図5 耳硬化症(左側耳)術前後の聴力所見:術前 Carhart's notch を認める。S.R 域値両側上昇, tympanometry A型。術前左耳の static compliance は小さく術後に増加している。

EAR	TYMP. TYPE	IMPEDANCE	STAT. COMPLIANCE
R	A	3255	0.32
L	A	863	1.19

EAR	TYMP. TYPE	IMPEDANCE	STAT. COMPLIANCE
R	A	2053	0.5
L	A	2053	0.5

図6 耳小骨連鎖離断(左側耳)術前後の聴力所見:術前左耳の static compliance は 1.19で右耳に比し大きい。術後には減少している。術前: tympanometry A型。SR 域値上昇, 術後 tympanometry はC型に近い。右耳の SR 域値は左耳のアブミ骨筋の存在が確認されなかったの?をつけた。

図7 術前後の static compliance の変化：
耳小骨連鎖離断(+)では術後減少，耳硬化症(0)では増加～不変を示す。

われる場合に適用されるが、この器械で測定される項目がそれぞれ別の器械で測定されても差し支えないと考える。伝音難聴の鑑別診断に重要なのは主に tympanometry と static compliance あるいはインピーダンスであるが、SR 域値の測定をも含めてこれらの情報の総合が伝音難聴のみならず感音難聴の診断にまでおよぶことがインピーダンス・オージオメトリーと表現される理由と考える。

本稿では Madsen 型により鼓膜に穿孔のない伝音難聴の鑑別診断の可能性を調べたが既に報告されているように¹⁾、臨床的耳硬化症、連鎖離断例では、ともに static compliance が正常範囲を示すものもあり、この方法のみでは診断が困難な場合がある。tympanometry では臨床的耳硬化症、連鎖離断ともに A 型であるが、compliance の変化はピークがゼロ以上、あるいは深いものは compliance が大きいので連鎖離断の存在を示唆するといわれている⁵⁾。同様な症例は図 1 に示した。

static compliance が正常範囲内にある場合左右を比較して患側が正常の上限あるいは下限のいずれに近い

かをみて、その上に中耳炎の既往、家族歴（特に耳硬化症の家族歴や耳手術を受けたことのある同胞の有無など）、鼓膜所見、耳のレ線所見（特に乳様蜂巣の發育）などを参考に病変を推測する以外にない。

滲出性中耳炎については Bluestone⁸⁾ の報告があるが、貯溜液の有無は compliance の値との関係が深い。すなわち compliance の低値のものに貯溜液の存在する率が高い。しかし癒着性中耳炎を伴っている例では compliance の値のみから貯溜液の有無を診断することはしばしば困難で、鼓膜所見から癒着が疑われる場合には鼓膜切開あるいは穿孔によって貯溜液の有無を検査するのがよいと思われる。

純音聴力検査で骨導聴力損失値の正確さが疑わしく気・骨導値の差の有無が判然としない症例にしばしば遭遇する。特に小児では正確な骨導値を得ることが難しく、外耳道閉鎖骨導聴力検査法を施行し難い場合がある。

このような例ではインピーダンス・オージオメトリーにより伝音障害か感音障害か推測できるばかりでなく症例によっては気導聴力検査とインピーダンス・オージオメトリーで伝音障害の存在が否定できるので骨導検査を必ずしも必要としないこともある。ただし、混合難聴の診断は骨導検査なしではできない。

アブミ骨切除後の症例で消失するはずの S.R が認められた例が報告されている¹⁴⁾。この報告では術後 3 年を経過しているが、恐らく鼓膜張筋の収縮によるもので驚愕反射のようなものと推察している。一方アブミ骨切除後の症例でもコンピュータで加算すれば鼓膜張筋の反射が記録されている⁴⁾。しかし一般には、鼓膜インピーダンスの測定では音刺激に対する鼓膜張筋反射の影響はないとされている。

Jerger ら⁹⁾ の報告にもみられるように tympanometry は健康者でも時に B.C 型が（一過性のこともあるが）みられ特に幼小児ではこの傾向が著しい。static compliance についても、年令、性により差があり、女性より男性より低値を示し、男女とも加齢に伴ない compliance は減少する。健康者でもこのように測定値がばらつくこと、また耳硬化症、連鎖離断でも測定値が正常範囲内にあることもかなり多いようであるのでインピーダンス・オージオメトリーのみでは決定的な診断を下せないが、この方法の有用性を否定するものではない。Madsen 型では連鎖離断と固着が併存しているときには診断が困難である。

Madsen 型の electro-acoustic bridge は Metz,

STAPEDIUS REFLEX

AGE 7

EAR	TYMP. TYPE	IMPEDANCE	STAT.COMPLIANCE
R	B		0.3
L	A		0.8

STAPEDIUS REFLEX

AGE 25

EAR	TYMP. TYPE	IMPEDANCE	STAT.COMPLIANCE
R	A		
L	A

- 図8 a) 7才女児: 右中耳炎後の聴力像, S.R 検出不能, static compliance 減少, tympanometry B型で伝音難聴の所見に一致する。
- b) 25才女性: 左耳 4 KHZ に気骨導差がありマスキング不足によると思われたがインピーダンス・オーディオメトリーの所見はこれを裏付ける。compliance は検査不要である。

Zwislocki の acoustic bridge の原理から臨床的に応用し得る方法に工夫されたものであり、Terkildsen と Scott-Nielsen の功績に負うところが大きい¹⁵⁾。この方法を Zwislocki らの方法その他と比較した場合の長所、短所は Marquet¹⁰⁾らによれば次のようである。

短 所

1) 220Hz の音による tympanogram では Lidén が示すような W 型のような型や不規則な曲線が得られない。

2) 絶対的インピーダンスの測定（加圧などの条件下でない static の状態での測定）ができない。インピーダンスの抵抗の部分が臨床家の関心をひかない。

3) Z_d は前述したように概算されるにすぎない。

以上のような短所があるが臨床的には有用であるとされている¹⁶⁾。

長 所

1) 頭の固定が不要であり知能の遅れた幼児や通常の検査に非協力的患者の検査も可能

2) アルゴリズムで外耳道腔の容積を測定する必要がない。

3) tympanometry が可能である。

4) アブミ骨筋反射が定量的に記録可能で decay も測定できる。一方 Zwislocki 型のものでは定性的測定しかできない。(S.R が生じたときに compliance が減じ、インピーダンスが増加するため再び聴取管で検査音がきこえる。)

結 論

1) Madsen ZO 72 (electro-acoustic impedance bridge) を用いるインピーダンス・オージオメトリーの原理について解説し鼓膜に穿孔のない伝音難聴の鑑別診断の可能性を調べた。

2) 臨床的耳硬化症、耳小骨連鎖離断、滲出性および癒着性中耳炎の鑑別は tympanometry と static compliance を測定することにより可能なことが多い。典型的な例の場合、耳硬化症では static compliance は正常より低値を示し耳小骨連鎖離断例では高値を示す。滲出性および癒着性中耳炎では tympanometry が大部分 B 型を示す。static compliance は正常よりも著しく低値を示す。以上の傾向は耳硬化症と耳小骨連鎖離断例については術前、術後の static compliance の比較からも裏付けられた。

3) この方法を骨導聴力検査困難な例や判定困難な例に応用し伝音難聴か感音難聴か、あるいは伝音障害

が合併しているか推測することができることもある。

本論文の要旨は第 1 回日本耳科学会総会で口演した。

鈴木教授の御校閲を感謝致します。

The Application of Impedance Audiometry to the Diagnosis of Deafness

Part I. Diagnosis of Conductive Deafness without Ear Drum Perforation

Jin Kanzaki, M.D., et al.

Dept. of Otolaryngology, School of Medicine
Keio University

The basic principles of impedance audiometry were described and the possibilities of the diagnosis in conductive deafness without ear drum perforation were studied. Differential diagnosis of otosclerosis, ossicular dislocation and adhesive and exudative otitis media were possible by tympanometry and static compliance. When tympanometry and static compliance are within normal values in cases with conductive deafness showing normal ear drum, the diagnosis can be made by history, the presence of Carhart's notch and x-ray findings of the temporal bone.

By applying this method in cases, in which the bone conduction level is difficult to obtain or the result of the test is hard to evaluate especially in young children, it is possible to make the differential diagnosis of conductive deafness from sensorineural hearing loss in certain cases, but it is not possible to make the diagnosis of mixed deafness.

参 考 文 献

- 1) Alberti, P.W.K.M., et al.: The clinical application of impedance audiometry. *Laryngoscope*, 80; 735-746, 1970.
- 2) Bicknell, M.R., et al.: A clinical evaluation of the Zwislocki acoustic bridge. *J. Laryng. Otol.*, 82; 673-692, 1968.
- 3) Bluestone, C.D., et al.: Audiometry and tympanometry in relation to middle ear effusions in children. *Laryngoscope*, 83; 594-604, 1973.
- 4) Draf, W., et al.: Klinische Vergleich von Impedanzmessung und anderen Recruitmentprüfmethoden. *Z. Laryng. Rhinol.*, 51; 700-709, 1972.
- 5) Feldman, A.S.: 3) より引用
- 6) Jepsen, O.: The threshold of the reflexes of the

- intratympanic muscles in a normal material examined by means of the impedance method. *Acta Otolaryng.*, 39 ; 406—408, 1951.
- 7) Jerger, J.: Clinical experience with impedance audiometry. *Arch. Otolaryng.*, 92 ; 311-324, 1970.
- 8) Jerger, J. et al.: Studies in impedance audiometry. *Arch. Otolaryng.*, 96 ; 513-523, 1972.
- 9) Keith, R.W.: Impedance audiometry with neonates. *Arch. Otolaryng.*, 97 ; 465-467, 1973.
- 10) Marquest, J., et al.: Topics in physics and middle ear surgery. *Acta Otolaryng. (Belg.)*, 27 ; 137-320, 1973.
- 11) Metz, O.: The acoustic impedance measured on normal and pathological ears. *Acta Otolaryng.*, Suppl. 63 ; 1-254, 1946.
- 12) Metz, O.: Threshold of reflex contractions of muscles of middle ear and recruitment of loudness. *Arch. Otolaryng.*, 55 ; 536-543, 1952.
- 13) Møller, A.: Improved technique for detailed measurements of the middle ear impedance. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 32 ; 250-257, 1960.
- 14) Prasansuk, S., et al.: Acoustic stapedius reflex elicited after stapedectomy. *J. Laryng. Otol.*, 86 ; 637-641, 1972.
- 15) Terkildsen, K., et al.: An electroacoustic impedance measuring bridge for clinical use. *Arch. Otolaryng.*, 72 ; 339-346, 1960.
- 16) 阿瀬雄治: 鼓膜のインピーダンスの測定法とその臨床的応用. *耳鼻臨床*, 61 ; 1443-1474, 1968.
- 17) 神崎 仁, 他: インピーダンス・オージオメトリーの臨床的応用. *耳喉*, 45 ; 1009-1019, 1973.
- 18) 大竹欣哉, 他: インピーダンス・オージオメトリーの臨床応用(electro-acoustic impedance bridge法). *Audiology Japan*, 15 ; 469-470, 1972.

(受付 49.2.5)