SIMULTANEOUS RECORDING AND AVERAGING OF MIDDLE EAR
MUSCLE REFLEX MEASURED BY IMPEDANCE AND
EAR CANAL PRESSURE

IWAO HONJO, M. D., HIROSHI MATSUI, M. D.,
NOBUHIRO OKAZAKI, M. D. and KOICHI USHIRO, M. D.

Department of Otolaryngology, Kansai Medical University
(Director: T. Kumazawa, M. D.)

In order to study the detailed mechanism of the middle ear muscle reflex, especially the role of the tensor tympani muscle in the reflex, simultaneous recordings of both the middle ear impedance and the external ear pressure were performed in 100 normal ears. Acoustic stimulation to the contralateral ear and air-jet stimulation to the ipsilateral eye which mainly produced the tensor reflex, were applied in this study. Each ten reflex waves was averaged by a medical computer. The results were as follows;

- 1) acoustic stimulation provoked inward movement of the ear drum in 52% of subjects, outward one in 25% and biphasic one in 23%. Thus, there was no consistent direction in the movement of the ear drum caused by the acoustic stimulation, suggesting participation of the tensor tympani muscle in the acoustic reflex.
- 2) air-jet stimulation to the eye produced inward displacement of the drum in 85%, which indicated marked contribution of the tensor muscle to this reflex. However, it was revealed that air-jet stimulation had a little effect upon impedance change of the drum.
- 3) latency of the reflex measured by external ear pressure was considerably shorter than that measured by impedance method.

A83—1461—22022

庄, インピーダンス同時加算法による耳小骨筋反射の検討

関西医科大学耳鼻咽喉科学教室（主任：熊沢忠躬教授）

本 庄 巖, 松 井 博 史, 岡 崎 伸 博,
牛 呂 公 一

I 緒 言

強大音から内耳を守る生体防御反応の一種とされる耳小骨筋反射は、近年普及の著しいインピーダンス法により臨床的、基礎的観点から数多くの研究がなされている。しかし、この反射機構はなお完全に解明されたとはいえない。その理由として本反射には収縮様式の異なる2つの耳小骨筋、すなわちアブミ骨筋と鼓膜張筋とが関

与しており、刺激に対する反応様式が各々異なる事、インピーダンス法では反射による鼓膜の実際の動き、すなわち鼓膜の運動方向や程度が判定出来ない事などが挙げられる。

そこでわれわれは、鼓膜変位を知るために外耳道微小圧変化の記録を鼓膜インピーダンス記録と同時に、更に音刺激に加え air jet 刺激を行った。こうして得ら

れた4つのパラメーターを比較検討する事により、耳小筋反射のメカニズムの詳細を明らかにしようと試みた。本編では主に測定条件、方法につき従来の方法と比較しつつ述べるが、測定結果の詳細な吟味は次稿にゆずる。

Ⅱ 方 法

1. 被検者：聴力、鼓膜共に正常、ティンパノグラムA型の成人 100耳。
2. 測定方法：図1のごときブロックダイアグラムで刺激を与え、外耳道圧と鼓膜インピーダンスの反射波形を10回加算の上、XYレコーダーで記録した。

i) 刺激法

a. 音刺激：音発生装置（DA-502）による 500Hz、1000Hz の純音を反対耳にヘッドホン（TDH-49）を介して与えた。持続時間 100 msec、3 秒間隔で 10回 与えた。

b. air jet 刺激：圧縮空気（0.5 kg/cm²）を散水用 stopper を用い、眼前約 20 cm の距離で同側眼球に断続的に噴射した。持続時間約 120 msec、約 3 秒の間隔で 10回 与えた。音刺激では刺激波そのものを trigger として用いたが、air jet 刺激では眼角部のサーミスター（SR-11S）で温度差を電気信号に変換し trigger とした。また体動による測定誤差を最小にする為、測定は全て被検者を仰臥位として行った。

ii) 反射記録法：鼓膜インピーダンスを amplaid 702 インピーダンスメーターで記録した。一方外耳道の微小圧変動を高感度差圧トランスジューサー（TP-601T）を用いて記録した。これらインピーダンスと外耳道圧を医

図1 音刺激、air jet 刺激(図左側)時の外耳道圧、鼓膜インピーダンス測定(図右側)

用電算機（ATAC 350）で各々10回加算したのち、XYレコーダーで記録した。

Ⅲ 結 果

1. 波形について

i) 音刺激時：代表的な耳小骨筋反射の10回加算結果を図2、図3に示す。図2に代表される波形は検査対象

図2 音刺激による耳小骨筋反射10回加算波形、対象の52%に外耳道圧減少(鼓膜内陥)がみられた

図3 音刺激時の耳小筋反射加算波形，対象の25%に外耳道圧増加（鼓膜突出）がみられた

図4 air jet 刺激時の10回加算波形，対象の85%に外耳道圧減少（鼓膜内陥）がみられた。

の52%にみられたもので，音刺激により外耳道圧が減少しており，鼓膜の内方移動が起った事が知られる．一方コンプライアンスは減少しており，刺激により鼓膜耳小骨系のインピーダンス（音響抵抗）は増加している．

一方図3の様な波形は対象の25%にみられ，コンプライアンスは先と同様著減しているが，外耳道圧は前例とは逆に増加しており，この群では音刺激により鼓膜が突出する事が知られた．残る23%では鼓膜の変位は2相性

であり突出，内陥いずれとも判定できなかった．これら反射時の外耳道圧変化は0.1 mmH₂O 程度の微弱なものであった．

ii) air jet 刺激時：代表的な反射波形を図4に示す．jet 刺激により外耳道圧の減少つまり鼓膜の内陥が惹起されており，この様な反応様式は対象の85%にみられた．一方鼓膜のコンプライアンスはこの例では減少しているが，検査対象の38%は図5のごとくで，jet 刺激で

図 5 air jet 刺激時の加算波形，対象の38%はインピーダンス不変であった。

type	1	2	3
sound stimulus	pres. 	pres. 	pres.
	compliance (51) 	compliance (19) 	compliance (16)
	(1) 	(5) 	(6)
	(1) 	(1) 	(1)
%	52	25	23

type	A	B	C
jet stimulus	pres. 	pres. 	pres.
	compliance (52) 	compliance (6) 	compliance (1)
	(3) 	(6) 	(2)
	(30) 	(6) 	(2)
%	85	12	3

図 6 外耳道圧変化の面からみた音刺激，air jet 刺激時の耳小筋反射のタイプ別分類

は鼓膜インピーダンスは不変である事が判った。以上耳小骨筋反射波形を外耳道圧変化の面から分類すると図6のごとになる。

2. 潜時について

音刺激時の反射潜時を圧測定法とインピーダンス法とで比較すると図7の如くなる。この際潜時は音刺激開始から反射開始（波形が基線を越えて変動した点）迄の時間とした。図は500Hz使用時の潜時であるが、1kHzの潜時もほぼこれと同様であった。太線は圧測定法、インピーダンス法での平均潜時を示す。圧測定法による潜時の平均は100dBで33.5msec、インピーダンス法では、100dBで85.5msecであり、圧測定法による潜時はインピーダンス法のその1/2以下と短い事が判った。

考 按

はじめにも述べたごとく耳小骨筋反射の機構についてはなお不明点があり、なかでも鼓膜張筋の作動様式については十分に判っていない。この解明の手がかりを得るため、われわれはインピーダンス法に加え、外耳道微小圧測定法を用い、また刺激として音刺激に加え、主に鼓膜張筋の収縮を惹起するとされる眼球 air jet 刺激を用いた。以下これら測定法に関する吟味を従来の報告を参考にして行い、正常100耳の測定結果を分析する。

1 耳小骨筋反射の記録について

耳小骨筋反射の観察、記録の方法はインピーダンス法が全てではなく、従来から多様な方法が報告されている。これらには耳小骨筋の動きを直視する方法、鼓膜に貼布した小鏡の反射光を見る法、筋電図学的方法などがある。

なかでも Metz (1951)¹⁾, Thomsen (1955)²⁾, Møller (1958)³⁾ らにはじまるインピーダンス法は、反射により惹起される鼓膜・耳小骨系の音響インピーダンスの変化を検出する測定法であり、反射の有無や程度を鋭敏に検出できる点で優れている。しかしこの方法では反射によって惹起される鼓膜の運動、すなわち鼓膜が内陥するか突出するか或いは不変であるかは全く判らない。この鼓膜の変位方向はその耳小骨筋反射に関与する筋が主に何であるかを推定する有力な手掛りとなりうる。変位方向は先の直視法や光学的方法でも可能であるが、外耳道圧法の方が正確である。圧測定法としては既に Mendelson (1957)⁴⁾, Terkildsen (1957)⁵⁾, Holst ら (1963)⁶⁾, Møller (1964)⁷⁾ らの報告があり、外耳道微小気流測定

図7 音刺激時の耳小骨筋反射の潜時
実線は圧、点線はインピーダンス法の潜時を、また太線は各測定法による平均潜時を示す

法も Holst ら (1963)⁶⁾, Casselbrant ら (1977)⁸⁾ により報告されている。

圧測定法、気流測定法それぞれに長所と短所とがあるが、われわれは高感度の差圧トランスジューサー (TP-601T) を外耳道微小圧変動の検出に用いた。この器機は 10^{-2} mm 水柱単位の微小圧変動も記録しうる事が確認されている。この外耳道圧と鼓膜音響インピーダンスとの同時記録により、耳小骨筋反射の潜時、方向性、程度、反応持続時間などを圧とインピーダンスの両面から比較検討できる様にした。この様な同時記録法は Lidén ら (1980)⁹⁾ により既に試みられているが、単一波形なので定量分析には波形上やや問題がある。そこで両波形を毎医用電算機で10回加算処理を行い、S/N比を改善し測

定誤差の少ない波形とした。

2. 刺激方法について

耳小骨筋反射を惹起する刺激としては従来主に音刺激が用いられて来た。これは聴神経から顔面神経を介し、主にアブミ骨筋を収縮させるルートである。このほか非音響刺激として三叉神経を介して耳小骨筋反射を惹起させるルートがあり眼球に対する air jet 刺激が鼓膜張筋の収縮を (Klockhoff 1960)¹⁰⁾、耳を中心とする顔面皮膚の接触刺激がアブミ骨筋収縮を (Djupestrand 1967)¹¹⁾ 来たす事が既に知られている。

われわれはこのうち、鼓膜張筋の収縮を惹起する air jet 刺激を用いた。音刺激の場合には trigger は問題とされないが、air jet では刺激と同時に掃引を開始し反射波形を記録するには刺激が眼球部に到達した際の正確な信号が必要となる。そこで air jet による微小な温度変化をキャッチするサーミスターを眼下部に置き、これで trigger を得るようにした。

3. 鼓膜の変位方向について

a. 音刺激による鼓膜変位：従来音響刺激ではアブミ骨筋が主に収縮し、その結果鼓膜突出例の方が多いとされて来た (Mendelson 1957¹²⁾, Terkildsen 1960¹³⁾, Holst 1963⁶⁾)。しかしわれわれの測定結果では鼓膜内陷例の方が突出例よりも倍以上多く、頻度的には従来報告と逆の結果となった。Møller⁷⁾ はネコ、ウサギのアブミ骨筋と鼓膜張筋とを別々に電気刺激し、アブミ骨筋が鼓膜運動に影響をおよぼしにくい事を証明している。従って明確な鼓膜内陷例では逆に鼓膜張筋が関与している事が考えられる。少なくとも従来いわれて来た様に音刺激＝アブミ骨筋収縮＝鼓膜突出 というパターンだけではなく、鼓膜張筋関与例もかなりあると推定され、音刺激に於て鼓膜の移動方向に一定傾向をみつける事は困難と思われた。

音刺激時のインピーダンス変化は対象の98%にコンプライアンスの減少、つまり鼓膜耳小骨系の音響抵抗の増加がみられ、これは強低音に対する内耳の保護作用という面から当然の事と考えられた。

b. air jet 刺激時の鼓膜変位：先述の様に鼓膜内陷例が85%を占め、大多数例で鼓膜が内側へ引かれる事が判った。Møller (1964)⁷⁾ は動物実験で鼓膜張筋の収縮が常に鼓膜内陷を来す事を認めているが、人でも air jet 刺激では鼓膜内陷筋である鼓膜張筋の収縮が主に惹起されると考えられる。しかし12%には鼓膜突出例をみており、これが果してアブミ骨筋の収縮によるものか、ある

いは鼓膜張筋の収縮が Neergaard ら (1966)¹³⁾ の仮説の様に外耳道圧として働くかはなを検討の余地がある。一方インピーダンスについてみると、その38%ではインピーダンスの変化を全く認めず、鼓膜張筋は鼓膜変位には大きく働くが、インピーダンスにはあまり影響しないと推定された。

4. 潜時について

音刺激時の潜時は、測定の方法により大きく異なる事は当然である。われわれの結果では、外耳道圧法で測定した潜時はインピーダンス法のそれに比し著しく短く、1/2 以下であった。従来報告をみるとインピーダンス法による潜時が最も長く、Metz (1951)¹⁴⁾ は 35~150 msec., Møller (1958)⁸⁾ は 96.4 msec., Terkildsen (1960)¹²⁾ は 110 dB で 44 msec., 90 dB で 57 msec. と報告し、ほぼわれわれのインピーダンス法の結果と近似している。一方圧測定法の潜時は Holst ら (1963)⁶⁾ によると 19 msec ~ 79 msec. である。筋電図による潜時は、アブミ骨筋では 10~18 msec. (Perlman, Case¹⁴⁾, Fisch, Schulthess¹⁵⁾)、鼓膜張筋では 80~300 msec. (Salomon, Star¹⁶⁾, Djupestrand¹¹⁾) と報告されている。

この様に測定法により大幅に潜時に差があるのは、刺激による反射が先ず筋収縮 (筋電図) を来し、その結果鼓膜の変位が起こり外耳道圧変化が生じる。この際の鼓膜緊張度の変化を検出するインピーダンス法では、鼓膜に反射させた検査音の音圧変化を受けるため、潜時が最も長くなるものと考えられた。

結 語

1) 正常耳 100 耳を対象とし音刺激、air jet 刺激時の耳小骨筋反射を、外耳道圧とインピーダンスとで同時測定し、各反射波形を 10 回加算記録した。

2) 音刺激では鼓膜内陷例が 52%、鼓膜突出例が 25% にみられ、鼓膜変位に関しては従来報告されている様な一定の傾向がない事が知られた。しかしインピーダンスの増大は 98% とほぼ全例にみられた。

3) air jet 刺激では対象の 85% が鼓膜内陷を示し、この反射に鼓膜張筋が主として関与している事が推測された。一方 air jet 刺激は鼓膜インピーダンスにあまり影響を与えぬ事が確かめられた。

4) 耳小骨筋反射の潜時はインピーダンス法では従来報告とほぼ同様であったが、外耳道圧測定法ではインピーダンス法の 1/2 以下と短く、100 dB, 500 Hz では平均 33.5 msec. であった。

参 考 文 献

- 1) Metz O: Studies on the contraction of the tympanic muscles as indicated by changes in the impedance of the ear. *Acta Otolaryngol.* 39: 397-405, 1951.
- 2) Thomsen K A: The Metz recruitment test. *Acta Otolaryngol.* 45: 544-552, 1955.
- 3) Møller A R: Intra-aural muscle contraction in man, examined by measuring acoustic impedance of the ear. *Laryngoscope* 68: 48-62, 1958.
- 4) Mendelson E S: A sensitive method for registration of human intratympanic muscle reflexes. *J. appl. physiol.* 11: 499-502, 1957.
- 5) Terkildsen K: Movements of the eardrum following intraaural muscle reflexes. *Arch Otolaryngol.* 66: 484-488, 1957.
- 6) Holst H et al: Ear drum movements following stimulation of the middle ear muscles. *Acta Otolaryngol. Suppl* 182: 73-83, 1963.
- 7) Møller AR: Effect of tympanic muscle activity on movement of the eardrum, acoustic impedance and cochlear microphonics. *Acta Otolaryngol.* 58: 525-534, 1964.
- 8) Casselbrant M et al: Volume displacement of the tympanic membrane in the sitting position as a function of middle ear muscle activity. *Acta Otolaryngol.* 84: 402-413, 1977.
- 9) Lidén G et al: Simultaneous recording of changes in relative impedance and air pressure during acoustic and non-acoustic elicitation of the middle-ear reflexes. *Acta Otolaryngol.* 263: 208-217, 1970.
- 10) Klockhoff I and Anderson H: Reflex activity in the tensor tympani muscle recorded in man. preliminary report. *Acta Otolaryngol.* 51: 184-188, 1960.
- 11) Djupesland G: Contractions of the tympanic muscle in man. Thesis. Universitetsfolaget Oslo. Norway, 1967.
- 12) Terkildsen K: Acoustic reflexes of the human muscles tensor tympani. *Acta Otolaryngol. Suppl* 158: 230-238, 1960.
- 13) Neergaard E B and Rasmussen P E: Latency of the stapedius muscle reflex in man. *Arch Otolaryngol.* 84: 173-180, 1966.
- 14) Perlman H B and Case T J: Latent period of the crossed stapedius reflex in man. *Ann Otol. Rhinol Laryngol.* 48: 663-675, 1939.
- 15) Fisch U and Schulthess G: Electromyographic studies on the human stapedial muscle. *Acta Otolaryngol.* 56: 287-297, 1965.
- 16) Salomon G and Starr A: Electromyography of middle ear muscles in man during motor activities. *Acta Neural Scan.* 39: 161-168, 1963.

(原稿受付 昭和55. 3. 19日)

別刷請求先 〒570 守口市文園町 1

関西医科大学耳鼻咽喉科学教室 本庄 巖