耳小骨筋反射の分析的研究

一圧, インピーダンス同時記録による一

松 井 博 史

An Analysis of Middle Ear Muscle Reflex by Simultaneous Measurements of Acoustic Impedance and Ear Canal Pressure

Hiroshi Matsui

(Kansai Medical University)

In this study an attempt was made to analyse the function of two middle ear muscles, i.e. stapedius and tensor tympani muscles by simultaneous recording of the acoustic impedance of the ear drum and the pressure in the ear canal. Subjects were 100 normal adults and 63 patients with ear diseases. Animal experiments were also carried out to ascertain the results from the humans. The reflex was induced either by acoustic or orbital air jet stimulation.

The results from the normal subjects suggested that the muscle responsible for the reflex was not only the stapedius muscle but the tensor tympani muscle as well.

The tensor tympani reflex was examined in 53 patients who had paralysis of the stapedius muscle due to complete facial palsy. The reflex was also examined in 6 patients with otosclerosis and 4 patients with an interrupted ossicular chain. It was found that the tensor tympani muscle responded to the air jet stimulus in almost all the cases, whereas it responded to the acoustic stimulus in a relatively few cases.

Experiments were carried out in 12 cats under anesthesia with Ketalar. It was revealed that the tensor tympani muscle caused marked inward movement of the drum either by acoustic or air jet stimulation, while it produced little effect on acoustic impedance. On the other hand, the stapedius muscle elicited little change in the drum movement, despite a marked increase in acoustic impedance.

In conclusion, it was suggested that the acoustic reflex was caused mainly by the stapedius muscle, but about 20% of the acoustic reflex was affected by the tensor tympani muscle. Air jet stimulation caused tensor contraction. Increased acoustic impedance in some cases, however, seemed to indicate the involvement of the stapedius muscle.

目 次

I. 緒言	3. 結果 波形の分類
II. 正常耳の耳小骨筋反射	4. 考按 a) 測定法について b) 刺激法について c) 鼓膜変位方向について
1. 目的	
2. 方法 a) 測定法 b) 刺激法	5. 小括

Ⅲ. 異常耳の耳小骨筋反射

1. 目的
2. 方法
3. 結果 a) 顔面神経完全麻痺 b) 耳硬化症
c) 耳小骨連鎖離断
4. 考按 a) 鼓膜張筋反射について
b) アブミ骨筋反射について
5. 小括

Ⅳ. 耳小骨筋反射の実験的研究

1. 目的
2. 方法
3. 結果 a) 三叉神経頭蓋内切断 b) 顔面神経

- 頭蓋内切断 c) アブミ骨固定 d) 耳
小骨連鎖離断 e) 顔面神経電気刺激
f) 三叉神経電気刺激
4. 考按 a) 実験動物および方法について
b) 鼓膜張筋収縮について
c) アブミ骨筋収縮について
d) 両筋収縮の場合について
e) 動物(猫)とヒトの差について

5. 小括

V. 総括

Ⅵ. 結語

Ⅶ. 参考文献

I. 緒 言

耳小骨筋反射の研究は 1878 年 Hensen⁸⁾ が音刺激時の犬鼓膜張筋の収縮を観察した事にはじまる。以後この分野で数多くの実験的、臨床的研究がなされており、特に動物での耳小骨筋反射のメカニズムはかなり明確にされて来た。すなわち Hammerschlag (1899)⁷⁾ は犬、猫で鼓膜張筋の反射経路を明らかにし、Kato (1913)¹⁰⁾ は家兎、猫の鼓膜運動の光学的記録により、鼓膜張筋とアブミ骨筋とが協同して強低音からの内耳防御をすることを証明した。Okamoto et al (1954)²⁰⁾ は光学的方法で、宮原 (1966)³²⁾ は中耳圧測定法で猫音刺激時の鼓膜内陷を証明した。また Møller (1964)¹⁷⁾ は猫、家兎の鼓膜張筋電気刺激では外耳道陰圧化(すなわち鼓膜内陷を示している)が、アブミ骨筋刺激では鼓膜変位を認めないことを見出した。

近年、インピーダンス法により鼓膜-耳小骨系の音響インピーダンスに 関しての知見が大幅に増加したがヒト耳小骨筋反射についてはなお不明な点が残されている。そこで本研究ではインピーダンス測定と同時に微小差圧トランスジューサによる外耳道圧測定法を行ない、各耳小骨筋の作用機序を分析的に調べようとした。また波形の加算処理により S/N 比の向上を計った。この測定法を用いヒトの正常耳、異常耳の観察を行ない、さらにこれらの知見を確認すべく動物での実験的観察をあわせ行った。こうして耳小骨筋反射における鼓膜張筋とアブミ骨筋との各筋のインピーダンスおよび鼓膜変位におよぼす影響を分析的に調べようとした。

Ⅱ. 正常耳の耳小骨筋反射

1. 目的

ヒトの音響性耳小骨筋反射ではアブミ骨筋が主体をなす事が知られているが¹¹⁾¹⁹⁾、このほかに鼓膜張筋が関与する反射も知られている¹³⁾²³⁾。しかしヒトでは観察条件の制限から各耳小骨筋の反射の関与度、インピーダンスや鼓膜変位におよぼす影響、刺激法による反射の差異などについてなお充分明らかではない。そこで本項では多数正常耳についての音響および非音響刺激時のインピーダンスと、鼓膜変位とを調

べ、耳小骨筋反射における各筋の正常作動様式の範囲を知ろうとした。

2. 方法

a) 測定法

正常聴力、正常鼓膜、ティンパノグラム A 型を呈する成人 100 耳を測定対象とした。反射測定は音響インピーダンスと外耳道圧との同時記録法によった。インピーダンス測定には Amplaid 702 を用い、インピーダンスとは逆数の関係となるコンプライアンスとして測定し外耳

道圧測定には高感度差圧変換器 (TP-601T) をインピーダンスメーターの加減圧用チューブに接続して行った。コンプライアンス、圧波形は医用電算機 (ATAC 350) で10回加算ののち、X-Yレコーダで記録した (図1)。

b) 刺激法

音刺激：音刺激装置 (DA-502) から純音 (500 Hz, 1 kHz) を反対耳にヘッドホン (TDH 39) を介して与えた。刺激持続時間は100 msec, 3 秒間隔で10回与えた。

air jet 刺激：圧縮空気を散水用 stopper を介し同側眼球に噴射した。眼前距離約20cm, $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力で、持続時間は約 120 msec, 3 秒間隔で10回与えた。この air jet は眼角部のサーミスター (SR-11S) で電気信号に変換され、加算掃引用 Trigger として働いた。

測定中体動による測定誤差を最少にする為に被検者を全て仰臥位とした。

3. 結果

波形の分類：耳小骨筋反射の代表的波形を図2～5に示す。正常耳100耳の反射波形は外耳道圧を中心にみると図6に示す如く音刺激、air jet 刺激別にそれぞれ3型に分類された。

音刺激時：type 1) 外耳道陰圧すなわち鼓膜内陥例は52%と半数以上を占め、type 2) 逆に鼓膜突出例は25%と内陥例の1/2以下であった。type 3) 残る23%は突出後内陥か、内陥後突出と2相性の鼓膜の動きを示した。他方コンプライアンスについてみると2例の微増例を除き全て減少すなわちインピーダンス増加した。

air jet 刺激時：type A) 鼓膜内陥例が85%と大半を半めたが、type B) 鼓膜突出例も12%に認められ、type C) 鼓膜不動例がわずか(3%)に認められた。一方インピーダンス増加例は59%にとどまり、先の音刺激時の98%の減少に比し、著明に少ないことがわかった。

4. 考按

a) 測定法について：Metz (1951)¹⁶⁾, Thomsen (1955)²⁴⁾, Møller (1958)¹⁷⁾ らにはじまるインピーダンス法は耳小骨筋反射検出の

図1：測定装置のブロック図

優れた方法であるが、一方鼓膜の変位方向（内陥か突出か）も反射の重要な情報となりうるので、本研究では高感度差圧変換器による外耳道圧測定を同時に行った。また医用電算機による波形の加算で明確な波形を得るようにした。

本法による音刺激時の耳小骨筋反射検出率は圧測定法、インピーダンス法ともに100%であり、Terkildsen (1960)²³⁾ (圧測定法) の95%、中田 (1968)²⁸⁾ (圧測定法) の80.2%、Lidén (1970)¹³⁾ (圧測定法) の82%、Flottorp (1970)⁵⁾ (インピーダンス法) の83%に比し高い陽性率といえる。

b) 刺激法について：通常用いられる音刺激は聴神経（求心路）から顔面神経（遠心路）を介し、ヒトでは主にアブミ骨筋を収縮させる刺激である¹¹⁾¹⁹⁾。一方非音響刺激としての三叉神経（求心路）を介して反射を誘発するものとしては、外耳道皮膚の電気刺激 (Klockhoff, 1959)¹¹⁾、耳を中心とする接触刺激 (Djupesland, 1964)¹¹⁾ がアブミ骨筋の収縮を来す事が知られている。他方 air jet の眼前噴射 (Klockhoff, 1960)¹²⁾, Djupesland, 1969²⁾, Lidén,

図 2 : 音刺激時の耳小骨筋反射(1)

図 3 : 音刺激時の耳小骨筋反射(2)

図 4 : air jet 刺激時の耳小骨筋反射(1)

図 5 : air jet 刺激時の耳小骨筋反射(2)

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

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

図 6 : 耳小骨筋反射波形の分類

1970¹³⁾) が主に鼓膜張筋の収縮を惹起する事が知られている⁴⁾。本研究では **air jet** 刺激により鼓膜張筋の収縮を惹起しようとした。

c) 鼓膜の変位方向について

(i) 音刺激時の鼓膜変位としてアブミ骨筋収縮による鼓膜突出例が主であるとされて来た (Mendelson, 1957¹⁵⁾, Terkildsen, 1960²³⁾, Holst, 1963⁹⁾)。しかし今回の結果では鼓膜内陷例 (52%) が突出例 (25%) の2倍以上と従来の報告とは逆の結果となり、本反射に関与する筋がアブミ骨筋のみではない事が示唆された。

さらに23%にみられた2相性波形には潜時の異なる2種の筋, すなわち潜時の短いアブミ骨筋と潜時の長い鼓膜張筋との2波形の合成が想定され, 反射に関与するのはアブミ骨筋だけでなく, 鼓膜張筋の関与例もあることが示された。

この際のインピーダンス変化を見ると対象の98%で鼓膜一耳小骨系の音響インピーダンスの増加がみられ, これは Galambos (1959)⁶⁾ (動物実験), Neegaard (1966)¹⁹⁾ (側頭骨標本), Djupesland (1964)¹¹⁾ (ヒト手術時の観察) らの報告による如くアブミ骨筋が音減衰の主役であるとする従来の説と一致した。

(ii) **air jet** 刺激時の鼓膜変位は鼓膜内陷が

85%, 鼓膜突出が12%, 無反応が3%であり, Lidén (1970)¹³⁾ の93例による内陷63.4%, 突出9.7%, 2相性14%とほぼ近似した傾向である。Lidén はこれを **air jet** 刺激中に驚愕反射の一部として鼓膜張筋が収縮したものが鼓膜内陷として現われたものと解釈している。

この際のインピーダンス増加は59%であるが, 38%は不変例であり, 音刺激時に比しインピーダンス変化の著明に少ない事が判った。

5. 小括

① 外耳道圧, インピーダンス同時加算測定法は反射検出率にすぐれ, 鼓膜の変位方向とインピーダンスの変化とを同時に測定する利点を持つ。

② 音刺激では従来の報告と異なり, 鼓膜内陷例 (52%) が突出例 (25%) より多く, 2相波形も23%にみられヒト耳小骨筋反射に関与する筋がアブミ骨筋のみではない事が示唆された。またインピーダンスはほぼ全例 (98%) で増加がみられ, これは主にアブミ骨筋に由来すると考えられた。

③ **air jet** 刺激では大多数 (85%) が鼓膜内陷を示し鼓膜張筋の関与が知られた, 一方インピーダンスは不変例が1/3以上を占め, **air jet** 刺激がインピーダンスにはあまり影響を与えない事がわかった。

III. 異常耳の耳小骨筋反射

1. 目的

正常耳での耳小骨筋反射は観察条件に制限があったので, 耳小骨筋あるいは耳小骨連鎖に異常のある症例を利用して鼓膜張筋, アブミ骨筋の反射様式を調べようとした。

先ずアブミ骨筋の機能脱落例である顔面神経完全麻痺例で鼓膜張筋反射を明らかにしようとした。また顔神麻痺時と麻痺回復時との波形の比較からアブミ骨筋単独反射波を抽出した。更に耳硬化症例や耳小骨連鎖離断例も鼓膜張筋反射の推定資料になりうると考えられた。

2. 方法

前項同様に外耳道圧, インピーダンス同時10回加算記録法によった。刺激も同じく音刺激と**air jet** 刺激とを用いた。

対象は顔面神経麻痺53例, 耳硬化症6例, 耳小骨連鎖離断4例合計63例。

3. 結果

63例の音刺激, **air jet** 刺激時の外耳道圧, インピーダンスの変化をまとめると表1の如くである。以下疾患別にとりあげる。

a) 顔面神経完全麻痺 (53例)

他種検査 (筋電図, 誘発筋電図, スコア, N E T) で顔面神経完全麻痺と診断された例で顔

表1 異常耳の耳小骨筋反射

		音 刺 激		air jet 刺激	
		外 耳 道 圧	コンプライアンス	外 耳 道 圧	コンプライアンス
顔 神 麻 痺 (53)	増 加	0	3	1	6
	減 少	10	3	47	7
	不 変	43	47	1	36
耳 硬 化 症 (6)	増 加	0	0	1	1
	減 少	0	0	5	0
	不 変	6	6	0	5
耳小骨連鎖離断 (4)	増 加	1	0	0	0
	減 少	2	2	3	0
	不 変	1	2	1	4

神麻痺のためアブミ骨筋は作動せず、従って反射波形は鼓膜張筋のみに由来すると考えられる。53例のうち10例(約19%)に音刺激時の外耳道圧変化を認め、これらは全て鼓膜内陷性の反射であった。また6例(約11%)でインピーダンスの変化を認めた。その半数は通常のインピーダンス増加型であったが、他の半数はインピーダンス微減を呈した。air jet 刺激では98%に外耳道圧変化を認めその大多数(98%)が

鼓膜内陷性の反射であった。また27%でインピーダンスの変化を認めたが、増加、減少ほぼ半数ずつであった。

これらをまとめると顔神麻痺例での反射陽性率(インピーダンス法)は音刺激では11%, air jet 刺激では27%である事、一方鼓膜変位に関しては内陷例が大多数を占める事、などである。代表的な反射波形を図7~9に示した。図7は音刺激時に鼓膜内陷のみがみられインピ

図7: 顔神麻痺の耳小骨筋反射(1)

ーダンス変化がみられなかった例である。図8は音刺激時に鼓膜内陷したが、インピーダンスに軽度減少がみられた例で、**air jet** 刺激での反射波も音刺激時と同様であった。図9は音刺激時、**air jet** 刺激時ともに鼓膜内陷、インピーダンス増加がみられた例である。

次に顔神麻痺（アブミ骨筋麻痺）例の麻痺時と麻痺回復時との波形からアブミ骨筋の波形を抽出すると図10右側のごとくなり、音刺激で外耳道圧は軽度増加するが、インピーダンスは著明に増加する波形が得られた。この傾向は

air jet 刺激時での抽出波でより顕著であった。

b) 耳硬化症（6例）

アブミ骨不動の為、得られた反射は鼓膜張筋のみによると考えられた。音刺激では反射がみられなかったが、**air jet** 刺激では全例に外耳道圧変化がみられ、うち83%は鼓膜内陷を示した(図11)。

c) 耳小骨連鎖離断（4例）

いずれもキヌタ、アブミ関節離断が確認され耳小骨筋反射に関与する筋肉は鼓膜張筋のみの

図8：顔神麻痺の耳小骨筋反射(2)

図9 顔神麻痺の耳小骨筋反射(3)

図10：顔神麻痺例におけるアブミ骨筋抽出波形

例である。音刺激で4例中3例に外耳道圧に変化を認め、2例にインピーダンスの変化を認めた。air jet 刺激では同じく3例に鼓膜内陷を認めたがインピーダンス変化を認めた例はなか

った(図12, 13)。

4. 考按

a) 鼓膜張筋反射について

観察対象の63症例は全て鼓膜張筋のみが反射

図11: 耳硬化症耳小骨筋反射

音刺激では反射を認めず, air jet 刺激でのみ鼓膜内陷がみられる。

図12: 耳小骨連鎖離断の耳小骨筋反射(1)

音刺激で鼓膜内陷とインピーダンス増加とを示したが air jet 刺激では反応を認めなかった。

に關与しうる例であり、この所見を総合するとヒト鼓膜張筋の機能がほぼ推定しうる。

音刺激時：従来顔面神経麻痺時には耳小骨筋反射がないとする報告（中田, 1968²⁸⁾, 大野, 1970²⁵⁾, Lidén, 1970¹³⁾, Terkildsen, 1960²³⁾), 反射ありとする報告（音在, 1966²⁶⁾, Holst, 1963⁹⁾）があり一致をみていない。本研究では顔面麻痺時においても音刺激による耳小骨筋反射は明確に出現しておるものがありその率は

19% (10/53例) であった。この反射出現率は Lidén (1970¹³⁾) の正常人における音響性鼓膜張筋反射出現率の13%と近似している。一方耳硬化症では音響性耳小骨筋反射を認めず、耳小骨連鎖離断では75%に圧変化を認めた。このような連鎖離断例と固着例との反射出現率の差は両者の耳小骨連鎖の可動性の差が主な原因と考えられた。

音刺激により外耳道圧変化をみとめた例の92

図13：耳小骨連鎖離断の耳小骨筋反射(2)

音刺激で鼓膜内陷を示したが、インピーダンスは不変であった。air jet 刺激でも同様の所見を示した。

%が鼓膜内陷を示した。これは鼓膜張筋が主に鼓膜内陷を来たすとする従来の報告^{14) 21) 22) 23) 26)}とよく一致した。インピーダンスの変化は微減3例, 増加5例とインピーダンスの変化については減少のみではない事が判った。

air jet 刺激時: air jet 刺激による反射出現率は59例中圧測定法で96.6%, インピーダンス法で23.7%であった。この様に高率に反射陽性例がみられた事は air jet が鼓膜張筋収縮の刺激である事を示すものといえる。うち大半(97%)は鼓膜内陷例であり, 本筋収縮が鼓膜内陷に働く事が判った。air jet 刺激でインピーダンスに全く変化を来たさぬ例は76%に達し, 一方増加, 減少例は各々12%ずつであった。この事は鼓膜張筋がインピーダンスに関してはあまり影響力を有しない事を示すといえる。しかし93%で鼓膜内陷をみており, 鼓膜張筋が主に鼓膜内陷を来たすとする従来の説が異常耳でも確認された。

以上まとめると鼓膜張筋は音刺激では圧測定法で約21%, インピーダンス法で約13%とわずかに耳小骨筋反射が検出され, ヒト鼓膜張筋が音刺激に反応し難い筋肉であることが確認され

た。他方 air jet 刺激にはよく反応(97%)し, その作用は鼓膜内陷として働くことがわかった。一方インピーダンスに対する影響は少なくその作用も一定しないことがわかった。

b) アブミ骨筋反射について

顔面神経麻痺時と麻痺回復時の波形との対比より, アブミ骨筋が鼓膜を軽度突出させるが, インピーダンスは著明に増加させることがわかった。この様なアブミ骨筋単収縮時の波形は正常例の音刺激時にみられる反射波形と極めて類似しており, これは正常耳の音刺激時波形が主にアブミ骨筋収縮によることを示すものといえる。

5. 小括

1) 鼓膜張筋は air jet 刺激には著明(97%)に反応するが, 音刺激の反応率は低い(21%)。

2) 鼓膜張筋は主に鼓膜内陷を惹起するが, インピーダンスにおよぼす影響は少ない。

3) アブミ骨筋収縮でインピーダンスは著明に増加させるが鼓膜変位におよぼす影響は少ない。これは通常の耳小骨筋反射の反射様式に類似する。

IV. 耳小骨筋反射の実験的研究

1. 目的

前項までのヒト耳小骨筋反射の分析で, ①アブミ骨筋は主に音刺激で収縮し, 鼓膜一耳小骨系のインピーダンスを変化させるが, 鼓膜変位は少ない事。②鼓膜張筋は主に air jet 刺激で収縮し, 鼓膜内陷を惹起するが, インピーダンス変化は少ない事, の2点が確認された。この様に特徴的なヒト耳小骨筋の作動様式を実験的に再確認すべく, 各種条件設定の下に猫を用いて実験を行った。

2. 方法

成熟猫12匹を用い, a) 鼓膜張筋の支配神経(三叉神経)切断によるアブミ骨筋のみの作動, b) アブミ骨筋の支配神経(顔面神経)切断による鼓膜張筋のみの作動, c) アブミ骨の

固定, d) 耳小骨連鎖の離断, e) 顔面神経の電気刺激, f) 三叉神経の電気刺激, の6実験条件を設定した(図14)。

実験a), b)の三叉, 顔面神経の切断は中耳を正常に保つべく各神経を頭蓋内で切断し,

図14: 猫耳小骨筋反射の6実験条件

実験後神経切断の適否を解剖により確認した。実験 c), d) は中耳骨胞を開き顕微鏡下に c) ではアブミ骨底部をアロンアルファで固着し, d) ではキヌタ, アブミ関節を離断し, それぞれ鼓膜張筋のみが鼓膜に働さう様にした。実験 a) ~ d) では音刺激 (2 KHz の純音, 持続 100 msec) と air jet 刺激とを与え, 各反射波形はヒトの場合と同じく医用電算機で 10 回加算した。実験 e), f) の神経刺激は頭蓋底で切断した当該神経の末梢端を電気刺激 (電圧 3 V, 周波数 100 Hz, 持続 40 msec) し, この際の外耳道圧と音響インピーダンスとの測定を行

った。なお, 実験は全てケタラル麻酔下に行った。

3. 結果

a) 三叉神経頭蓋内切断 (3 例)

アブミ骨筋単収縮 (鼓膜張筋麻痺) 時の代表的波形は図 15 下のごとくであり, 音刺激で切断前の鼓膜内陷から軽度鼓膜突出に変わり, 一方インピーダンスは切断前の増加度が更に著明となった。air jet 刺激の場合は切断前の鼓膜内陷が切断で鼓膜変位なしへ変わり, 一方インピーダンスは軽度増加のままであった。他の 2 例もこれとほぼ同様の結果であった。以上の結果

図15: 三叉神経頭蓋内切断

よりアブミ骨筋は単独で音刺激で鼓膜を軽度突出させインピーダンスを著明に増加させる働きがあるが, **air jet** 刺激にはほとんど反応しない事が確認された。

b) 顔面神経頭蓋内切断 (3 例)

鼓膜張筋単独収縮 (アブミ骨筋麻痺) 時の代表的波形を図16下に示す。音刺激での鼓膜内陷の程度は顔神切断前後で著変なく, インピーダンスは切断によりやや増加したが, その程度は先のアブミ骨筋単独収縮時のそれよりも少なかった。 **air jet** 刺激の場合は音刺激時のそれと同傾向の反射が得られた。他の2例でも反射は

ほぼ同じ傾向であった。これより鼓膜張筋は単独で音刺激, **air jet** 刺激ともに鼓膜を内陷させ, インピーダンスもやや増加させる事が確認された。

c) アブミ骨固定 (3 例)

本条件下での鼓膜張筋単独収縮波形は図17下のごとくであり, 音刺激で鼓膜内陷度が増し, 一方インピーダンスは軽度減少がみられた。しかし他の1例ではインピーダンスは軽度増加した。 **air jet** 刺激の場合, この例では外耳道圧, インピーダンス共にほとんど変化しなかったが, 他の2例では鼓膜内陷がみられた。

図16: 顔面神経頭蓋内切断

d) 耳小骨連鎖離断 (3 例)

本条件下での鼓膜張筋単収縮波形は図18下のごとくで、音刺激での鼓膜内陷傾向はそのままであったが、インピーダンスは連鎖離断により軽度減少に転じた。しかし他の1例ではインピーダンスは増加のままであった。一方 air jet 刺激では鼓膜内陷を示し、インピーダンス

は不変であった。他の2例でもこれとほぼ同様の反射様式がみられた。

e) 顔面神経電気刺激 (1 例)

この場合のアブミ骨筋単収縮では図19のごとく、鼓膜は刺激 off 時に一致した小さな内陷をみるのみで全体としてはほとんど変化がなかった。一方インピーダンスは著明に増加した。

固定前

固定後

図17: アブミ骨固定

f) 三叉神経電気刺激 (1例)

この場合の鼓膜張筋単独収縮では図20のごとく、鼓膜内陷とインピーダンスの増加とがみられた。

以上の6条件下における2つの耳小骨筋の作動様式をまとめると表2のごとくになる。条件、刺激法が異っても外耳道圧、インピーダンスの変化はほぼ一定傾向を示す事がわかった。

これをまとめると、

1) 鼓膜張筋：いずれの条件でも鼓膜内陷が一定してみられた。一方、インピーダンスは増加、不変、微減と種々の反応態度がみられたが、総合するとインピーダンスは不変あるいはやや増加するといえる。

2) アブミ骨筋：鼓膜は不変あるいは軽度突出を示し、一方インピーダンスの増加が一定し

図18：耳小骨連鎖離断

図19：顔面神経電気刺激

図20：三叉神経電気刺激

表2 各種条件下における猫耳小骨筋の反射様式

		鼓 膜 張 筋						ア ブ ミ 骨 筋					
		外 耳 道 圧			コンプライアンス			外 耳 道 圧			コンプライアンス		
三叉神経切断	音刺激							±	±	+	--	--	--
	jet刺激							+	±	±	-	--	-
顔面神経切断	音刺激	--	-	-	--	--	--						
	jet刺激	-	-	-	+	-	-						
耳小骨固着	音刺激	--	--	--	+	+	-						
	jet刺激	±	-	--	±	±	±						
耳小骨離断	音刺激	--	--	-	+	±	-						
	jet刺激	--	-	-	±	+	±						
電 気 刺 激		-			-			±			--		

		外 耳 道 圧		コンプライアンス	
各種操作前	音刺激	全例	--	全例	--
	jet刺激	全例	--	全例	--

+は増加 -は減少

てみられた。

4. 考按

a) 実験動物および方法について

猫における音刺激時の耳小骨筋反射は Elia-sson & Gisselsson (1955)³⁾ が顕微鏡で、また Okamoto et al. (1954)²⁰⁾ は鼓膜表面に付着させた小鏡の反射光観察で、いずれも鼓膜内陷を来たすことを報告している。宮原 (1966)³²⁾、永井 (1968)²⁷⁾ も中耳圧測定で音刺激がほぼ100%の中耳腔圧増加(鼓膜内陷)を来たすことを報告している。猫での鼓膜張筋、アブミ骨筋単独収縮時の鼓膜の観察には Møller (1964)¹⁸⁾ の鼓室開放による筋電気刺激実験がある。しかし本研究では鼓室開放の影響を除去する為、頭蓋内での神経切断および電気刺激法をとった。さらにヒト異常例と対応させるためアブミ骨固定や耳小骨連鎖離断も作り検討した。

b) 鼓膜張筋収縮について

前述の様に外耳道圧減少が常にみられており、本筋が鼓膜内陷を来たすことは確実と思われた。従来の報告でも鼓膜変位に関しては音 (1966)²⁶⁾ が家兎のアブミ骨筋切断で全例鼓膜内陷を認めており、また Møller (1964)¹⁸⁾ は猫および家兎の鼓膜張筋電気刺激で常に鼓膜が内陷することを確認している。

インピーダンスに関しては顔面神経切断と三叉神経刺激とでインピーダンス増加が認められたが、これ以外の実験条件ではいずれもインピーダンス不変、あるいは微減であった。両者の違いは支配神経と耳小骨連鎖に対する操作との違いに起因すると考えられた。しかし鼓膜張筋がインピーダンスにおよぼす影響は少ないとの一般的傾向はこの実験からも得られた。

c) アブミ骨筋収縮について

鼓膜不変か、軽度突出とほぼ一致した傾向が

得られた。これは音 (1966)²⁶⁾ の家兎鼓膜張筋切断での所見や Møller (1964)¹⁸⁾ の猫および家兎での報告と一致した。

インピーダンスは全例に増加がみられた。これは Møller (1964) の猫および家兎のアブミ骨筋電気刺激、Galambos (1959)⁶⁾ の猫の鼓膜張筋切断下の正円窓 CM の観察での結果とよく一致しており、アブミ骨筋反射が強大音防禦機構であるとする従来の説が支持された。

d) 両筋収縮の場合について

両筋の同時収縮では表 2 下段の様に鼓膜は内陷し、インピーダンスは増加した。すなわちアブミ骨筋によるインピーダンスの増加と、鼓膜張筋による鼓膜内陷とが合成された所見を呈した。

e) 動物(猫)とヒトの差について

2筋が働き得る音刺激の場合猫では一定して鼓膜内陷、インピーダンス増加を示すが、ヒトでは前述の様に必ずしも一定した反応は得られない。この原因の1つとして猫では音刺激で鼓膜張筋が必ず反射に関与するが、ヒトでは鼓膜張筋の反射関与度は約20%にすぎず、これがヒトと動物での反射様式の差になるものと考えられた。しかし各筋の作動様式そのものについてはヒトと動物での矛盾点は認められなかった。

5. 小括

(i) 猫鼓膜張筋は音刺激、air jet 刺激により鼓膜を著明に内陷させるが、インピーダンスにはあまり変化を与えない。

(ii) 猫アブミ骨筋は鼓膜変位にはあまり影響を与えないが、インピーダンスを著明に増加させる。

(iii) 猫耳小骨筋反射はこの2筋の合成波形と考えられた。

V. 総

括

ヒトおよび動物で得られた分析の結果を総合すると耳小骨筋反射の機構は以下の様にまとめる事ができる。

(i) アブミ骨筋の働きについて

ヒト、猫共にアブミ骨筋は主としてインピーダンスを著明に増加さす。鼓膜変位は不変か、

軽度の突出を来たす。

(ii) 鼓膜張筋の働きについて

ヒト、猫ともに鼓膜張筋収縮は主として鼓膜内陷を来たす。一方インピーダンスにおよぼす影響力は少なく、あってもその態度は一定しない。

(iii) 耳小骨筋反射について

音刺激時の反射はアブミ骨筋反射が主体をなし、インピーダンスの著増を来たす。これはア

ブミ骨筋単独による反射様式に極めて類似しており、このことから正常耳の耳小骨筋反射は主にアブミ骨筋反射であることが示唆された。しかし異常耳の結果からは20%弱の鼓膜張筋の関与が確認されている。air jet 刺激では鼓膜内陷を来たすが、これは鼓膜張筋が主として働くことを示すものといえる。しかしこの際みられたインピーダンス増加は鼓膜張筋の他にアブミ骨筋が関与していると考えられた。

IV. 結 語

(i) 外耳道圧、インピーダンス同時加算測定法は反射検出率にすぐれ、鼓膜変位方向とインピーダンス変化とを同時に測定出来る方法と考えられた。

(ii) ヒト鼓膜張筋は air jet 刺激には著明に反応するが音刺激に対しては約 20% と反応率が低い。鼓膜張筋は鼓膜内陷を惹起し、インピーダンスにおよぼす影響は少ない。

(iii) アブミ骨筋は鼓膜変位におよぼす影響は少ないが、インピーダンスを著明に増加さす事が確認され、これは正常人の耳小骨筋反射に通常みられる波形によく一致した。

稿を終わるに臨み、終始御懇篤なる御指導、御校閲を賜りました恩師熊沢忠躬教授に深甚なる謝意を捧げますとともに本研究を遂行するに当り常に適切な御指導、御助言を頂きました高知医科大学本庄巖教授に深く感謝致します。また教室員各位の御協力と御支援に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Djupesland, G. : Middle ear muscle reflexes elicited by acoustic and nonacoustic stimulation. *Acta Oto-laryng. Suppl.* 188 : 287~292, 1964.
- 2) Djupesland, G. : Observation of change in the acoustic impedance of the ear as an aid to the diagnosis of paralysis of the stapedius muscle. *Acta Oto-laryng.* 68 : 1~5, 1969.
- 3) Eliasson, S. & Gisselsson, L. : Electromyographic studies of the middle ear muscles of the cat. *EEG Clin. Neurophysiol.* 7 : 339~406, 1955.
- 4) Fee, W.E., Dirks, D.D. & Morgan, D.E. : Nonacoustic stimulation of the middle ear muscle reflex. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 84 : 80~87, 1975.
- 5) Flottorp, G. & Djupesland, G. : Diphasic impedance change and its applicability in clinical work. *Acta Otolaryng.* 263 : 200~204, 1970.
- 6) Galambos, R. & Rupert, A. : Action of the middle ear muscles in normal cats. *J. Acoust. Soc. Amer.* 31 : 349~355, 1959.
- 7) Hammerschlag, V. : Über die Reflexbewegung des Musculus tensor tympani und ihre centralen Bahnen. *Arch. f. Ohrenheilk.* 47 : 251~275, 1899.
- 8) Hensen, V. : Beobachtungen über die Tätigkeit des Trommelfellspanners bei Hund und Katze. *Arch. Physiol.* 2 : 312~319, 1878.
- 9) Holst, H.E., Ingelstadt, S. & Örtengren, O. : Ear drum movements following stimulation of the middle ear muscles. *Acta Oto-laryng. Suppl.* 182 : 73~83, 1963.
- 10) Kato, T. : Zur Physiologie der Binnenmuskeln des Ohres. *Arch. Ges. Physiol.* 150 : 569~625, 1913.

- 11) Klockhoff, I. & Anderson, H. : Recording of the stapedius reflex elicited by cutaneous stimulation. *Acta Oto-laryng.* 50 : 451~454, 1959.
- 12) Klockhoff, I. & Anderson, H. : Reflex activity in the tensor tympani muscle recorded in man. *Acta Oto-laryng.* 51 : 184 ~ 188, 1960.
- 13) Lidén, G., Peterson, J.L. & Harford, E.R. : Simultaneous recording of changes in relative impedance and air pressure during acoustic and non-acoustic elicitation of the middle-ear reflexes. *Acta Otolaryng.* 263 : 208~217, 1970.
- 14) Mangold, E. und Eckstein, A. : Reflektorische Kontraktionen des Tensor tympani beim Menschen. *Pflüg. Arch. Ges. Physiol.* 152 : 589~615, 1913.
- 15) Mendelson, E. S. : A sensitive method for registration of human intratympanic muscle reflexes. *J. Appl. Physiol.* 11 : 499 ~ 502, 1957.
- 16) Metz, O. : Studies on the contraction of the tympanic muscles as indicated by changes in the impedance of the ear. *Acta Oto-laryng.* 39 : 396~405, 1951.
- 17) Møller, A.R. : Intra-aural muscle contraction in man, examined by measuring acoustic impedance of the of the ear. *Laryngoscope* 68 : 48~62, 1958.
- 18) Møller, A.R. : Effect of tympanic muscle activity on movement of the eardrum, acoustic impedance and cochlear microphonics. *Acta Oto-laryng.* 58 : 525~534, 1964.
- 19) Neergaard, E.B., Anderson, H. C., Hansen, C. C. & Jepsen, O. : Experimental studies on sound transmission in the human ear. *Acta Oto-laryng. Suppl.* 188 : 280~286, 1964.
- 20) Okamoto, M., Sato, M. & Kirikae, I. : Studies of the acoustic reflex. Part II. Experimental studies of the function of the tensor tympani muscle. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 63 : 950~958, 1954.
- 21) Ostmann, P. : Über die Reflexerregbarkeit des Musculus tensor tympani durch Schallwellen und ihre Bedeutung für den Hörakt. *Arch. Anat. Physiol.* 22 : 75~113, 1898.
- 22) Smith, H.D. : Audiometric effects of voluntary contraction of the tensor tympani muscles. *Arch. Oto-laryng.* 38 : 369~372, 1943.
- 23) Terkildsen, K. : Acoustic reflexes of the human musculus tensor tympani. *Acta Oto-laryng. Suppl.* 158 : 230~238, 1960.
- 24) Thomsen, K.A. : The Metz recruitment test. *Acta Oto-laryng.* 45 : 544~552, 1955.
- 25) 大野吉昭 : 外耳道圧変化測定による音響性耳小骨筋反射に関する臨床的研究. *日耳鼻* 73 : 837~847, 1970.
- 26) 音在秀信 : 耳小骨筋反射の実験的並びに臨床的研究. *日耳鼻* 69 : 760~776, 1966.
- 27) 永井武 : 耳小骨筋機能に関する実験的研究. *日耳鼻* 71 : 500~534, 1968.
- 28) 中田将風 : 音響性耳小骨筋反射に関する研究その2. *日耳鼻* 71 : 1670~1683, 1968.
- 29) 本庄巖, 松井博史, 岡崎伸博, 牛呂公一 : 圧, インピーダンス同時加算法による耳小骨筋反射の検討. *日耳鼻* 83 : 1461~1467, 1980.
- 30) 本庄 巖, 中山堯之, 松井博史, 三苫藤吉郎 : 耳小筋反射よりみた顔面神経麻痺. *日耳鼻* 83 : 1635~1644, 1980.
- 31) 松井博史, 本庄 巖, 中山堯之 : 耳小骨筋反射における2峰性波形の成因. *耳喉* 53 : 1033~1037, 1981.
- 32) 宮原敏行 : 猫の耳小骨筋反射, 音響性中耳圧変動に関する実験的研究. *耳鼻* 12 : 補1 : 1~12, 1966.

原稿到着 : 昭和57年6月22日

別刷請求先 : 松井博史

〒570 守口市文園町1

関西医科大学耳鼻咽喉科学教室