外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射の測定

新潟大学医学部耳鼻咽喉科（主任：猪 初男教授）

北条和博，大野吉昭，細川 智，猪 初男

I はじめに

アブミ骨筋反射の測定は音響インピーダンス測定器の進歩により、間接的に容易におこなうことが可能になり、臨床重要性を増して来ているが、音刺激によるアブミ骨筋反射測定がもっぱらおこなわれている²⁾⁵⁾⁹⁾¹¹⁾¹⁴⁾。この方法は一側耳の強音刺激により両側性に筋反射収縮がおこなわれることを利用して一側耳に音刺激を与え、反対側耳より筋反応を検出するので音刺激側耳に伝音難聴や高度の感音難聴がある場合には、アブミ骨筋反射を起すに充分な音刺激に達せず、筋反射反応を検出することが困難なことも少なくない。一方、アブミ骨筋は音刺激ばかりでなく嚥下、発声、外耳道刺激などの非音響性因子によっても収縮するので¹⁾⁸⁾非音響性にアブミ骨筋反射を起し、この反応を検出することはいわゆるインピーダンスオージオメトリの分野にとって非常に役立つものと思われる。私共は非音響刺激として外耳道に電気刺激を与える方法を利用し、アブミ骨筋反射収縮を測定することができたのでここに報告する。

II 検査方法と対象

①電気刺激電極は 6×3 mm の極めて薄い銀板をインピーダンスメータの耳栓といっしょに外耳道内に挿入し軟部外耳道後上壁に置いた。私共は外耳道密栓に以前よりバルーンカテーテルのカフを使用しているが¹¹⁾¹²⁾、このカフをふくらませることにより電極の固定および外耳道密栓をおこなった。

②電気刺激装置として顔面神経刺激装置 (Hilger facial nerve stimulator) を使用した。この装置は定電流刺激であり、パルス幅時間 600 μ sec、周波数 6 Hz 矩形波電流刺激で 0~10 mA まで可変可能である。

③電気刺激に伴う筋反射反応を音響性アブミ骨筋反射測定と同様にインピーダンスメータ (Madsen ZO 70) により測定し、ペン書きオシロにも記録した。

図 1 ブロックダイアグラムおよび耳栓

ブロックダイアグラムおよび耳栓と電極は図 1 のごとくである。

④検査対象として既往歴に中耳炎その他の耳疾患なく、耳鏡所見に異常の認められない 19~27 歳の聴力正常者 10 名 20 耳、一側および両側感音難聴 8 例 14 耳、耳硬化症 2 例、顔面神経麻痺 6 例 (ハント 1 例、ベル麻痺 3 例、外傷性 2 例)、一側ろう 1 例、両耳ろう 1 例である。

電気刺激による筋反射域値はその反応が始めて出現する最小の電気刺激の強さの値を筋反射域値 (ESR Thr.) とし、さらに刺激を強めていった時、被検者が不快な痛みを訴える電気刺激の強さの値を不快域値 (ESUCL Thr.) とした。不快域値まで電気刺激の強度をあげても筋反射反応の出現しない場合、皮膚電気刺激筋反射なしと判定した。

III 検査結果

1) 聴力正常者：電気刺激に伴う筋反射反応波形は電気刺激に一致した基線の上向きの偏位として認められる。この波形は電気刺激の強さをしだいに増していくとそれに伴ってその振幅が大きくなる傾向を示すが、刺激強度をある程度以上に増しても振幅の増大は認められなかった。また比較的弱い刺激強度では刺激の持続中、振幅の減衰が認められた（図2）。聴力正常者10名20耳の筋反射域値と不快域値を表1に示す。筋反射域値は0.1～3.0 mAと各被験者間にかなり大きなバラツキが認められ平均約0.9 mAであった。また不快域値の測定では2.0～8.0 mA（平均約5.6 mA）とさらに大きなバラツキを示した。なお、この電気刺激による筋反射域値は初回測定時と大体同じ値で再現性がみられた。

2) 聴力正常者における音響および電気同時刺激による反応：音響性アブミ骨筋反射を起すに充分な刺激を与えておくことと電気刺激域値下の強度でも電気刺激による反応波形が認められた。図3は域値下電気刺激（1.5 mA）で反応波形が出現せず、また域値下音響刺激（60 dB）に域値下電気刺激（1.5 mA）を同時に与えても筋反射波形が出現しないのに域値上音響刺激（80 dB）を与えておき、これに域値下電気刺激（1.5 mA）を負荷すると音響性アブミ骨筋反射に相乗して電気刺激による反応がおきていることを示している。

3) 感音難聴：SISIテスト、Békésy検査、バランステスト、音響性アブミ骨筋反射測定等の検査で内耳

表1 正常耳の皮膚電気刺激域値（ESR Thr.）と皮膚電気刺激不快域値（ESUCL）

CASE		ESR. Thr. (mA)	ESUCL (mA)
1	右 左	1.5 0.7	4.5 4.0
2	右 左	0.7 0.1	4.0 2.0
3	右 左	0.8 0.7	5.0 5.0
4	右 左	0.7 0.5	7.0 7.0
5	右 左	0.7 0.7	6.0 4.0
6	右 左	0.8 0.2	6.0 5.5
7	右 左	3.0 2.0	8.0 7.0
8	右 左	1.5 1.5	8.0 8.0
9	右 左	1.3 0.6	8.0 4.5
10	右 左	0.1 0.2	4.0 5.0
平均		0.91	5.62

性難聴と診断された8例については、すべての症例で電気刺激による筋反射反応波形が測定可能であった。電気刺激域値およびその不快域値は、正常者のそれら

図2 外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射反応波形、0.7 mA で明らかな反応が認められる。

図3 反対側耳音響および同側耳電気刺激によるアブミ骨筋反射反応波形

表2 感音難聴耳の皮膚電気刺激域値 (ESR Thr.) と皮膚電気刺激不快域値 (ESUCL)

CASE		ESR Thr. (mA)	ESUCL (mA)
1	右 左	3.0 2.0	7.0 5.0
2	右 左	0.3 1.0	5.0 5.0
3	左	1.0	4.0
4	右 左	0.3 0.1	4.0 4.0
5	右 左	1.0 0.5	5.0 4.0
6	右 左	4.0 2.0	5.0 5.0
7	右 左	1.0 3.0	4.0 6.0
8	左	1.0	3.0
平均		1.44	4.71

とほぼ同様であった (表2)。

4) 耳硬化症: 図4は手術的にも確認された耳硬化症2例を示す。これら耳硬化症例の術前検査では音響性アブミ骨筋反射はもちろんのこと電気刺激を不快強度まで上げてても筋反射反応はまったく検出されなかった。

5) 顔面神経麻痺: 表3はハント症候群1例, ベル麻痺3例, 外傷性麻痺2例について電気刺激による筋反射反応域値および音響性アブミ骨筋反射の有無について比較したものである。これらのうち音響性アブミ骨筋反射の認められなかった症例では電気刺激によっても反応波形がまったく出現しなかった。なお健側耳では正常者とほぼ同じ電気刺激強度で筋反射反応を検出できた。

6) 一側高度難聴: 音響性アブミ骨筋反射では刺激側耳に伝音難聴や高度感音難聴がある場合, 反対側耳が正常であっても正常側耳の筋反射反応を検出することが困難な場合が少くない。図5は左耳正常, 右耳ろうの症例である。音響性アブミ骨筋反射は聴力正常側左耳では右耳に120 dB音響刺激を与えても筋反射反応は検出できず, 左耳のアブミ骨筋機能については音響刺激だけの検査では不明である。そこで左耳に電気刺激を与えてみると1.5 mAの刺激強度で筋反射反応を明瞭に検出することができた。なお, ろうである右耳のアブミ骨筋反射は左耳の音響刺激によっても右耳の電気刺激によっても認められている。

7) 両側高度難聴: 図6の症例の場合, 左右共音響性アブミ骨筋反射は検出できないのでアブミ骨筋の機能は不明である。しかしそれぞれの耳に電気刺激を与えることにより右0.6 mA 左6.0 mAで筋反射反応を検出できた。

Case 1

67才 女

ESR
右耳 (-)
左耳 (-)

Case 2

13才 男

ESR
右耳 (-)
左耳 (-)

△-----rt > Acoustic Stapedius Reflex Threshold (ASR Thr.)
▲-----rt

図 4 耳硬化症 2 例

表 3 顔面神経麻痺症例の皮膚電気刺激 (ESR) と音響性アブミ骨筋反射 (ASR) の有無

CASE	病 名	ESR	Thr.(mA)	ASR
1	右 ベ ル	右 (+)	2.0	(+)
		左 (+)	2.0	(+)
2	右 ハ ント	右 (-)	7.0 ↑	(+)
		左 (+)	1.0	(-)
3	右 外 傷	右 (+)	1.0	(+)
		左 (+)	2.0	(+)
4	左 ベ ル	右 (+)	1.5	(-)
		左 (-)	6.0 ↑	(+)
5	左 ベ ル	右 (+)	1.0	(+)
		左 (+)	4.0	(+)
6	右 外 傷	右 (-)	7.0 ↑	(-)
		左 (-)	7.0 ↑	(-)

IV 考 案

人の外耳道皮膚電気刺激による耳小骨筋反射の研究

は Pichler ら⁷⁾, Klockhoff ら³⁾⁴⁾の報告があり, また本邦では渡辺¹⁵⁾が顔面神経末梢の電気刺激により報告している。Pichler ら⁷⁾は外耳道電気刺激の間 1,000 Hz 以下の低音域において純音域値が 10~15 dB 上昇することを報告した。Klockhoff⁴⁾は電気刺激として 50 Hz, パルス幅時間 1 msec の直流電気刺激を使用して詳細な研究をおこなった。渡辺¹⁵⁾はアブミ骨筋性耳鳴を誘発するために顔面神経末梢の電気刺激により鼓膜インピーダンスの変動を認めている。さて外耳道皮膚電気刺激によって惹起された鼓膜インピーダンスの変化は鼓室内にある二つの小筋すなわち鼓膜張筋とアブミ骨筋のうちのいずれの筋による作用であるかということが問題となる。Klockhoff⁴⁾の研究によれば 1) 末梢性顔面神経麻痺例のうち音響性アブミ骨筋反射測定によってアブミ骨筋の麻痺が認められた症例, 2) 耳小骨連鎖離断例, 3) 手術によりアブミ骨筋腱が切断された症例ではいずれも電気刺激による筋反射反応が検出されなかったこと, さらに 4) 顔面神経麻痺例では麻痺が回復してからは電気刺激によって筋反射が測定できたことなどの臨床的な観察からこの電気刺激に伴う鼓膜インピーダンスの変化は鼓膜張筋の作用によるものではなくアブミ骨筋の作用であるとした。私共の観察でも 1) 筋反応波形の振幅が音響性アブミ骨筋

6才女

△-----rt
▲-----lt > ASR Thr.

ESR Thr.
右 ---- 0.8 mA
左 ---- 1.5 mA

図 5 一側高度難聴例

反射反応のそれとはほぼ同程度であったこと、2) 顔面神経麻痺例のうち音響性アブミ骨筋反射測定によりアブミ骨筋麻痺と診断された症例では電気刺激によっても筋反射反応が認められなかったこと、3) 手術的にも確認された耳硬化症例では術前の電気刺激による検査で筋反応がまったく認められなかったこと、などからやはりここに測定された鼓膜インピーダンスの変化はアブミ骨筋が主役を演じていると推論せざるをえない。私共の今回の実験は Klockhoff の方法を利用したものであるが、前に述べたごとく電気刺激の種類が若干異なっている。いずれの方法がより良いか両者を比較して測定していないのでわからないが、私共の方法は臨床に広く用いられている装置を利用できることと、あとで述べるごとく adaptation あるいは反応波形振幅の減衰が少ないことである。どちらの方法にせ

57才男

△-----rt
▲-----lt > ASR Thr.

ESR Thr.
右 ---- 0.6 mA
左 ---- 6.0 mA

図 6 両側高度難聴例

よ正常被験者からは明瞭な筋反射反応が検出されている。しかしその反射域値を検討してみると Klockhoff は 1~4 volt, 私共の症例では 0.1~3.0 mA と各個人間に正常人でもかなり大きなバラツキが存在していることがわかる。この原因として外耳道内における電極板の位置や皮膚抵抗などの相違が考えられており⁴⁾, このことは電気域値と不快域値の相関からもある程度推測される。すなわち電気域値の低い例では不快域値も低く、電気域値が高い例では不快域値も高い傾向が認められている (表 1)。なお外耳道の各部位によっても電気刺激に対する感受性には差がある。Klockhoff⁴⁾ は外耳道の前, 後, 上, 下の位置に電極板を置き, どの部位が最も低い電気刺激で筋反応が起きるかを測定し, 後壁から最良の結果を得ている。私共も外耳道のいろいろな部位に電極板を置いて筋反応を観察したところ, 後上壁から最も良好な反応が得られた。不快域値の測定は被験者の訴えを基準としているが, 実際にはこの域値付近で被験者は疼痛や不快感のため

目をかたく閉じる運動を起す。その時この反応波形は、スパイク状、ノイズ状に大きくみだれ通常のアブミ骨筋反射反応波形とは明らかに異なり、不快域値の判定の目やすになる。Djupestrand¹⁾ は眼輪筋の随意性または反射性収縮が鼓膜張筋の収縮を起すことを、手術の際、直接観察しているが、このノイズ状の波形が鼓膜張筋によるものかどうか私共のデータからは判定しえない。Klockhoff⁴⁾ は前記による電気刺激の際、刺激時間には関係なく 0.5~2 秒の間に筋反射反応が著明に減衰していく現象を観察記録している。私共の症例でも域値上比較的弱い刺激強度では同様に振幅の減衰を認めたが、ある程度以上の刺激の強さではこの減衰をほとんど示さなかった (図 2)。habituation あるいは adaptation と呼ばれるこの現象は、音響性アブミ骨筋反射でも認められたごとくアブミ骨筋の側に基因するものでなく刺激経路にもとづく要因と私共は推測している¹⁰⁾。さらに生理学的に興味を引く所見として反対側耳に音響性アブミ骨筋反射を起すに十分な音刺激を与えておく域値下の電気刺激でも筋反応が認められたことである (図 3)。Klockhoff⁴⁾ は両者共域値下刺激を同時に与えた場合でも筋反射反応を検出しており、また反対に両者共かなり強い刺激強度では occlusion 現象がみられたことから、これらの所見は皮膚および蝸牛からの求心性インパルスが、反射弓内で同一の運動神経の反射発火に関与していると考察している。音響によるアブミ骨筋反射の測定はインピーダンスオージオメトリーの中でも最も重要な測定の一つである。この方法は音響性アブミ骨筋反射が一側の音響刺激により両側性に反射収縮するという事実にもとづいて、一側耳に音響を負荷し反対側耳からインピーダンス変化を測定している。したがって反射弓内のいろいろな障害、たとえば音響負荷耳に伝音障害、極めて高度の感音難聴、後迷路性難聴などがある場合、インピーダンス測定側耳に伝音障害やアブミ骨筋麻痺などがある場合には音響性アブミ骨筋反射の検出が極めて困難となる。この検査法を利用した代表的な例として他覚的レクルートメント検査 (Metz recruitment test) があり、臨床に広く応用されている^{5) 9) 13)}。純音域値と筋反射域値との接近が認められる時はレクルートメント陽性と判定される。しかし筋反射が得られない場合にはレクルートメント陰性とは診断しえず⁴⁾、インピーダンス測定耳のアブミ骨筋が正常に働いているかどうかまず確かめる必要がある。もし外耳道電気刺激によりアブミ骨筋反応が検査されない場合には

Metz のレクルートメントテストは適用でないといえる。その他この測定法はアブミ骨の可動性の有無や顔面神経麻痺の局在診断などにも応用できるものと考ええる。

V 結 語

1) 外耳道電気刺激により得られた鼓膜インピーダンス変化は考案で述べたごとく鼓膜張筋の作用ではなく、アブミ骨筋の収縮によるものと推測された。

2) 本測定法は既存の測定器を使用でき操作も簡単であり、非音響性にアブミ骨筋機能を検出しえる有用な検査法である。

3) 非音響性アブミ骨筋反射測定は、今後、インピーダンスオージオメトリーのうちの一分野の役割をになうものと思われる。

本論文の要旨は昭和 49 年 10 月、第 19 回日本オージオロジー学会で発表した。

Recording of the Stapedius Reflex Elicited by Electrical Stimulation of the Skin of the External and Auditory Canal

Kazuhiro Hojo, Yoshiaki Ohno,

Satoru Hosokawa and Hatsuo Ino

Department of Otolaryngology, School of Medicine, Niigata University

Reflex contraction of the stapedius muscle elicited by unilateral electrical stimulation by using Hilger facial nerve stimulator of the external auditory meatus, was studied in persons of normal hearing and patients with various types of hearing impairment. The reflex of the stapedius muscle was observed by impedance meter (Madsen ZO 70), and it was recorded quantitatively by continuous tracing on a level recorder.

In normal ears, the threshold of electrocutaneous stapedius reflex (average 1-mA) and uncomfortable level of electrocutaneous stimulation (average 5 mA) were measured respectively. Even in severe perceptive hearing loss with no acoustic stapedius reflex, the electrocutaneous reflex was obtained.

In otosclerosis verified by operation, an electrocutaneous reflex was not obtained.

And the electrocutaneous stimulation caused no impedance change in patients with unilateral

peripheral facial palsy in whom paralysis of the stapedius muscle ascertained by means of acoustic stimulation.

Thus it could be concluded that the impedance change is caused by reflex contraction of the stapedius muscle elicited by electrocutaneous stimulation in the external auditory canal. This investigation indicated that stapedius reflex was elicited by the non-acoustic stimulation in humans.

参 考 文 献

- 1) Djupesland, G.: Middle ear muscle reflexes elicited by acoustic and nonacoustic stimulation. *Acta Otolaryng.*, Suppl. 188, 1963.
- 2) Jerger, J.: Clinical experience with impedance audiometry. *Arch. Otolaryng.*, 92; 311-324, 1970.
- 3) Klockhoff, I. and Anderson, H.: Recording of the stapedius reflex elicited by cutaneous stimulation. *Acta Otolaryng.*, 50; 451-454, 1959.
- 4) Klockhoff, I.: Middle ear muscle reflex in man. *Acta Otolaryng.*, Suppl. 164, 1961.
- 5) Kristensen, H. K. and Jepsen, O.: Recruitment in otoneurological diagnostics. *Acta Otolaryng.*, 42; 553-560, 1952.
- 6) Metz, O.: Threshold of reflex contractions of muscles of middle ear and recruitment of loudness. *Arch. Otolaryng.*, 55; 536-543, 1952.
- 7) Pichler, H. und Bornschein, H.: Audiometrischer Nachweis nichtakustisch ausgelöster Reflexkontraktionen der Intraauralmuskulatur. *Acta Otolaryng.*, 48; 498-503, 1957.
- 8) Sato, and Ono, Y.: The displacement of the stapes by the reflex of the human stapedius muscle. *Acta Otolaryng.*, 68; 509-512, 1969.
- 9) Thomsen, K. A.: The metz recruitment test. *Acta Otolaryng.*, 45; 544-552, 1952.
- 10) 大竹欣哉, 他: 音響によるアブミ骨筋疲労の研究. *Audiology Japan*, 16; 215-216, 1973.
- 11) 大竹欣哉: インピーダンスオージオメトリーの臨床応用. *日耳鼻*, 77; 183-198, 1974.
- 12) 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.
- 13) 大野吉昭: 感音難聴に対する音響性耳小骨筋反射測定の診断的意義. *Audiology Japan*, 13; 283, 1970.
- 14) 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.
- 15) 渡辺 勲: アブミ骨筋性耳鳴のオージオロジー学的意義. *耳鼻*, 20; Suppl. 12; 352-354, 1974.

(受付 50.2.25)