STUDY OF THE NON-ACOUSTIC STAPEDIUS REFLEX ELICITED BY ELECTROCUTANEOUS STIMULATION

KAZUHIRO HOHJYO

Department of Otolaryngology, Niigata University School of Medicine, Niigata

(Director: H. Ino, M. D.)

The purpose of this study is to describe reflex contraction of the stapedius muscle elicited by unilateral electrical stimulation of the skin in the external auditory canal.

The reflex of the stapedius muscle was recorded by an impedance meter (Madsen ZO 70) and a level recorder.

The electrocutaneous stimulation caused no impedance change in patients with unilateral peripheral facial palsy involving the stapedius muscle and with otosclerosis verified by operation. It could be concluded that the impedance change is the result of reflex contraction of the stapedius muscle elicited by electrocutaneous stimulation in the external auditory canal.

In normal ears, various stimulus parameters were studied with special reference to the reproducibility and the habituation on their effects. Also, special care was taken not to cause discomfort on the patient. The discomfort and the habituation were depends on the frequency and width of the stimulating pulses.

The results indicate that an appropriate electrical stimulus was the pulses with 0.01 msec width discharged at a rate of 25Hz.

The electrocutaneous stimulation in the external auditory canal caused bilateral stapedius reflexes. The size of the stapedius muscle contraction elicited by contralateral stimulation was, however, smaller than that elicited by ipsilateral stimulation.

A82—0689—22522

外耳道電気刺激による非音響性アブミ骨筋反射の研究

新潟大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：猪 初男教授）

北 條 和 博

I 緒 言

インピーダンスメータの発達によりヒトのアブミ骨筋反射の測定が、間接的かつ容易におこなわれるようになり、中耳伝音系の診断ならびに神経耳科学的立場から臨床ますます重要な検査法になりつつある。アブミ骨筋反射を惹起させる方法として音刺激が通常使用されており¹²⁾¹³⁾²⁵⁾、周知のごとく Metz test や¹⁰⁾¹⁸⁾²⁰⁾²³⁾²⁶⁾³²⁾、

Reflex decay test¹⁷⁾¹¹⁾¹⁴⁾¹⁶⁾²⁷⁾³¹⁾ 顔面神経麻痺の局在診断³⁾¹⁸⁾ など臨床に広く応用されている。しかしながら音刺激による方法では高度難聴や伝音難聴がある場合、たとえアブミ骨筋が正常な機能を持っても筋反射を起こすに十分な刺激量に達せず筋反射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、耳介周辺ならびに外耳道接触刺激

表 1 外耳道電気刺激条件および測定法

研 究 者	年号	刺 激 法			測 定 法
		パルス頻度 (Hz)	パルス幅時間 (msec)	種 類	
Pichler et al. ²⁹⁾	1957	50	1	mA	loudness の変化
Klockhoff ¹⁸⁾	1961	50	1	Volt	インピーダンスメータ
Gunn ⁸⁾	1973	50	1	Volt	loudness の変化
北條 他 ⁹⁾	1975	6	0.6	mA	インピーダンスメータ
Yonovitz et al. ³⁴⁾	1976	50	1	Volt	インピーダンスメータ, 外耳道圧
Djupesland ⁶⁾	1977	200	1	mA	インピーダンスメータ
Ohno et al. ²⁸⁾	1977	30	0.01	Volt	インピーダンスメータ

などの非音響性因子によっても収縮するので⁴⁾ 非音響性にアブミ骨筋反射を惹起し、この反射を検出することは、いわゆるインピーダンスオージオメトリーの分野にとって非常に役立つものと思われる。非音響刺激としてヒトの場合、外耳道に適当な電気刺激を与える方法が用いられてきた(表 1)が、臨床へ応用するためには恒常性、疼痛軽減等なお改善すべきいくつかの問題点が残されている。そこで著者は、再現性のあるしかも順応現象の少ない、そして不快感、疼痛の軽微な最適電気刺激条件を求める目的で実験を行ない、さらにその刺激条件を使用して臨床例への応用を試みたので報告する。

II 検 査 方 法

- 1) 外耳道挿入刺激電極には 3×16mm の極めて薄い Ag/AgCl 電極を使用した。これは銀板の表面をエメリー粉で十分なめらかにみがいてアルコール洗浄し、生理食塩水中において 0.5mA で約 5 分間陽極で電気分解して表面に AgCl を付着させた。不関電極としては血電極を使用し、それぞれアイソレーターに連結した。
- 2) 電気刺激装置として 電子式刺激装置 (SEN-1101 NIHONKOH DEN) を使用しアイソレーター (SS-101J NIHONKOH DEN) に接続し、これより矩形波定電流パルスを発生させた。
- 3) 電気刺激にともな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グラフ (WI-380 TR NIHONKOH DEN) に記録した。ブロックダイアグラムは図 1 に、耳栓および電極は図 2 に示す。

検査前に被験者の鼓膜、外耳道を観察し、特に耳垢等は十分に除去を行い、アルコールで脱脂後、被験者をベ

ットに仰臥させ安静を保つように指示する。次に外耳道に耳栓とともに電極を挿入し、電極が軟部外耳道後上壁にあたることを確認した後、パルスカテーテルのカフに空気を注入して外耳道を密栓し、かつ電極の固定を行

- 1: Electric stimulator (SEN-1101 NIHONKOH DEN)
- 2: Isolator (SS-101J NIHONKOH DEN)
- 3: Impedance meter (Madsen ZO 70)
- 4: Preamplifier (RDH-2 NIHONKOH DEN)
- 5: Inkwriting oscillograph (WI-380 TR NIHONKOH DEN)
- 6: Ear tip
- 7: Electrode (+)
- 8: Electrode (-)

図 1 ブロックダイアグラム

図 2 耳栓および電極

なった。不関電極は、刺激側の乳様突起部にアルコールで脱脂後装着した。なお、刺激電極、不関電極ともに皮膚抵抗を小さくするため電極ノリを使用した。外耳道圧は鼓膜コンプライアンス曲線がピークを示す点に調節さ

れた。

III 測定成績

1. 最適刺激条件の探索

耳疾患の既応なく耳鏡所見および音響性アブミ骨筋反射に異常の認められない聴力正常5耳を対象として次のパラメータについて測定した。すなわち電気刺激としてパルス幅時間（以下 P.D. と略す）、パルス頻度（以下 P.F. と略す）および電流の強さを種々に設定し、被験者の不快感、筋反射反応の振幅、順応現象との関係について検討を行なった。基礎実験により P.F. に関しては 1 Hz では、矩形波刺激 1 個につき 1 反応波形しか得られなかったが 5 Hz 以上の刺激では刺激期間中、tonic な反応波形が認められた。また 100 Hz 以上になると一過性の phasic な急速に順応を来す反応波形となった。P.D. については短かければ短かいほど疼痛が少なく、10msec では筋反射域値においてもかなり不快をとまなうことがわかった。以上の結果より P.F. は 50, 25,

図 3 各条件における各域値の平均

10, 5 Hz の 4 条件, P.D. は 1, 0.1, 0.01 msec の 3 条件に設定した。

1) 域値

刺激電流の強さとして次の 4 つの域値を測定した。

- i) 感覚域値: 刺激強度を徐々にあげていった時, 外耳道で最初になるような刺激を感じる強さ。
- ii) 反射域値: 筋反射反応が始めて出現する最小刺激強度。
- iii) 中等度域値: 刺激強度を反射域値以上に増加しても外耳道刺激感覚は十分耐えられる強さ。
- iv) 不快域値: これ以上, 刺激強度を増加すると被験者が不快な痛みを訴える強さ。

なお, 反射域値, 中等度域値, 不快域値については約 5 秒間隔で 3 回刺激を行い 筋反射反応の再現性を確認した。

結果は図 3 に示すごとく, 各域値の平均は各 P.F. とともに P.D. が 1, 0.1, 0.01 msec と小さくなるにつれて高くなる傾向にあるが, 直線的でない。そして各域値の

間隔を比較すると P.D. 1 msec では反射域値と不快域値が 0.35~0.43 mA, P.D. 0.1 msec では 1.9~3 mA と非常に狭く, 刺激量をわずかに増加させても不快感を訴えることがわかった。しかし P.D. 0.01 msec ではこの差が 16.6~29 mA と非常に広く, また感覚域値から中等度域値までの間隔も 12~23.4 mA と十分な範囲を示した。P.F. に関しては 50, 25, 10, 5 Hz と小さくなるにつれて各域値間隔が広がる傾向にあった。図 4 に P.D. 0.01 msec での 5 耳の各域値における値を示すが, 各 P.F. ともにある程度バラツキを示し, 反射域値に関しては 25 Hz, 50 Hz で最もバラツキが少なかった。

2) 振幅

全ての刺激条件で電気刺激強度増加に伴い, 反応振幅の増大傾向を示すが, 刺激強度をある程度以上に増加しても著明な振幅の増大は認められなくなった (図 5)。各刺激条件における反射域値, 中等度域値および不快域値での反応振幅を比較するために, 記録波形の最初の立ち上りを基線より mm 測定した。図 6 に各刺激条件で

図 4 パルス幅時間 0.01 msec での 5 耳の各域値における値

図 5 外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射反応波形, 10mA で明らかな反応が認められる。

図 6 各刺激条件における各域値の平均反応振幅の比較

の平均振幅を示す。反射域値、中等度域値および不快域値と刺激強度の増加に伴ない振幅の増大傾向を認めるが、中等度域値および不快域値では P.F. 25Hz, 50Hz, P.D. 0.01msec, 0.1msec で他の刺激条件より大きな振幅が得られた。

3) 順応現象

P.D. 0.01msec について P.F. と順応現象との関係を検討した。比較的弱い刺激強度では刺激の持続中、振幅の減衰いわゆる順応現象が認められることが文献⁹⁾よりははっきりしているため不快域値における10秒間の刺激において初期振幅と10秒後の振幅を各々の P.F. について%で求めた。その結果、P.F. 50, 25, 10, 5 Hz で各平均 10, 83, 64, 27%の値が得られ、P.F. 25Hz の順応現象が最も少なかった。5耳における刺激開始から5秒後、10秒後の振幅の減衰の程度を図7に示した。

2. 音響および電気同時刺激による反応

P.D. 0.01msec および P.F. 25Hz の電気刺激を用い、反対側耳より 1kHz の音刺激を同時に与え、次の組合せで測定を行なった。

- 域値下音響刺激と域値下電気刺激
- 域値下電気刺激と域値上音響刺激
- 域値上電気刺激と域値下音響刺激
- 域値上電気刺激と域値上音響刺激

結果は図8に示す。電気刺激による非音響性アブミ骨筋反射域値は 10mA であり、1 kHz の音響性アブミ骨筋反射域値は 75dB であるが域値下電気刺激 (5 mA) に域値下音響刺激 (70dB) を同時に与えると反応波形が認められる (a)。また域値上音響刺激 (80dB, 85dB) を与えておき、これに域値下電気刺激 (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こる (b)。域値下音響刺激 (70dB) に域値上電気刺激 (20mA) を同時に負荷すると域値上電気刺激 (20 mA) 単独の反応波形よりも大きな振幅を得られることがわかった (c)。域値上電気刺激 (20mA) と域値上音響刺激 (80dB) の同時負荷では当然、両者の反応波形の組合せが認められるが、電気刺激による反応波形はそれ単独のものよりも大きな振幅であった (d)。

3. 反対側外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射の測定

外耳道電気刺激を利用した非音響性アブミ骨筋反射が両側性に惹起されるかどうかについて検討を行なった。P.F. 25Hz, P.D. 0.01msec の電気刺激を使用し、刺激側および反対側の音響インピーダンス変化を測定記録した。結果は図9に示すごとく中等度以上の刺激強度に対して両側の筋反射反応が得られたが、反応振幅を比較すると刺激側よりも反対側が小さい傾向にあった。

図7 パルス幅時間 0.01 msec の5耳における刺激開始から5秒後、10秒後の振幅の減衰程度

図8 反対側音響および同側電気刺激によるアブミ骨筋反射反応波形

図 9 同側および反対側電気刺激によるアブミ骨筋反射反応波形

4. 臨床例

電気刺激はこれまでの基礎的 Data より最適刺激条件として P.F. 25Hz, P.D. 0.01msec の矩形波パルス*を使用した。

1) 感音難聴

SISI テスト, Bekesy 検査, 音響性アブミ骨筋反射測定等の検査で両側内耳性難聴と診断された6例について, すべての症例で電気刺激による筋反射反応が測定可能であった。反射域値, 中等度域値および不快域値は正常者のそれらとほぼ同様の値であった(表 2)。

2) 末梢性顔面神経麻痺

ベル麻痺3例, ハント症候群2例, 外傷性麻痺2例, 計7例について電気刺激による筋反射反応および音響性アブミ骨筋反射の有無との関係を比較した。表3に示す

ごとくこれらの症例の中で音響性アブミ骨筋反射の認められない, すなわち suprastapedial lesion の3例では電気刺激を不快域値まで上げてても反応波形は検出されなかった。健側耳においては正常者とはほぼ同じ反射域値, 中等度域値および不快域値で筋反射反応を検出できた。

3) 耳硬化症

手術的に確認された耳硬化症では, 術前の音響性アブミ骨筋反射は最大音響負荷(120dB)でも検出されなかった。外耳道電気刺激法によっても不快域値まで刺激強度を上げたが, 筋反射反応はまったく出現しなかった(図 10)

4) 一側高度難聴

表 3 末梢性顔面神経麻痺症例の外耳道電気刺激と音響性アブミ骨筋反射の有無

表 2 感音難聴耳の外耳道電気刺激による各域値				
症 例	反射域値	中等度域値	不快域値	
Y. K. 右	15mA	25mA	40mA	
左	15	25	35	
H. R. 右	15	25	40	
左	10	35	45	
K. S. 右	10	25	40	
左	7.5	25	40	
K. M. 右	20	35	45	
左	15	25	35	
N. T. 右	15	30	40	
左	15	30	40	
S. Y. 右	15	30	45	
左	20	30	40	
平 均	14.38	28.3	40.4	

症例	病名	反射域値	中等域値	不快域値	ASR
H. Y.	左ベル	右 15mA	30mA	40mA	(+)
		左 30	40	45	(+)
T. H.	左外傷	右 15	25	35	(-)
		左 45mA で scale out			(+)
K. S.	左ハント	右 7.5	30	40	(+)
		左 15	30	40	(+)
N. T.	右ベル	右 40mA で scale out			(+)
		左 10	25	30	(-)
K. M.	左外傷	右 15	30	40	(+)
		左 7.5	20	30	(+)
Y. M.	右ベル	右 10	30	35	(+)
		左 10	20	40	(+)
S. T.	右ハント	右 15	30	45	(-)
		左 45mA で scale out			(+)

ASR…音響性アブミ骨筋反射

△---- 右音響性アブミ骨筋反射域値

▲---- 左音響性アブミ骨筋反射域値

外耳道電気刺激

右 } 40 mA で (-)
左 }

図 10 耳硬化症 ♂ 40 歳

音響性アブミ骨筋反射は交叉性反射を利用して測定する場合、音刺激側に伝音難聴や高度感音難聴が存在すると、正常側耳の筋反射反応を検出し難い。図 11 は左耳会話音域正常、右耳ろうの症例であるが、左耳の音響性アブミ骨筋反射は右耳に最高音圧 120dB を与えても検出できず、左耳のアブミ骨筋機能については不明である。そこで左耳に電気刺激を与えると、反射域値 20mA、中等度域値 30mA、不快域値 40mA で筋反射反応を明瞭に検出できた。なお、ろうである右耳のアブミ骨筋反射は左耳の音刺激および右耳の電気刺激によっても認められている。

5) 両側高度難聴

図 12 の症例の場合、左右とも音響性アブミ骨筋反射は検出困難であり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左右とも、正常者とほぼ同様の域値で筋反射反応を検出できた。

6) 小脳橋角部腫瘍

手術的に確認された 2 症例と CT にて疑われた 1 症

△---- 右音響性アブミ骨筋反射域値

▲---- 左音響性アブミ骨筋反射域値

外耳道電気刺激

	反射域値	中等度域値	不快域値
右	15 mA	30 mA	40 mA
左	20 mA	30 mA	40 mA

図 11 一側高度難聴 ♂ 41 歳

例について検討した。

i) 右聴神経腫瘍 (図 13)

V, VII 脳神経症状が著明で、VII 脳神経症状は味覚障害のみであった。患側 (右耳) の音響性アブミ骨筋反射は 0.5, 1 kHz にて 100dB で認められ、Reflex decay 測定でも陽性の所見であった。左音響性アブミ骨筋反射は正常範囲に出現している。電気刺激では患側 (右耳) で不快域値に上昇させても筋反射反応は検出されず健側 (左耳) では正常域値範囲にて検出された。後頭下開頭術にて左小脳橋角部より内耳道孔に腫瘍を確認した。

ii) 右小脳橋角部腫瘍 (図 14)

V, VII, VIII 脳神経症状が著明で、音響性アブミ骨筋反射は患側 (右耳) 音刺激で最高音圧 120dB にても検出されなかった。健側 (左耳) 音刺激では 0.5, 1 kHz にて 95dB で反応が確認された。電気刺激では両耳ともに、不快域値まで刺激強度を上げて筋反射反応は検出されなかった。後頭下開頭術にて右小脳橋角部を中心に midline に及ぶ腫瘍が確認された。

iii) 左聴神経腫瘍の疑い (図 15)

△ --- 右音響性アブミ骨筋反射域値

▲ --- 左音響性アブミ骨筋反射域値

外耳道電気刺激

	反射域値	中等度域値	不快域値
右	15 mA	30 mA	40 mA
左	20 mA	30 mA	40 mA

図 12 両側高度難聴 57歳

V, VII, VIII脳神経症状は存在するがレ線所見で、はっきりした内耳道の拡大はみられず CT にて左小脳橋角部に腫瘍が疑われた。音響性アブミ骨筋反射は患側（左耳）音刺激で最高音圧 120dB にても検出されず、また健側（右耳）音刺激では 100～105dB と高い域値で検出された。電気刺激では健側（右耳）でほぼ正常域値にて筋反射反応が出現したにもかかわらず患側（左耳）では不快域値まで刺激強度を上げて検出されなかった。

IV 考 案

外耳道および耳介周辺の接触刺激により耳小骨筋反射がおこることは Kato¹⁷⁾ や Wersäll³³⁾ らが動物において報告し、ヒトにおいても同様の報告がある^{23,25)} しながら、インピーダンスメータを使用する場合、接触刺激法では耳栓に触れてアーチファクトを発生させる危険性がある。そこで皮フ刺激として電気刺激法を採用したが、アーチファクト発生防止以外に、刺激量を一定に、しかも定量化することができるなどの利点もある。さて外耳道電気刺激により惹起されたインピーダンス変化が

図 13 右聴神経腫瘍 69歳

音響性アブミ骨筋反射 右(△)…(+) 左(▲)…(+)

外 耳 道 電 気 刺 激	右 左	
	反射域値	7.5mA
	中等度域値	35mA で(-)
	不快域値	15mA
		20mA

脳 神 経 症 状 V, VII(味覚障害のみ), VIII

備 考 手術で確認

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、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。Klockhoff¹⁸⁾ によれば 1) 手術的に確認された中耳伝音障害例、2) アブミ骨筋腱切断例、3) 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りアブミ骨筋麻痺の認められた症例ではいずれも外耳道電気刺激によるインピーダンス変化が測定されなかったこと、さらに 4) 末梢性顔面神経麻痺例では麻痺回復後に電気刺激によるインピーダンス変化が測定できたことなどの臨床的観察から外耳道電気刺激によるこの反応はアブミ骨筋の作用であるとした。Yonovitz ら³⁴⁾ は外耳道電気刺激に伴う反応を外耳道圧変化測定法を利用しておこない、アブミ骨摘出症例では、何ら変化のなかったことを証明した。著者も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よりアブミ骨筋麻痺と診断された症例、手術的に耳硬化症と確認された症例の術前検査で電気刺激によってもインピーダンス変化がまったく

図 14 右小脳橋角部腫瘍 ♀ 76歳

音響性アブミ骨筋反射 右(△)…(-) 左(▲)…(+)

外 耳 道 電 気 刺 激	右 左	
	反射域値	45mA
	中等度域値	45mA
	不快域値	で(-) で(-)

脳 神 経 症 状 V, VII, VIII

備 考 手術で確認

図 15 左聴神経腫瘍の疑い ♂ 41歳

音響性アブミ骨筋反射 右(△)…(+) 左(▲)…(-)

外 耳 道 電 気 刺 激	右 左	
	反射域値	10mA
	中等度域値	15mA
	不快域値	30mA 40mA

脳 神 経 症 状 V, VII, VIII

備 考 CT にて腫瘍疑われる

認められなかったことより、こ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。

電気刺激の種類には定電圧刺激法と定電流刺激法とがある。Klockhoff¹⁸⁾は定電圧刺激法を用いたが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、いわゆる順応現象を認め、Yonovitz³⁴⁾も同様の報告をしている。著者の使用した定電流刺激法では後に述べるごとく、この順応現象がきわめて少なかった。このことは電気生理学的に定電流刺激では定電圧刺激に比べ刺激量が、電極一皮膚間の抵抗にあまり左右されず、電極に多少の脱分極が生じていても一定の刺激量を得ることができること、さらに今回使用した Ag/AgCl 電極が他の金属電極と比較し分極電圧の値が極端に小さく、不分極電極といわれており刺激電極として理想的であること²²⁾³⁰⁾などの理由にもとづくものと考えられる。

次に外耳道電気刺激による非音響性アブミ骨筋反射を臨床に応用する場合、問題となることは被験者への疼痛

等の不快感をできるだけ少なくし、反応振幅が比較的大きく、しかも順応現象の認められない再現性のある筋反射反応をいかに得るかということである。今回、これらの点について電気刺激のパラメータのうち P.F., P.D. そして刺激強度との関係を検討し最適刺激条件を求めたわけである。P.D. に関しては短くすればするほど反射域値と不快域値の間隔が広がることが判明した。すなわち P.D. 0.01msec では感覚域値、反射域値、中等度域値および不快域値差が他の P.D. 1 msec, 0.1msec よりもゆとりがあり、刺激量をわずかに上昇させても不快感を生ずる危険性がない。そこで P.D. 0.01msec における P.F. の影響を10秒間刺激による順応現象との関係について検討を行ない、P.F. 25Hz で最も少ないことが判明した。この順応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求心経路にもとづく要因と推測されており²⁴⁾ Djupesland⁹⁾も反射弓における入力に局限していると考察してい

る。なお反応振幅は一般に、刺激強度の増加に伴い大きくなる傾向が認められており、P.D. 0.01msec の条件では中程度域値および不快域値において P.F. 25Hz, 50Hz が大きな振幅を示した。

以上、今回の測定結果より P.F. 25Hz, P.D. 0.01msec の電気刺激が 1) 不快感を起こしにくいこと 2) 順応現象が少ないこと。そして 3) 他の条件と比較し、十分に大きな反応振幅を得られることなどの条件を満たし最適と考えた。これらのうち、疼痛等の不快感に対しては特に P.D. が、順応現象に対しては特に P.F. が関与しているように思われる。刺激条件の標準化に関しては Klockhoff¹⁸⁾, Djupesland ら⁶⁾ によってもなされているが、Klockhoff は P.F. 50Hz, P.D. 1 msec の定電圧刺激を、Djupesland らは P.F. 200Hz, P.D. 1 msec の定電流刺激を刺激時間 0.5秒で 10秒間隔にて与えることを推奨している。しかしながら前者の方法では前述したごとく順応現象が生じやすい欠点があり、また後者の方法は不快感に対してあまり注意を払わず順応現象の最も少ないできるだけ大きな筋反射反応を得ることに基準を置き、しかも順応現象に関してはくりかえし刺激に対してのみ検討しているだけで持続的な刺激については検討していない。さて P.F. 25Hz, P.D. 0.01msec の電気刺激における反射域値は 9～15mA (平均 13mA)、中程度域値は 20～30mA (平均 25mA)、不快域値は 30～45mA (平均 38mA) であり、各個人間に正常人でもかなりのバラツキを認めた。この原因として外耳道内における刺激電極の位置や皮膚抵抗などの相違が考えられている。Klockhoff¹⁸⁾ によれば外耳道の前、後、上、下の各部位によって電気刺激に対する感受性に差のあることが指摘されており、彼の方法では後壁から最も低い刺激強度で筋反射反応が測定されたという。今回の私の実験では外耳道後上壁の刺激により反射域値、振幅ともに最良の結果が得られているが、Djupesland ら⁶⁾ は耳甲介腔刺激法を利用している。いずれにせよ電気刺激測定法の場合、刺激部位は留意すべき点の一つである。また中程度域値および不快域値は被験者の主観によってきまるものであるため、ある程度のバラツキはやむを得ない。

電気および音の同時刺激による筋反射反応は生理学的に興味のある所見を示した。すなわち反対側耳に音響性アブミ骨筋反射域値下の音刺激を与えると反射域値下電気刺激でも筋反射反応が観察された。さらに反射域値上ある程度の強さの電気刺激による筋反射反応は域値下ないし域値上の音刺激を与えると電気刺激単独の場合より

もその振幅が増大した。このことについて Klockhoff¹⁸⁾ 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ためであろうと考察している。

電気刺激による非音響性アブミ骨筋反射が音刺激の場合と同様に両側性に惹起するか否か問題である。Kato¹⁷⁾ や Lorente ら²¹⁾ は動物実験により両側性耳小骨反射を報告しているが、ヒトにおける報告はなお区々である。

Pichler ら²²⁾ は外耳道電気刺激により刺激側耳で 1kHz 以下の低音域において純音域値が 10～15dB 上昇し、さらに反対側耳でも約 5dB 以内の上昇を認め、これは一側外耳道電気刺激に伴う両耳の耳小骨筋収縮による中耳伝音能率の変化によるものとした。Djupesland は耳介接触刺激²³⁾ および耳甲介腔電気刺激⁶⁾ により両側性反射収縮をインピーダンスメータにて記録し、また測定側耳のアブミ骨筋反射を反対側耳の接触刺激により筋電図学的²⁴⁾ にも証明した。しかし Klockhoff¹⁸⁾ はこの反射を両側性でないと結論した。その理由として刺激強度を強めると不快感のため眼輪筋収縮がおり、それに伴う反応であるとした。著者は中等度以上の電気刺激強度により両側性に筋反射反応を明らかに記録できた。この時の被験者の状態を仔細に観察してみると、表情筋および体動等のアーチファクトはまったく認められず、外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射は音刺激と同様に両側性反応であると考ええる。

非音響性アブミ骨筋反射弓については不明な点が多いが、解剖学および動物実験から求心路は三叉神経、顔面神経の中間神経、舌因神経、迷走神経および頸髄(C₂, C₃)の知覚枝が考えられ、反射中枢は脳幹部に存在し、遠心路は顔面神経—アブミ骨筋であると推測されている¹³⁾。ただ電気刺激が直接アブミ骨筋を収縮させているのではないかという懸念もあるが、外耳道が麻酔された場合には筋反射は認められていない¹⁸⁾²⁸⁾。今回の臨床例のうち末梢性顔面神経麻痺例から、遠心路に関してはまちがいないものと考えるが求心路については、小脳橋角部腫瘍の症例より顔面神経、三叉神経が強く関与しているものと思われた。今後、この方面の実験的、臨床的研究がまたれる。

V 結 語

1) 外耳道電気刺激により得られた音響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収縮によるものと推測された。

- 2) 電気刺激の最適刺激条件を、疼痛、振幅、順応現象などの面より検討し、パルス幅時間 0.01msec、パルス頻度 25Hz の定電流矩形波パルスが最適であった。その反射域値は平均 13mA、不快域値は平均 38mA であった。
- 3) 反射域値下の音刺激および電気刺激を同時に与えると筋反射反応を検出できた。また反射域値下および域値上の音刺激を負荷すると電気刺激単独の反応波形より振幅の大きな波形が得られた。
- 4) 中等度以上の外耳道電気刺激強度で両側性に筋反射反応が観察されたが、刺激側に比べ反対側は反応振幅が小さかった。
- 5) 外耳道電気刺激による非音響性アブミ骨筋反射測定はインピーダンスオージオメトリーの一分野における重要な検査法と思われる。

参 考 文 献

- 1) *Anderson et al.*: Early diagnosis of VIIIth-nerve tumors by acoustic reflex. *Acta Oto-laryngol.*, 263: 232-237, 1970.
- 2) *Djupesland G.*: Electromyography of the tympanic muscles in man. *Audiology* 4: 34-41, 1965.
- 3) *Djupesland G.*: Observation of changes in the acoustic impedance of the ear as an aid to the diagnosis of paralysis of the stapedius muscle. *Acta Otolaryngol.*, 68: 1-5, 1969.
- 4) *Djupesland G.*: Middle ear muscle reflexes elicited by acoustic and nonacoustic stimulation. *Acta Otolaryngol.*, Suppl. 188, 1963.
- 5) *Djupesland G.*: Contraction of the tympanic muscles in man. Universitetsforlaget, Oslo. 1967. Cited by Djupesland, G. (1977).
- 6) *Djupesland G, Flottrop G and Sundby A.*: Impedance changes elicited by electrocutaneous stimulation. *Audiology* 16: 355-364, 1977.
- 7) *Greisen O, et al.*: Stapedius muscle reflexes and Otoneurological examinations in brain stem tumors. *Acta Otolaryngol.*, 70: 366-370, 1970.
- 8) *Gunn W J.*: Loudness changes resulting from an electrically induced middle-ear reflex. *J.A.S.A.* 54: 380-385, 1973.
- 9) 北条和博 他: 外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射の測定 *Audiology Japan*, 18: 283-289, 1975.
- 10) 北条和博 他: Metz-test (ABLB-test, SISI-test, Bekesy-test との比較) *Audiology Japan*, 20: 27-32, 1977.
- 11) *Jerger E, et al.*: Diagnostic value of crossed VS uncrossed acoustic reflexes. *Arch. Otolaryngol.*, 103: 445-453, 1977.
- 12) *Jerger J.*: Clinical experience with impedance audiometry. *Arch. Otolaryngol.*, 92: 311-324, 1970.
- 13) *Jerger J.*: Handbook of Clinical impedance audiometry. New York, American electromedical corporation, 1975.
- 14) *Jerger J, et al.*: The acoustic reflex in eighth nerve disorders. *Arch. Otolaryngol.*, 99: 409-414, 1974.
- 15) 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.
- 16) 神崎 仁 他: 聴神経腫瘍および脳幹障害例に対するアブミ骨筋反射測定の診断的意義. *Audiology Japan*, 20: 103-109, 1977.
- 17) *Kato T.*: Zur Physiology der Binnenmuskeln des Ohres. *Pflüg. Arch. ges. Physiol.*, 150: 569-625, 1913.
- 18) *Klockhoff I.*: Middle ear muscle reflexes in man. *Acta Otolaryngol.*, Suppl. 164, 1961.
- 19) *Kristensen H K and Jepsen O.*: Recruitment in otoneurological diagnostics. *Acta Oto-laryngol.*, 42: 553-560, 1952.
- 20) *Lamb L E, et al.*: Application of stapedius muscle reflex measures to diagnosis of auditory problems. *Audiology*, 7: 188-199, 1968.
- 21) *Lorente de No R.*: The reflex contraction of the muscles of the middle ear as a hearing test in experimental animals. *Trans. amer. laryng. rhin. otol. soc.* 39: 26, 1933. Cited by Klockhoff, I. (1961).
- 22) 松尾正之 他: 生体用金属電極の電気的特性. 医用電子と生体工学 8: 151-159, 1970.
- 23) *Metz O.*: Threshold of reflex contractions of muscles of middle ear and recruitment of loudness. *Arch. Otolaryngol.*, 55: 536-543, 1952.
- 24) 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.

- 25) 大竹欣哉 他: インピーダンスオーディオメトリーの臨床応用. 日耳鼻 77: 183-198, 1974.
- 26) 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.
- 27) 大野吉昭: 音響性アブミ骨筋反射の各種パラメーターの測定と脳幹障害例の分析. 第79回日耳鼻シンポジウム別冊, 1978.
- 28) Ohno Y, Nagel D und Pfalz R.: Stapedius Reflex des Menschen bei Ipsilateraler elektrischer Reizung im Gehörgang. Die Arbeitsgemeinschaft Deutscher Audiologen und Neurologen. (ADANO) 1977.
- 29) Pichler H und Bornschein H.: Audiometrischer Nachweis nicht akustisch ausgelöster Reflexkontraktion der Intraauralmuskulatur. Acta Otolaryngol., 48: 498-503, 1957.
- 30) 田頭 功 他: 生体用金属電極の交流特性 医用電子と生体工学 10: 222-230, 1972.
- 31) Thomsen J, et al.: Audiological findings in 125 cases of acoustic neuromas. Acta Oto-laryngol., 80: 353-361, 1975.
- 32) Thomsen K A.: The metz recruitment test. Acta Oto-laryngol., 45: 544-552, 1952.
- 33) Wersäll R.: The tympanic muscles and their reflexes. Acta Otolaryngol., Suppl. 139, 1958.
- 34) Yonovitz A and Harris J D.: Eardrum displacement following stapedius muscle contraction. Acta Otolaryngol., 81: 1-15, 1976.
-
- 稿を終るにあたり、御指導、御校閲を賜った恩師猪初男教授に深謝いたします。また研究の直接御指導をいただいた富山医科薬科大学医学部耳鼻咽喉科学教室大野吉昭助教授に謝意を表します。最後に聴覚班他教室員の皆様に感謝いたします。
-
- (原稿受付 昭和54. 4. 26日急載)
- 別刷請求先 〒951 新潟市旭町通一番町
新潟大学医学部耳鼻咽喉科学教室 北條 和博