耳小骨筋反射の周波数特性

八木 伸也*・深沢 達他**・広野 喜信**

Frequency Characteristics of Stapedial Reflex

Nobuya Yagi

(Kohchi Medical School)

Tatsuya Fukazawa and Yoshinobu Hirono

(Fukui Red Cross Hospital)

Frequency characteristics of the stapedial reflex was determined by application of contralateral sound stimulation modulated sine wave at several frequencies.

In the case of 23 normal subjects, the stapedial reflex showed responses similar to signal sine wave up to 1.04 Hz. From 1.04 Hz to 3.20 Hz, stapedial reflex decreased in amplitude following -6.7 dB/oct line. Beyond 3.10 Hz, amplitude of the stapedial reflex decreased rapidly with -26.8 dB/oct line.

Facial paralysis usually accompanied stapedial muscle paralysis. On the way to recovery, the reflex showed the same pattern of frequency response, but its amplitude was less than the normal side.

緒 言

耳小骨筋反射, 特にあぶみ骨筋反射 (以下 Stapedial Reflex, SR と略す) は, 音刺激等の諸刺激で誘発される反射系である。

従来 SR は, ある一定時間の間, 一定音圧の刺激を与え SR の反応をみるという静的な観察方法が多い。この方法では, 動的特性, 特に周波数特性は測定しえない。

耳小骨筋反射系には音刺激に対して線形の動作を示す領域が存在する。この領域内では, 入出力関係が線形の関係を示す為, 動的特性を調べる事が可能である。

今回我々はインピーダンスオージオメーターを改造し, 外部より Sine 変調を可能にするような装置をつけ, 対側刺激音に Sine 振巾変調した 1 KHz の音を加えるようにした。この方法により, 正常人及び, SR 麻痺を伴った顔面神経麻痺の SR の周波数特性を観察した。

装置及び方法

SR 測定には, テレダイン製インピーダンス オージオメーター (TA-2C) を使用した。本実験に要した改造点は, 下記の4点である。

*高知医科大学耳鼻咽喉科学教室

**福井日赤耳鼻咽喉科

- 1, 反応波形をTA-2Cよりとり出し, 3チャンネルレクチコーダー(三栄測器)に記録できるようにした.
- 2, 市販のTA-2Cは波形をきれいにしよう反応速度を遅くしてあり, 今回の実験に所望の反応速度がえられない. この為周波応答を早くするようにした.
- 3, 対側信号の途中に, 振巾変調器を入れるようにした. 信号変調として振巾変調(AM変調)を用い, 変調周波数として, 0.2 Hzより6 Hz近くまで8点を取り, Sine変調を行うようにした.
- 4, TA-2Cでは, 0.01 cc以下は無反応になるようにしてあるが, この部も改良して, これ以下の反応も可能となるようにした.

2) について80年製のTA-2Cは, 得られた波形をLow-pass-filterに通して, 観察に不必要な高周波成分を除去している. このfilterの周波数の上限を可能なかぎりあげる事とし, 25 Hzまでとした. 本器を会社側で実測したところ, プローブに接続したカプラーの容

積(5cc, 3cc)によらず, 7 Hzまでは, 平坦な周波数特性をもっていた. それ以上は6 dB/octで低下を示していた.

この事は, 改造したTA-2Cは, 7 Hzまでは平坦な周波数特性をもっているといえる.

3) についてはTA-2Cより得られた1 KHzの対側刺激音を0.2, 0.5, 1, 1.7, 2.6, 4.0, 4.8, 5.9 HzのSine波で振巾変調する装置をつけた. この振巾はある設定dBに対して-2~8 dBの変化をするようにした. この振巾変調器は, 単純に掛算器(multiplier)を使用したのみで, 対数変換を行っていない(図1).

しかし実用上障害となる点は, 見いだせなかった.

実験には, 振巾変調した音を, 対側刺激として使用し, 約12秒間与えた.

与えた音圧決定は下記の如くした. SRは最小域値より100 dB近くまで, ほぼlinearな領域をもっている. まず図2の如く, SRの音圧に対する反応を確め, 直線領域の中央値よりやや低いdB値を, 与える音圧とした.

図1 振巾変調法

1 KHzの雑音に下段の変調波を掛算器(multiplier)でかけ合わせると右図の如く振巾変調が得られる. 図中の0.1 Hz及び8 Hz近くの周波数は用いていない.

図2 正常例のSR反応

最上段に各音圧に対するSRの反応波を示す。

下図はSRの振巾を刺激音圧に対して表示したもので縦軸はコンプライアンスの変化を示している。

域値 82.2dB より 110dB 近くまでは入出力が直線関係を示す領域である。

対 象

耳疾患，中枢性疾患の既往のない正常人23名を用いて，正常人のSRの周波数特性を検討した。

又病的例として，末梢性顔面神経麻痺10例を用いた。

結 果

正常人の周波数応答の代表例を図3，図4に示す。

最上段は，刺激音ONの時間，中段はSine変調波の波形，最下段は，SRの反応波形を示す。

図にみられる如く，与えられた振巾刺激音に従い，SRは反応している。低い周波数では，振巾は一定しているが，2Hz 近くから小さくなり，6Hz 近くはSine波は消失している。

これが正常人の定型的な反応である。

SRを横軸に対数表示した周波数，縦軸に対数表示した振巾のdB値をとって表示すると図5の如くなる。これは，工学上ボーデ線図と呼

ばれており，周波数特性を調べるのに使用されている。

図5にみられる如く，1.8Hz 近くより下り始め，その低下度は約6dB/octである。3.5Hz 近くよりさらに低下し約27dB/octとなっている。

F_1 は，第1折点周波数， F_2 は第2折点周波数と呼ばれている。

正常人23例の F_1 の分布を図6に， F_2 の分布を図7に示す。

F_1 の平均値及び分散は $1.4 \pm 0.31\text{Hz}$ であった。 F_2 の平均値及び分散は， $3.20 \pm 0.54\text{Hz}$ であった。

図3 Sine 変調音に対するSRの反応

最上段に對側刺激音がONとなっている時間を示し, 中段に Sine 変調波, 下段にSRの反応波形を示す. Sine 変調用周波数の切り換えは 0.5Hz より 5.9Hz まで手動で行っている.

図4 Sine 変調音に対するSRの反応

Sine 変調波の周波数を 2.6~5.9 Hz までにしてある. 5 Hz 近くになるとSR反応はみられるが, 変調波に対する反応は失なわれてゆく.

図5 正常例のボーゼ線図

正常例の周波数特性を示す。横軸に対数表示した周波数、縦軸に対数表示した振幅を示している。 F_1 は第1折点周波数、 F_2 は第2折点周波数を示す。

図6 正常例の第1折点周波数の分布

図7 正常例の第2折点周波数の分布

正常人23例の第1折線勾配の分布を図8に、第2折線の勾配の分布を図9に示す。

第1折線のそれは、 6.56 ± 2.31 dB/octであり、第2折線のそれは 26.83 ± 6.23 dB/octであった。

以上正常人では、1~2 Hzで第1の折点周波数を持ち、以後、約6 dB/octで減衰し、3 Hz附近で、第2の折点周波数を持ち、以後約27 dB/octで低下をすることになる。

このことは、正常人の耳小骨筋反射は、一次のシステム（一次の次数をもつシステム = 6 dB/oct）と、3~5次のシステム（3~5次の次数をもつシステム = 18~30 dB/oct）が縦続し

図8 正常例の第1折線の分布

図9 正常例の第2折線の分布

図10 顔面神経麻痺例のSR

黒丸が健常側, 白丸が麻痺側のSR回帰直線である。この例ではスコアはほとんど回復している。

たシステムと考えられる。

次にアブミ骨筋が麻痺し、徐々に回復をする顔面神経麻痺例で、SRの周波数特性をみる。

図10に、ベル麻痺例のSRを示す。この例ではスコアは、ほぼ完全回復していた。通常のSRは、図の如く、健常側に比して傷害側の振巾は小さい。

この例のSRの周波数特性を図11に示す。図にみられる如く、SRは比較的高い周波数（3～5 Hz）では十分な反応を示しているが、それ以下の低い周波数では十分な振巾がえられていない。アブミ骨筋が十分に回復していないが、早い応答を示す成分は比較的早期に回復するようである。

図12に他のベル麻痺の例を示す。

この例は、SRの回復が十分でない場合である。健常側に比して、低周波の振巾が小さいが、全体として反応パターンは、左方へ移って

図11 図10のSR周波数特性
黒丸が健常側, 白丸が麻痺側の値

図12 顔面神経中等度回復時のSRの周波数特性
この例ではSRの回復は十分でなく麻痺側のSRの振巾は小さい。

いると考えられる。

他の8例も同様のパターンを示した。

顔面神経麻痺例では、アブミ骨筋が完全にマヒするとSR反応は得られない。部分回復が始まると、全周波数にわたり反応が見られ始めるが、ある時期になると先に高い周波数に応答を示す成分が早く回復を示す。

考

SRは、従来の方法では、ある一定音圧の刺激を数秒間与えて、その反応をみ、次に音圧をあげてゆく方法が一般的である。

この方法は、一種の静的検査であり一定音圧

按

に対するSR応答を調べる上では、十分有用である。

これに対して、動的特性を調べる方法がある。これが今回使用した方法である。今回の方

法では、システムの周波数特性、低相特性を調べる事が可能であるが、今回は周波数特性のみを検討した。

Sine 振巾変調波を用いて、Hung¹⁾ は正常人の S R の周波数特性をみている。正常人 5 例であるが、Sine 変調波を与えた場合、第 1 折点周波数は、1.38 Hz 近くであり、以後 12 dB/oct で減衰してゆく。これを彼は Second-order-Lowpass-characteristics (2 次低周波通過特性) の為であるとしている。第 2 折点周波数、第 2 折線についての記述はみられない。

Möler²⁾ も、正常人の S R の周波数特性について報告している。Sine 波で振巾変調した純音を与えると、S R は、2 Hz をやや下まわる折点周波数をもつ Low-pass filter の性質を示すとした。又、1450 Hz のプローブ音で検査すると、振巾が 20 dB 減衰するのは、10 Hz 近くあるとしている。彼も、一次のシステムのみを考えている。

今回の実験では、S R 系は 6 dB/oct で減衰する一次のシステムと、26 dB/oct で減衰する 5 次のシステムの縦続システムと考えられた。

この差は、第 1 に他の報告者より多目の変調周波数をとりあげた事により、2 本の折線が存在する事が明らかになった事、第 2 に、プローブ音の違い (Hung は 500 Hz、Möller は、1450 Hz を使用、筆者は 226 Hz)、第 3 に、1 次のシステムが存在するであろうと仮定したことによる。

1、2 の点については明らかなので、第 3 の点についてのべる。刺激音をステップ状に与えて止めると、刺激音終了時に、S R は、exponential curve にそい減衰してゆく。この exponential curve は、一次のシステムであるが、S R 系では、鼓膜とアブミ骨筋で構成された部分に主に相当する故、中耳系で構成された一次のシステムと、中枢処理系に起因するであろう高次のシステムの 2 つのシステムの縦続接続であろうと推察した。

正常の S R は、今回の実験よりすると、1 Hz

までは十分な応答を示すが、1~2 Hz にかけては、アブミ骨筋を含む中耳伝音系により減衰を受け、さらに高い周波数では、筋及び中枢処理系の高次のシステムで減衰させるとも考えられる。

病的例に対する応用は、Colletti³⁾、大野⁴⁾ が行っている。

Colletti は、MS の症例に、域値上 10 dB で、5 dB の SISI test に用いられる矩形波を与え、S R の反応を観察している。1 Hz の変調波を与えると正常人が 1 dB まで追従するのに対し、MS では 3 dB ですでに消失する為、これを中枢性の decruitment であるとしている。

大野は、同様の方法を用いて脳幹障害例に応用しているが、正常人のばらつきが多い点や病的例に対する応用は、今後の検討課題としている。

矩形波を入力に与える事は、工学上ステップ入力を与える事に対応するが、くり返して与える事は、分析上困難な事が多く、工学的には、Sine 波入力を与える事が多い。

彼等の報告でも、矩形波入力に対する S R 反応に対して明確な分析はみられない。

中枢性疾患に対しての応用は今後の課題と考えられる。

顔面神経麻痺が中等度回復すると一時消失していた S R が再び現われ始める。

その時期の S R の周波数特性をみると図 11、図 12 の如くなる。

ここでまずみられる事は、低周波領域における反応振巾が十分でない事であり、これは麻痺によるアブミ骨筋の収縮力低下によると考えられる。

ある程度 S R が回復した場合、図 11 にみられる如く、比較的高い周波数が回復してくる。これらの事は、アブミ骨筋の収縮の早い成分は、早期に回復するが、収縮力を必要とする遅い成分の回復は遅れている事を意味する。

アブミ骨筋の解剖学的な報告⁵⁾ をみても、2 の成分に相当する部分を探し出すのは難しく、

今後の検討課題である。

以上, アブミ骨筋及びその筋支配神経内部で

も一度麻痺した場合, 回復に際して, 回復順序

があることをうかがわせる。

結 語

1. 正常人の耳小骨筋反射 (アブミ骨筋反射 Stapedial Reflex, SR) 系は, 1 次と 3 ~ 5 次の次数をもつシステムが縦続接続したシステムと考えられる。

2. 末梢性顔面神経麻痺の際起るアブミ骨筋麻痺は, SR によると早い収縮を示す部分から回復し, 低い周波数を受けもつ部分は遅れると考えられた。

参 考 文 献

- 1) Hung I.J., and P. Dallos.: Study of the acoustic reflex in human beings. I Dynamic characteristics. J. A. S. A. 52: 1168 ~ 1180, 1972.
- 2) Møller, R. A.: Acoustic reflex in man. J. A. S. A. 34: 1524 ~ 1534, 1962.
- 3) Colletti, V.: Stapedial reflex abnormalities in multiple sclerosis. Audiology 14: 63 ~ 71, 1975.
- 4) 大野吉昭: 音響性アブミ骨筋反射パラメーターの測定と脳幹障害例の分析. 脳幹障害の診断. p. 149 ~ 170, 第79回日耳鼻シンポジウム資料, 1978.
- 5) 松本康: Bell 麻痺における音響性アブミ骨筋反射の意義に関する臨床的及び実験的研究. 愛媛医学 1: 101 ~ 116, 1982.

原稿到着: 昭和58年1月24日

別刷請求先: 八木伸也

〒781-51 高知県南国市岡豊町小蓮

高知医科大学耳鼻咽喉科学教室