臨 床

純音聴力検査におけるマスキング法の改良

—必要最小限のマスキング量による方法—

松 平 登志正

Improved Method of Masking in Pure Tone Audiometry

—Use of Minimum Level of Masking—

Toshimasa Matsuhira

(Kanazawa Medical University)

In pure tone audiometry, as the level of the test sound given to the test ear increases, the level of the sound transmitted to the nontest ear also increases with a certain amount of attenuation, resulting in more danger of cross hearing. So it is natural and reasonable to increase the noise level of masking simultaneously by the same amount when the test sound is increased.

This paper describes a method of masking which uses the minimum noise level necessary to avoid cross hearing according to the above principle. The test procedure proposed is similar in air and bone conduction audiometry;

1) Obtain the no masking threshold with the nontest ear closed by the masking earphone.

2) Set the test sound to the level 15 dB under the no masking threshold, and the masking noise, which is calibrated to the effective masking level, to the level of the air conduction threshold of the masked ear.

3) Obtain the masked threshold, changing both the test tone and the masking sound simultaneously by the same amount.

This procedure has the following advantages;

1) The undesirable effects of masking noise, such as unpleasant sensations of the subject or central masking are restricted to a minimum.

2) We need not repeat the threshold measurement by changing the masking level.

3) The test procedure is relatively simple and easy to understand.

Key words: pure tone audiometry, masking, cross hearing, overmasking

はじめに

純音聴力検査は耳鼻咽喉科領域において最も頻繁に行なわれる検査の一つであるが、具体的な実施方法、特にマスキング法については臨床での使用に耐える満足のいく体系化された方法が確立され統一されているとは言い難い。マスキングの目的は、検査音が対側耳に聴取されること（陰影聴取）のないように雑音を付加して対側耳の最小可聴域値（以下域値と略す）を上昇させることであるが、その際マスキング雑音（以下雑音と略す）が検査耳に聴取され検査耳の域値を上昇（オーバーマスキング）させてはならない。この二点を満足するような雑音のレベルを患者の聴力に関する予備知識なしに予めただ一つの値に決定することは不可能で、通常なんらかの予備測定の手順を踏んで正しい域値に到達することが多い。この手順としては種々の方法が可能であるが、臨床検査として用いる場合はさらに次の条件を満たしていることが要求される。

- (a)原理が簡単で分かりやすいこと
- (b)迅速に行なえること
- (c)被験者の不快感を最小限にするため、不必要に大きなマスキングを行なわないこと
- (d)測定不能の領域が狭いこと

現在成書に記載されているマスキング法のほとんどは Hood の方法またはその変法である。この方法は、最小の実効レベルより順次雑音のレベルを上げて域値の測定を行ない、雑音を増しても域値の変化しない点（プラトー）を求めるものであるが^{1)~4)}、雑音レベルを変えて何度も検査を繰り返さなければならないので、上記(a)(c)の条件は満足するが(b)の条件に明らかに反する。迅速化のために測定ステップを大きくとればその分大きなマスキング量が必要となり、またプラトーの狭い場合にはプラトーを検出できなくなる危険がある。こうした難点を解決するために種々の方法が考案されてきているが^{5) 6)}、概してその論理が複雑であり(a)や(c)の条件に反するものも多いように思われる。著者

は(c)にもとづくマスキング法を試みた結果、(b)、(d)の条件も満たされており、臨床応用の結果も良好であったのでここに報告する。

必要最小限のマスキング量の予測値

1. マスキング用雑音

本法ではマスキング用の雑音は実効マスキングレベルで較正されていることを前提としている。すなわち検査純音に対する聴力域値レベルより高い実効マスキングレベル MdB の雑音の存在下では、聴力域値レベルは MdBHL まで上昇するものとする。

2. 気導聴力検査（図1参照）

検査耳に AdBHL の気導検査音を提示し、対側遮蔽耳を実効マスキングレベル MdB の雑音でマスキングを行なう場合を考える。遮蔽耳の気導および骨導聴力域値レベルをそれぞれ XmdB および xmdB とすると、陰影聴取が起こらないためには遮蔽耳における雑音の実効レベル値が、遮蔽耳に骨導経路で陰影聴取される気導検査音の感覚レベル値よりも大きければよい。このことを式で表わすと

$$M - X_m > (A - T) - (x_m - O_m) \dots\dots(1)$$

となる。T は気導検査音の両耳間移行減衰量、O_m は遮蔽用イヤホンの閉鎖効果による遮蔽耳の骨導聴力域値レベルの低下分を示す。ここで

図1 気導聴力検査における検査音とマスキング雑音の伝播。Aは気導検査音の聴力レベル、Mは雑音の実効マスキングレベル、Tは気導検査音の両耳間移行減衰量、X_tおよびX_mは検査耳および遮蔽耳の気導聴力域値レベル、x_tおよびx_mは検査耳および遮蔽耳の骨導聴力域値レベル、O_tおよびO_mは検査耳および遮蔽耳の外耳道を気導受話器で閉鎖することによる骨導域値レベルの低下量を示す。

$(x_m - O_m + T)$ は検査音が対側耳で陰影聴取される域値 X_o に等しいからこれを用いると、(1)式は

$$M - X_m > A - X_o \dots\dots\dots(2)$$

と変形される。(2)式をみたす最小のマスキングレベルは、 α を正の小さな定数として

$$M - A = X_m - X_o + \alpha \dots\dots\dots(3)$$

で与えられる。したがって(3)式を常に成り立たせるには、検査音のレベル値 A と雑音のレベル値 M の差を一定値 $(X_m - X_o + \alpha)$ に保つように両者を同時に同量だけ漸増(漸減)すれば良いことを示している。 α の値が小さいほどマスキング量を小さくできることになる。

マスキングを行なわないで得られた気導域値 X_{nm} が陰影聴取による場合には X_o は X_{nm} に等しい。図2はマスキング量と検査域値との関係を示したグラフ(マスキングー域値曲線)と(3)式との関係を示したものである。(3)式はマスキングー域値曲線とプラトー上で交わっており(3)式に従って雑音と検査音を同時に漸増(漸減)すれば正しい域値が得られることを示している。一方 X_{nm} が陰影聴取によらない(すなわち X_{nm} が真の域値に等しい)場合には、もちろんマスキングの必要はないが、そのことを予め知り得ない場合にはマスキングを行なって

図2 雑音—気導(骨導)域値曲線と測定経路。雑音検査音同時変化法の測定経路は傾きが1の直線で表わされ、(3)および(6)式がプラトーと交わることを示す(式および記号は本文参照)。また、クロスヒアリングの場合の域値は no masking の域値に等しく、オーバーマスキングでは検査音をいくら上げても域値に到達しないことを示す。

確かめる必要がある。この場合には X_o の値を知ることはできないが、 $X_o > X_{nm}$ であるから(3)式において X_o を X_{nm} で代用すれば(2)式の条件は自動的に満たされる(ただしこの場合は必要最小限のマスキング量ではなくなる)。いずれにしても(3)式において X_o を X_{nm} に等しいとしてマスキングを行なえば陰影聴取を避けることができる。

3. 骨導聴力検査(図3参照)

検査耳側の乳突部に骨導受話器をあて B dBHLの骨導検査音を提示し、対側耳を実効マスキングレベル MdBの雑音でマスキングを行なう場合を考える。陰影聴取が起こらないための条件は気導聴力検査の場合と同様にして

$$M - X_m > (B - t) - (x_m - O_m) \dots\dots\dots(4)$$

で与えられる。 t は骨導検査音の両耳間移行減衰量を示す。ここで $(x_m - O_m + t)$ は骨導検査音が対側耳で陰影聴取される域値 x_o に等しいからこれを用いると(4)式は

$$M - X_m > B - x_o \dots\dots\dots(5)$$

と変形される。(5)式をみたす最小のマスキングレベルは、 α を正の小さな定数として

$$M - B = X_m - x_o + \alpha \dots\dots\dots(6)$$

で与えられる。気導聴力検査の場合と同様にして、雑音と検査音の差を(6)式の値に保って両者

図3 骨導聴力検査における検査音とマスキング雑音の伝播。Bは骨導検査音の聴力レベル、Mは雑音の実効マスキングレベル、Tおよびtは気導検査音および骨導検査音の両耳間移行減衰量、 X_m および x_m の遮蔽耳の気導および骨導聴力域値レベル、 O_m は遮蔽耳の外耳道を気導受話器で閉鎖することによる骨導域値レベルの低下量を示す。

を同時に漸増（漸減）すれば正しい骨導域値が得られることが示される（図2参照）。

マスキングを行なわないで得られた骨導域値 xnm が陰影聴取による場合には x0 は xnm に等しい。 xnm が陰影聴取によらない（すなわち xnm が真の域値に等しい）場合にも、気導検査の場合と同様に x0 を xnm で代用することができる。したがって骨導聴力検査においてもやはり、(6)式において x0 を xnm に等しいとしてマスキングを行なえば陰影聴取を避けることができる。

4. 手順の省略

上に述べたマスキング法は、Xnm または Xnm の測定（雑音なしでの検査）と、これを用いた(3)式または(6)式による雑音検査音同時変化法の、計2回の測定からなっている。このうち雑音なしでの測定は、対側耳の気導骨導差が既知である場合には省略することができる。

まず気導検査の場合は、遮蔽耳の気導骨導差 (Xm-xm) を Gm とおくと(1)式は

$$M-A>Gm-(T-Om) \dots\dots\dots(7)$$

と変形できる。ここで $T-Om=50\text{dB}$ とすると(7)式をみたす最小のマスキングレベルは、 α を正の小さな定数として

$$M-A=Gm-50+\alpha \dots\dots\dots(8)$$

で与えられる。Gm が既知であれば(8)式をみたすようにマスキングを行なえば1回の測定で正しい域値が得られる。

骨導検査の場合は陰影聴取をおこさない条件(4)式は、Gm を用い t は 0 に等しいとして無視すると気導聴力検査の場合と同様に、

$$M-B>Gm+Om \dots\dots\dots(9)$$

と変形できる。ここで、遮蔽耳に伝音難聴があり Gm が 0 より大きい場合には、Om は正常

表1 正常耳の外耳道を気導受話器で閉鎖することによる骨導域値レベルの低下量

周 波 数 (Hz)	250, 500	1000	2000-8000
外耳道閉鎖効果 (dB)	20	5	0

耳の値 $On^{(4)}$ （表1参照）に比べて小さくなり ($Gm+Om$) は Gm と On の大きい方の値より大きくはないとしてよい³⁾。したがって(9)式をみたす最小のマスキングレベルは、 α を正の小さな定数として

$$M-B=(Gm \text{ と } On \text{ の大きい方の値})+\alpha \dots\dots\dots(10)$$

で与えられる。Gm と On は既知であるから(10)式をみたすようにマスキングを行なえば1回の測定で正しい域値が得られる。

必要最小限のマスキング量の実測

前項で必要最小限のマスキング量の予測値(3), (6), (8), (10)式を得た。ここで α の値は Xnm や xnm などの測定誤差を考慮すると0にはできない。予測式の妥当性を検証することおよび、標準的な臨床の検査場面において α の値をいくらにとればよいかを知る目的で、マスキングを必要とする症例について必要最小限のマスキングレベルを実測し予測値との誤差の範囲について検討した。

1. 対象と方法

1) 陰影聴取の明らかであった難聴症例、気導聴力検査47例および骨導聴力検査61例を対象とした。測定周波数の内訳は、気導検査では125

図4 骨導聴力検査における必要最小限のマスキングレベル（プラトー下限）の実測例

Hz が 2 例, 250 Hz が 3 例, 500 Hz が 7 例, 1 kHz が 11 例, 2 kHz が 8 例, 4 kHz が 5 例, 8 kHz が 10 例であり, 骨導検査では 250 Hz が 9 例, 500 Hz が 12 例, 1 kHz が 12 例, 2 kHz が 8 例, 4 kHz が 14 例, 8 kHz が 6 例である。

これらの症例について, 雑音と検査音のレベル差を一定に保って同時に漸増する域値測定を, レベル差を変化させて反復し, プラトーの下限を必要最小限のマスキングレベルの実測値とした。図 4 に実測例を示す。

必要最小限のマスキングレベルの予測値として(3), (6), (8), (10)式で α を 0 とした値を求め上記実測値と比較した。

2) 正常 11 例 22 耳の気導骨導域値をもとめ, 気導骨導差の平均が 0 となるように骨導出力の較正を行なった。また, 同じく正常 9 例 18 耳を対象に 40 dB のマスキング雑音に気導検査音をミクシングして域値測定を行ない, 雑音レベルの較正を行なった。以上の結果をもとに 1) の結果を 5 dB 単位で補正した。

2. 結果

気導および骨導の必要最小限のマスキングレベルの予測値と実測値を比較した結果を図 5 および図 6 に示す。図で白丸は原法, 黒丸は省略法での予測値との比較を示す。図中の 3 本の直線は実測値と予測値の一致点および 15 dB の相違点を示す。

原法では気導骨導とも実測値は予測値のまわりにほぼ対称に分布しており, 両者の差は気導検査で平均値が 1.1 dB, 標準偏差が 4.7 dB, 骨導検査では平均値が 2.6 dB, 標準偏差が 6.3 dB と骨導の方がばらつきが大きかった ($p < 0.05$)。図より明らかなように予測値と実測値の差が 15 dB をこえたものはなかった。

省略法では予測値が実測値に比べてかなり大きいものがみられるが, 逆に 15 dB 以上小さなものはなかった。この傾向は気導と骨導に共通しているが気導検査でより顕著である。いずれも予測式を導く際に両耳間移行減衰量の値をばらつきを考慮してやや小さめに設定したため

であり, 特に気導検査では誤差範囲を 15 dB とすれば(8)式で $T-O_m$ の値 50 dB を 55 dB または 60 dB としてもよいと思われる。

以上の結果より必要最小限のマスキングレベ

図 5 気導聴力検査における必要最小限のマスキングレベルの予測値と実測値の比較

図 6 骨導聴力検査における必要最小限のマスキングレベルの予測値と実測値の比較

ルの予測値は原法では実測値と誤差の範囲で一致しており、省略法では予測値が実測値を 15 dB 以上上回ったものはみられたが情報の限られた状況下ではやむをえないと考えられた。

いずれも誤差範囲を考慮すると実際の検査では必要最小限のマスキングレベルの予測値より余裕をもって 15 dB だけ大きいレベルでマスキングを行えば陰影聴取は避けることができることが分かった。したがって、(3)、(6)、(8)、(10) 式で α を 15 dB とするのが妥当と考えられた。

マスキングの手順

1. マスキング手順

以上の結果より、必要最小限の雑音レベルを用いるマスキング法の実際の検査手順は、気導・骨導検査に共通で上昇法を用いる場合は以下のようになる。

1) マスキングを行わずに気導域値 X_{nm} (骨導域値 x_{nm}) を測定する。ただし、骨導検査の場合は対側耳にマスキング用のイヤホン装着した状態で行なう。

2) 検査音を X_{nm} (x_{nm}) より 15 dB 小さい値に、雑音の実効マスキングレベルを対側気導域値 (X_m) にセッティングする。

3) 雑音のレベルを 5 dB 上げ続いて検査音のレベルを 5 dB 上げる。これを被験者の応答があるまで反復する。

4) 被験者の応答があったら雑音レベルを固定し、検査音をさらに 10 dB 増した (応答の確認) あと応答のあったレベルより 10 dB 下まで下げる。雑音も 10 dB だけ下げる。

5) 3)、4) の操作を反復する。

省略法では上述の検査手順の1)は省略でき、

2)は気導検査では、

2) 検査音を 35 dBHL に、雑音の実効マスキングレベルを対側の気導骨導差 G_m にセッティングする。

と改め、骨導検査では、

2) 検査音を -15 dBHL に、雑音の実効マスキングレベルを対側の気導骨導差 (G_m) とマスキング用イヤホンによる閉鎖効果の正常

値 (On, 表 1) の大きい方の値にセッティングする。

と改めればよい。3)以下の手順は気導骨導検査とも原法と同様である。

2. 検査手順に関する注意点とオーバーマスキングが疑われる場合の域値の決定

(3)式および(6)式を導いた際に述べたように、 $X_o(x_o)$ が $X_{nm}(x_{nm})$ より大きい場合は原法は必要最小限のマスキングとはならない。これは陰影聴取が起こっていない場合に相当し、 $X_{nm}(x_{nm})$ が真の気導(骨導)域値である。このことが予め分かっているならばもちろんマスキングは不要であるが、分かっている場合はマスキングを行なってこれを確かめる必要がある。この際気導良聴耳の検査では、対側耳の方が気導域値レベルが高く大きい雑音が必要となりオーバーマスキングとなる可能性がある。気導検査では良聴耳を検査する際にマスキングをすることはないから問題はないが、骨導検査ではこうした不必要なマスキングを避けるため、気導聴力の悪い方の耳から検査を行なうのがよい。 こうすれば気導良聴耳の骨導検査では no masking の域値レベルが、既に測定の終わった対側の骨導域値レベルより明らかに低ければマスキングを行なう必要はない。

本法では、図 2 から明らかなように検査音を最大のレベルまで上げてても応答が得られない(域値が無限に上昇する)場合はオーバーマスキングの可能性を考慮する必要がある。このような場合には、同じく雑音検査音同時変化法により雑音と検査音のレベル差を本法の設定値より 5 dB ずつづらせて図 4 のように測定を繰り返し、異なるレベル差の測定で域値の変化しない点(プラトー)をさがす。

考 察

聴力検査においては、検査音を大きくするに従い陰影聴取の危険は増大するのでマスキング用の雑音もそれに伴い大きくすることが必要となる。雑音と検査音を同時に漸増する方法はこの意味で自然なマスキング法といえ、Békésy

(1947)⁷⁾ が既に検査音と雑音のアッテネータを連動することを提案している。その後 Zwislocki (1951)⁸⁾ もこの方法に言及しており、Lüscher と König (1955, 1962)^{9) 10)} はこの考えに基づいた臨床マスキング法を実用化した。彼らの用いた骨導検査におけるマスキング法は、まず雑音と検査音のレベル差が(気導イヤホンによる閉鎖効果分-両耳間移行減衰量+5~15 dB)に等しくなるようにアッテネータを連動して行ない、次に第二のアッテネータにより雑音のレベル値をこれより遮蔽耳の気骨導差の分だけ増加させてマスキングをして測定を行なうという複雑なものであった。遮蔽耳の骨導域値が未知の場合には、はじめの測定で得られた骨導域値を対側耳の骨導域値と仮定している。Studebaker (1967)³⁾ はいくつかのマスキング法を比較してこの方法にふれ、特殊な装置を必要とするのが欠点であるとしている。この点がその後この方法が普及しなかった理由のように思われる。本論文においては、気導および骨導検査についてこのマスキング法を厳密さを失わずに簡略化して通常のオーディオメータを用いて手動で検査が行なえるようにした。すなわち Lüscher と König の方法は、(4)式に従ったマスキング法であり、定数を多く含んでいて煩雑なため特殊な装置を用いざるを得なかった。しかし(4)式の3個の定数は(5)式のように陰影聴取域値 x_0 に置き換えられるから、簡略化され手動で検査をすることが可能となる。また Lüscher と König の方法では、対側耳に気導骨導差がある場合は遮蔽耳の閉鎖効果が小さくなることを考慮していないため必要以上に大きいマスキング量となるが、本法では閉鎖効果は x_0 の測定値に反映されておりこうした問題は起こらない。

本法の検査手順は特に困難なく習熟できるが、検査をより容易なものとするため自動化を行なうことももちろん可能である。雑音と検査音のアッテネータをオーディオメータ内で連動し、両者の適当なレベル差を CRT 上に表示する方法

については既に報告した¹¹⁾。本法のアルゴリズムを用いて、マスキングの過程まで自動化した全自動型オーディオメータを作製することも可能と考えられる。

著者は過去5年間にわたり本法の臨床応用を試みてきたが、当初予想された雑音レベルの変化による被験者の混乱は、従来のマスキング法の可能な被験者においてはほとんど問題にならなかった。被験者に対する検査法の説明は次のように行なっている。

“右(左)の受話器から雑音がきこえてくるかもしれませんが、雑音はいくら大きくなってもボタンを押さないで下さい。雑音の有無にかかわらず検査音が、どちらの耳からでも良いから少しでもきこえてきたら直ちにボタンを押して下さい。”

それでも一部の患者に雑音の増加で誤ってボタンを押す応答がみられるが、雑音と検査音を交互に 5 dB ずつ増加していくので容易にチェックすることができる。幼児聴力検査の場合のように下降法で検査を行なう場合にも被験者が通常のマスキングを理解できるならば本法を用いることができる。この場合にはマスキングを漸減しながら(3)式、(6)式に従って検査法を手動で提示し応答が無くなるまで続ける。

本法は陰影聴取とならない最小限のマスキングレベルを用いているので、測定不能の領域も最小限に押さえられることになるが、本法でもプラトーの幅が実質的に存在しない場合や、最小限のマスキング量であってもなお雑音の出力が不足するような場合には測定不能となる。マスキング条件が厳しく安全限界を超える場合には、雑音検査音同時変化法により雑音と検査音のレベル差をすこしずつずらせて測定を繰り返してプラトーをさがす。雑音のレベルを固定して測定する従来のプラトー法では、いわゆる central masking のために(域値-マスキング)曲線においてプラトーがやや右あがりとなるためプラトーが狭い場合には識別しにくい場合が多かったが、この方法を用いると、陰影聴取の

場合には域値はマスクングを行なわない場合の値に等しく、オーバーマスクングの場合には域値は無限に上昇する(図2を参照)。従って、同じプラトー法でも従来の方法よりプラトーが明瞭に検出できる。

ま と め

純音聴力検査における必要最小限のマスクング量を用いたマスクング法について報告した。本法は雑音と検査音を同時に変化させるもので、以前から特殊な装置を用いた臨床応用は報告されていたが、通常のオーディオメータを用いて手で検査が行なえるように改良した。本法は従来の方法に比べて次のような利点をもつものである。

(1) 必要最小限のマスクング量を用いるため、被験者に与える不快感やマスクング雑音が検査耳に与える影響(central masking)が最小限に押さえられる。

(2) マスクングレベルを変えて域値測定を何度も反復する必要がなく短時間で検査が行なえる。

(3) 検査法自体に由来する測定不能例は存在しない。

(4) 検査手順が比較的簡単で分かりやすい。

本法を実施する際は以下の点に注意が必要である。

(1) 雑音と検査音を同時に変化させるため、時に被験者に混乱をひきおこすことがある。

(2) 雑音と検査音のダイヤルを同時に変化させる検査手技に慣れる。

稿を終えるにあたり、御指導御校閲をいただきました山下公一教授に感謝致します。また本検査法の試行にあたり、御助言と御協力をいただきました教室員一同、永島医科器械の渡辺浩一、小泉芳彦の両氏、および難聴患者の諸氏に感謝致します。

文 献

- 1) Hood JD : The principles and practice of bone conduction audiometry; a review of the present position. *Laryngoscope* **70** : 1211~1228, 1960.
- 2) Draft International Standard ISO/DIS 8253. 2, Acoustics—Basic pure-tone audiometric test methods, 1986.
- 3) Studebaker GA : Clinical masking of the non-test ear. *J Speech Hearing Dis* **32** : 360~371, 1967.
- 4) 堀口申作(班研究班長) : 聴力検査法の基準化に関する測定法部会への答申. *Audiology Japan* **18** : 20~60, 1975.
- 5) Liden G, Nilsson G and Anderson H : Masking in clinical audiometry. *Acta Otolaryngol* **50** : 116~124, 1959.
- 6) 竹内義夫 : クリニカルマスクング法の前提—ABC の原則—. *Audiology Japan* **23** : 293~295, 1980.
- 7) Békésy G von : A new audiometer. *Acta Otolaryngol* **35** : 411~422, 1947.
- 8) Zwislocki J : Eine verbesserte Vertaubungsmethode für die Audiometrie. *Acta Otolaryngol* **39** : 338~356, 1951.
- 9) Lüscher E and König E : Die Vertaubung des Gegenholes bei audiometrischen Bestimmung der Knochenleitung. *Archiv Für Ohren-Nasen-und Kehlkopfheilkunde* **168** : 68~88, 1955.
- 10) König E : The use of masking noise and its limitation in clinical audiometry. *Acta Otolaryngol Suppl* **180** : 1~63, 1962.
- 11) 松平登志正, 山下公一, 佐藤喜一, 他 : 雑音検査音同時漸増法による純音聴力検査法とその自動化への試み. *Audiology Japan* **28** : 525~527, 1985.

(原稿採択 : 平成元年 4 月 24 日
別刷請求先 : 松平登志正
〒920-02 石川県河北郡内灘町大学1-1
金沢医科大学耳鼻咽喉科学教室)