耳覆い形および挿耳形イヤホンを用いた 健聴耳の語音了解閾値 (SRT)

荻野真愛¹⁾, 松平登志正²⁾

¹⁾石岡循環器科脳神経外科病院

²⁾北里大学医療衛生学部

要旨：耳覆い形イヤホン (SENNHEISER HDA 200 型) および挿耳形イヤホン (EARTONE 3A 型) について、語音聴力検査の基準値の設定を目的に、30名の耳科学的正常者を対象に 67-S 数字語表の語音了解閾値 (SRT) を測定し、耳載せ形イヤホン (Rion AD-02 型) と比較した。データは、各被験者が3つの異なるイヤホンで検査を受ける被験者内計画で収集した。しかし、データの分析過程で2回目、3回目の測定で一部順序効果による SRT の低下が認められたので、それぞれのイヤホンで最初に検査された10名からなる3グループの被験者間計画として再分析を行った。その結果、耳覆い形と挿耳形イヤホンによる10名の SRT の平均は、それぞれ 8.9dB SPL および 9.1dB SPL であったのに対して、耳載せ形のそれは、13.7dB SPL と既存の基準値 14dB SPL に近い値が得られた。今回得られた3種のイヤホンの SRT は、純音の基準等価閾値音圧レベルとの整合性が確認された。SRT の基準値の設定には、被験者数と実施施設を増やして被験者間計画により新たに検討を行う必要があると考えられた。

キーワード

耳覆い形イヤホン, 挿耳形イヤホン, 語音了解閾値, 基準語音了解閾値レベル, 67-S 語表

はじめに

現在、臨床における聴力検査に使用するイヤホンは、耳介上に圧定するタイプの耳載せ形イヤホンのみが日本工業規格 (JIS)¹⁾ に基準レベルが規定され一般に使用されている。一方、近年、耳介を包み込むタイプの耳覆い形イヤホンや、レシーバの出力音をチューブと耳せんを介して外耳道に導き聴取する挿耳形イヤホンの出力音圧の較正法が確立され、基準等価域値音圧レベルが規定されている²⁾³⁾。これを受けて、わが国でも近く予定されている、オーディオメータの JIS の改正により、耳覆い形イヤホンおよび挿耳形イヤホンの使用が可能となる。

耳覆い形と挿耳形イヤホンについてはこれまで、耳載せ形イヤホンに比べて遮音特性に優れている⁴⁾

ため実際の臨床現場のような暗騒音がある程度以上存在する環境での聴力検査に有利である、検査結果の再現性が良い⁵⁾⁶⁾、両耳間移行減衰量が大い⁷⁾⁸⁾⁹⁾ので聴力検査を行う際に陰影聴取が起こりにくくマスキング不要の場合が増える等の利点が報告されている。そのため、今後これらのイヤホンの使用される機会が増えることが予想される。これら2つのイヤホンは純音聴力検査の基準値は標準化されているが、本邦で使用されている語音聴力検査語表の基準値は報告されていない。語音聴力検査の結果を機種異なるイヤホン間で比較する場合、同じ聴力レベルでの比較が必要となるが、これには、基準レベルを求めておくことが必要である。そこで、この2種のイヤホンについて基準値の設定を目的に、健常成人の語音了解閾値 (SRT) を測定した。

対象と方法

1. 被験者と検査素材

19歳から29歳（平均21.6歳，中央値21歳）の男女30名（男2名，女28名）を対象とした。被験者は，耳疾患の症状所見が無く，耳垢栓塞もなく，過度の騒音にさらされた経験もない正常な健康状態の人（耳科学的正常者）¹⁾で，純音聴力閾値が250Hz～4000Hzの各周波数において20dB以下であり，かつティンパノグラムがA型でピークが±50daPa以内にあることが確かめられた者¹⁰⁾とした。被験者には本研究の趣旨を口頭で説明し同意を得た。

SRTの測定には，わが国の語音聴力検査の基準レベルの決定に使用された日本聴覚医学会 67-S 数字語表と，それらの行の順序を入れ替えて作った4表の計5表を用意し，それらを収録したCDを使用した。後者のうち2表は予備として用いた。

2. 測定環境とイヤホン

測定は防音室内で行った。事前に暗騒音を測定し，ISO 8253-1¹¹⁾に規定されている，「125Hz以上の気導純音聴力閾値を0dBHLまで2dB以内の精度で測定する場合の許容基準」を満たしていることを確認した。

今回の実験では，耳覆い形イヤホンはSENNHEISER HDA 200型，挿耳形イヤホンはEAR TONE 3 A型を用いて，いずれも右耳で測定を行った。これらに加え，従来の耳載せ形イヤホンRION AD-02型でも同様の測定を行った。各イヤホンの100mV

の定電圧特性の測定結果を図1に示す。

3. SRTの測定

各被験者に3種類のイヤホンを用いてSRTを測定し，その際順序効果を相殺するため，測定するイヤホンの順序は3種のイヤホン間で釣りあわせた(counter-balance)。測定方法は語音聴力検査法(2003)¹²⁾に従った。通常の語音聴力検査と同様に，CDプレーヤーの出力をオーディオメータRION AA-71型の外部入力端子に接続し，各イヤホンをオーディオメータの気導出力端子に接続して検査を行った。

SRTは明瞭度が50%となったレベルとし，その算出方法は，明瞭度曲線が50%を横切る音のレベルを比例配分で求める方法（以下比例配分法と略称）と，ISO 8253-3¹³⁾に採用されているWilsonらの方法¹⁴⁾（以下Wilson法と略称）の2つの算出方法を用いた。後者では，SRTを以下の式より算出した。

$$SRT = L_s - 5r/6 + 2.5$$

ここで， L_s は正答率が100%となった語音のレベル， r は L_s から正答率が0%となるまで（1つのレベルで6語を提示し）5dBステップで語音レベルを下げて検査を行った時の全正答数を表わす。

67-S 数字語表CDに収録されている1000Hz基準音をオーディオメータのダイヤル値60dBで再生し，耳載せ形・耳覆い形イヤホンについては人工耳(B&K4153)を，挿耳形イヤホンについては2cm³カプラ(B&K4152)を用いて出力音圧の較正を行った。これを元に，SRTに相当する音圧レベルを求

図1 使用したイヤホンの定電圧特性（入力電圧 100mV）

表 1 イヤホン別の SRT (n=30)

	耳載せ形		耳覆い形		挿耳形	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD
	dB SPL	dB	dB SPL	dB	dB SPL	dB
比例配分法	12.2	±2.3	8.6	±2.3	8.3	±2.9
Wilson 法	12.9	±2.3	9.0	±1.8	8.3	±3.1
ANSI S3.6 (1997)	20.0		19.0		12.5	

めた。

結 果

1. イヤホンごとの SRT

耳載せ形・耳覆い形・挿耳形の各イヤホンで得られた SRT の測定結果は表 1 のとおりである。比例配分法・Wilson 法ともに、耳載せ形・耳覆い形・挿耳形の順で SRT の値が小さくなった。算出方法による有意差は見られなかった。二つの算出方法の平均値で表わすと、耳載せ形、耳覆い形、挿耳形イヤホンの SRT はそれぞれ、12.6dB SPL, 8.8dB SPL, 8.3dB SPL であった。表 1 には参考のため、米国規格協会 (ANSI) S3.6¹⁵⁾ に規定されている基準語音了解閾値レベルを示した。語表が異なるため単純な比較はできないが、閾値の大きさの順序は今回の結果と一致している。各イヤホンの基準値が ANSI の値に比して小さくなったのは、アメリカの単語語表に比し数字の方が聞き取りやすいためと思われる。

2. 測定順序ごとの SRT

順序効果の検討のため、実施した順序・イヤホン別に求めた SRT を表 2 に示す。比例配分法で求めた耳載せ形 1 回目と耳載せ形 2 回目の測定の平均値の間にのみ対応のない t 検定 (両側検定) で 5 % 水準にて有意差が認められた。他の条件では有意差を認めなかったが、いずれも 1 回目と比較して 2 回目の平均値が小さくなる傾向がみられた。

考 察

1. 順序効果について

今回、比較のために測定した耳載せ形イヤホンの SRT の平均値は、比例配分法でも Wilson 法でも、

現在の日本聴覚医学会の耳載せ形イヤホンの基準値 14dB¹²⁾ に比べ 1~2dB 小さい値となった。(表 1) その原因としては、いずれのイヤホンでも 1 回目の測定に比し 2 回目の測定での SRT が小さくなっている (結果 2) ことより、順序効果が関与している可能性が考えられる。今回使用した 3 つの語表は行の順序を入れ替えてあるが、行内の 6 つの数字の順序は入れ替えていないため、被験者が数字の順番を予想でき、そのため順序効果が現れた可能性が否定できない。実際、1 回目の測定の耳載せ形の SRT をみると、比例配分法では 13.4dB, Wilson 法では 14.0dB, 両算出方法の平均では、13.7dB SPL と基準値に近くなる結果が得られた。このとき (1 回目の測定による時)、耳覆い形と挿耳形の SRT は、両算出方法の平均でそれぞれ 8.9dB SPL, 9.1dB SPL とほぼ等しくなり、耳載せ形に比し約 5dB 小さい SRT が得られた。

2. 今回の測定の妥当性について

今回の 3 種のイヤホンによる SRT の測定結果が、各イヤホンの正常純音聴覚閾値と比較して妥当か否かにつき検討した。SRT のレベルの語音では、語音了解度指数 (speech intelligibility index, SII) が一定値、すなわち語音の聞き取りの手がかり全体のうちある一定の割合が聞こえるようになると考えられるが、この割合は、同じ語表についてはイヤホンの種類によらず一定であると考えられる。そうになっているか否かについて検討を試みた。SII は、各周波数帯における語音のスペクトルレベルと基準内部雑音スペクトルレベル (reference internal noise spectrum level, RINSL) の差から求められる。後者は、正常耳の純音聴覚閾値に相当する音圧レベル

表2 イヤホン・測定順序別の SRT (n=10)

比例配分法	耳載せ形			耳覆い形			挿耳形		
	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
平均値 (dBSPL)	13.4	11.1	12.0	8.9	8.0	8.8	9.4	8.2	7.3
SD (dB)	2.4	2.1	2.0	2.1	2.6	2.4	2.9	3.3	2.3
Wilson 法	耳載せ形			耳覆い形			挿耳形		
	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
平均値 (dBSPL)	14.0	12.0	12.8	8.8	8.7	9.4	8.8	8.4	7.6
SD (dB)	2.8	1.5	2.1	1.6	2.1	1.7	3.0	3.8	2.7

図2 三種のイヤホンの基準等価閾値音圧レベル (RETSPL) と基準内部雑音スペクトルレベル (RINSL)

(基準等価閾値音圧レベル, RETSPL) から臨界比の dB 表示値を引いた値である¹⁶⁾。RINSL は, 正常に比べてはるかに感度の良い仮想的な耳をこのスペクトルレベルをもつ雑音でマスキングした場合に, その耳の純音の聴覚域値が基準等価域値音圧レベルとなるような雑音のスペクトルレベルに相当する。図2に三種類のイヤホンの RETSPL と RINSL を示した。図3はイヤホンごとに, 閾値付近での語音の長時間平均スペクトルと RINSL を比較したものである。今回耳覆い形と挿耳形は耳載せ形に比し約 5 dB 小さい SRT が得られたため, これに合わせて語音のスペクトルのグラフは耳覆い形と挿耳形では耳載せ形より 5dB 下げてある。図1の定電圧特性の

影響を受け語音のスペクトル曲線の形はイヤホンにより少し異なっている。各々のイヤホンについて, 語音のスペクトル曲線と RINSL の曲線の間の部分に存在する語音の情報 (speech cue) が聞き取れることになる。図3を見ると各イヤホン間で, この部分の面積には視覚的に大きな差のないことが分かる。すなわち, どのイヤホンも概ね同じ量の speech cue が聞き取れる語音レベルが SRT になったことになる。多くの周波数で挿耳形より耳覆い形の方が RINSL の値が大きい (図2) にも関わらず, 2つのイヤホンの SRT がほぼ等しくなったのは, 定電圧特性の影響で, 耳覆い形イヤホンで聞く場合の語音スペクトルが低音域で大きく, その分耳覆い形イ

図3 閾値付近の語音の可聴範囲の比較

ヤホンで聞き取りやすくなったためと思われる。これらのことから、今回の結果は各イヤホンの正常純音聴覚閾値と矛盾しない結果と考えられる。

まとめ

耳覆い形イヤホンと挿耳形イヤホンについて、語音聴力検査の基準値の設定を目的に、正常耳の語音了解閾値 (SRT) を測定した。表1に示す SRT が得られたが、この結果には順序効果が関与している可能性が考えられた。1 回目だけの測定による SRT は表2の通りで、耳覆い形・挿耳形イヤホンともおよそ 9dB SPL という結果となった。この値は正常純音聴覚閾値と比較して、概ね妥当な値であると考え

られた。

順序効果については、耳載せ形に強く表れた理由も含めて不明な点もあり、今後さらに検討が必要と考えられる。順序効果はあったとしても 1~2dB で臨床的にはあまり問題ないと思われるが、通常 SRT は両耳とも検査を行うことを考えると、1 回目の測定値をもとに基準値を作るのが適当か否かについても検討が必要であろう。

今回の実験では、イヤホン間の比較を重視して、被験者内計画としたが、順序効果があるとするれば、被験者数を増やして被験者間計画に切り替えて新たに検討を行う必要があると考えられる。

Speech recognition threshold levels in normal-hearing listeners using circumaural and insert earphones

Mai Ogino¹⁾, Toshimasa Matsuhira²⁾

¹⁾Ishioka Circulatory and Neurosurgery Hospital

²⁾School of Allied Health Sciences, Kitasato University

Monaural speech recognition thresholds (SRTs) for single digits of the 67-S speech audiometric test list were measured in 30 normal-hearing listeners wearing circumaural (SENNHEISER HDA 200), insert (EAR TONE 3A) or supra-aural (Rion AD-02) earphones, in order to determine the reference level for the first 2 types of earphones. The SRT of the last earphone was measured as control.

Data were collected using a within-subject design, in which each subject was tested using the different earphones, the sequence of use being counter-balanced. But, as, during the process of data analysis, a sequencing effect of lower SRTs in the second or the third measurement was partially observed, we reanalyzed the data using a between-subject design with 3 groups consisting of 10 subjects each who were tested using each earphone for the first time.

The mean SRTs in the 10 subjects for the circumaural and insert earphones were 8.9 and 9.1 dB SPL, respectively, whereas the mean SRT for the supra-aural earphone was 13.7 dB SPL, which almost corresponds to the 14 dB SPL already established as the reference level.

When estimated from the reference internal noise spectrum levels, audible portions of the speech spectrum at the SRT levels for each earphone obtained in this study were similar, which seems to validate our results.

To establish the reference SRT levels for the two earphones, it is necessary to collect further data using an independent-group design with a larger

number of test subjects and participation of test facilities.

参考文献

- 1) 日本工業規格：オーディオメーター第1部：純音オーディオメーター。JIS T1201-1：2000，日本規格協会，東京，2000
- 2) International Standard：Acoustics—Reference zero for the calibration of audiometric equipment—Part 2：Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and insert earphones. ISO 389-2, International Standards Organization, Geneva, 1994
- 3) International Standard：Acoustics—Reference zero for the calibration of audiometric equipment—Part 8：Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and circumaural earphones. ISO 389-8, International Standards Organization, Geneva, 2004
- 4) Draft International Standard：Acoustics—Audiometric test methods—Part 1：Basic pure-tone air and bone conduction threshold audiometry. ISO/DIS 8253-1, International Standards Organization, Geneva, 2008
- 5) 鈴木陽一，竹島久志：最小可聴域値と等ラウドネス曲線をめぐる最近の話題。日本音響学会誌 **58**：130-137，2002
- 6) 望月俊美，横山由姫乃，松平登志正：純音聴力検査における耳載せ形と耳覆い形イヤホンの比較。Otolary Japan **17**：209-213，2007
- 7) Killion MC, Wilber LA, Gundmundson GI：Insert earphones for more interaural attenuation. Hearing Instruments **36**：34，1985
- 8) König E：On the use of hearing aid type earphones in clinical audiometry. Acta Otolaryngol. **55**：331-341，1962
- 9) Sklare DA, Denenberg LJ：Interaural attenuation for Tuberphone insert earphones. Ear and Hearing **8**：298-300，1987
- 10) International Standard：Acoustics—Reference zero for the calibration of audiometric equipment—Part 9：Preferred test conditions for the

- determination of reference hearing threshold levels. ISO 389-9, International Standards Organization, Geneva, 2009
- 11) International Standard : Acoustics—Audiometric test methods—Part 1 : Basic pure tone air and bone conduction threshold audiometry. ISO 8253-1, International Standards Organization, Geneva, 1998
- 12) 日本聴覚医学会 : 語音聴力検査法(2003)。Audiology Japan **46** : 622-637, 2003
- 13) International Standard : Acoustics. — Audiometric test methods. —Part 2 : Speech audiometry. ISO8253-3, International Standards Organization, Geneva, 1998
- 14) Wilson RH, Morgan DE, Dirks DD : A proposed SRT procedure and its precedent. J Speech Hear Dis : 184-191, 1973
- 15) American National Standard : American National Standard Specification for Audiometers.

ANSI S3. 6, American National Standard Institute, New York, 1996

- 16) American National Standard : American National Standard Methods for the Calculation of the Speech Intelligibility Index. ANSI S3. 5, American National Standard Institute, New York, 1997

(原稿受付 平成22. 1. 7)

別冊請求先 : 〒311-3434

茨城県小美玉市栗又四ヶ1768-29

医療法人 石岡脳神経外科病院 石岡
循環器科脳神経外科病院

萩野 真愛

Reprint request :

Mai Ogino

Isioka Circulatory and Neurosurgery Hospital

Kurimatasika 1768-29, Omitama, Ibaraki, 311-3434
Japan