補聴による会話レベルの語音明瞭度の改善

松平登志正¹⁾, 原 由紀¹⁾, 鈴木恵子¹⁾, 上前 牧²⁾, 大沼幸恵³⁾,
井上理絵³⁾, 大橋健太郎⁴⁾, 渡辺裕之⁴⁾, 佐野 肇⁴⁾, 岡本牧人⁴⁾

¹⁾北里大学医療衛生学部, ²⁾北里大学大学院医療系研究科

³⁾北里大学病院耳鼻咽喉科, ⁴⁾北里大学医学部耳鼻咽喉科

要旨: 語音明瞭度検査による補聴器の適合判定の目安を得ることを目的として, 補聴器外来で実施した589例の検査結果について, 音場における 65dBSPL (会話レベル) の語音明瞭度の補聴による改善と, これに関与する被検者と補聴器の要因について調査した。また, 望ましい補聴器装用状態では語音了解度指数と語音明瞭度の関係が裸耳と補聴時で変わらないと仮定して語音明瞭度改善の目標値を求め, 実際の症例の検査結果と比較した。

会話レベルの語音明瞭度は, 平均聴力レベルが 65dB 付近の症例で最も改善量が大きく, 平均聴力レベルが 40~90dB であった症例の語音明瞭度は平均31.7%改善した。重回帰分析の結果, 裸耳の語音了解度指数, 裸耳の最高語音明瞭度, 補聴による語音了解度指数の増加量を説明変数としたときに, 語音明瞭度の改善量との重相関係数が最大となった。裸耳に比べて補聴器装用時に最高語音明瞭度の低下が認められなかった症例では, 会話レベルの語音明瞭度の改善の平均は目標値と等しかったのに対して, 補聴時に最高語音明瞭度が低下した症例では, 目標値に届かない場合が多かった。

キーワード

語音明瞭度, 会話レベル, 語音了解度指数, 最高語音明瞭度, Count-the-Dot Audiogram

はじめに

補聴による語音聴取の改善を評価する上で, 裸耳と補聴時の語音明瞭度を比較する方法が用いられる¹⁾。多くの難聴者にとっては, 特に会話時の音圧レベルで聴取する際の語音明瞭度の改善が重要と考えられる。この音圧レベルを本稿では会話レベルと略称する。会話レベルの値は, 話者の口元から 1m 前方における平均音圧レベルで 65~60dBSPL とする報告が多い²⁾³⁾⁴⁾。補聴時の語音明瞭度の改善の程度は, 装用耳の聴覚閾値や語音弁別能などの条件, 試聴する補聴器の利得の周波数特性, 非線形増幅の有無・程度等種々の要因によって影響されるので, ある患者が, 補聴器装用によりある値だけ語音明瞭

度の改善が得られた場合, それが, 十分な改善といえるのか, さらに改善の余地があるのかの判定は, これらの条件により異なると考えられる。

そこで今回, ある聴力の難聴者がある増幅特性を持った補聴器を装用した場合, 会話レベルの語音明瞭度にどの程度改善が期待されるかを知り, 適合判定の目安を得ることを目的とした。そのために, 実際の補聴器適合時の検査結果から, 補聴による会話レベルの語音明瞭度の改善と, これに関与する被検者と補聴器の要因について調査するとともに, 個々の症例の聴力と補聴器の増幅特性から期待される, 語音明瞭度の改善量を推定し, 実際の症例では, その目標値がどの程度達成されているかについて検討を行った。

対 象

北里大学病院補聴器外来において、事前にイヤホンによる語音弁別検査をうけ、さらに、音場においてファンクショナルゲインと、裸耳と補聴時の語音明瞭度検査を同じ補聴器の設定で行った589症例（男269，女320，年齢は8～93歳，平均63.5歳）を対象とした。語音明瞭度検査は、「あ，い，く，し，せ，ち，と，な，ひ，ほ，ま，ゆ，れ，わ，ぐ，ぞ，じ，ど，ば，ぼ」の20音からなる無意味単音節語表（CASA 語表⁵⁾）を用いた。検査はフィッティングがある程度進んだ段階で実施した。

方 法

1. 語音明瞭度改善の調査と関与する要因の検討

被検者の指標として年齢，裸耳の平均聴力レベル，65dB SPLの語音了解度指数（語音明瞭度指数⁶⁾，最高語音明瞭度，補聴器の増幅効果の指標として補聴器装用による500，1k，2kHzおよび250，500，1k，2k，4kHzのファンクショナルゲインの平均（以後，それぞれ，3周波数および5周波数ファンクショナルゲインと略称する），補聴による語音了解度指数の増加量の合計7項目の値を，補聴による65dB SPLにおける単音節明瞭度の改善（補聴時の語音明瞭度から裸耳の語音明瞭度を引いた値）と比較した。

ここで，裸耳の最高語音明瞭度は，イヤホンで検査を行った値を用いた。補聴時の語音明瞭度は65dBでは全例検査を行っているが，その他のレベルでは必ずしも全例検査を行ってはいない。80dB SPLまで検査を行った症例については検査した各レベルの語音明瞭度の最高値を補聴時の最高語音明瞭度とした。80dB SPLまで検査を行っていない症例については，検査を行った各レベルの語音明瞭度の最高値が，裸耳の最高語音明瞭度と等しいかそれ以上の場合は，その値を補聴時の最高語音明瞭度とした。それ以外の合計74例は，補聴時最高語音明瞭度は不明とした。

語音了解度指数の算出には，オーディオグラム上に会話レベルの語音聴取の手がかりの分布を100個の点で示したCount-the-Dot-Audiogram⁷⁾⁸⁾を用い，これに裸耳と補聴時の音場聴覚閾値を重ね合わせて

求めた。図1にその一例を示す。こうして得られる語音了解度指数は，語音に含まれている聞き取りの手がかりの総量に対する，閾値上の音として聴取される聞き取りの手がかりの割合を表す量である。

多変量解析（回帰分析）はExcel 2007™(Microsoft)の分析ツールを用いて行った。

2. 語音明瞭度改善の目標値設定と実測値との比較

次に，今回得られた補聴時の会話レベルの語音明瞭度が，補聴器の増幅特性と装用者の聴力から期待される値まで改善しているかについて語音了解度指数を用いて検討した。語音了解度指数と語音明瞭度の関係については，種々の近似式が考えられる⁹⁾が，われわれは以前，今回と同じ語表を用いて両者の関係を調査し，語音弁別能が90%以上（平均95%）の感音難聴者の裸耳の語音明瞭度RS（%）の語音了解度指数SIIに対する2次の回帰式が

$$RS = -189.3 SII^2 + 261.6 SII \quad (1)$$

（ただし，グラフが極大となる $SII = 0.689$ 以上では，RSは極大値90.4%で一定）となることを報告している¹⁰⁾。そこで，これをもとにさらに二つの仮定を行って，語音明瞭度改善の目標値を求めた。まず，裸耳の最高語音明瞭度が低下した症例では，低

図1 Count-the-Dot Audiogram

会話レベルの語音聴取の手がかりの分布がオーディオグラム上に100個の○で表されており，△は裸耳の閾値，▲は補聴閾値を示す。語音了解度指数の近似値は，聴覚閾値曲線より下側の○の総数を100で割ることにより求められる。この例ではグラフより，語音了解度指数は裸耳では0.17，補聴時で0.61と求められる。

下した最高語音明瞭度を MAS (%) とすると、同じ語音了解度指数に対する語音明瞭度は(1)式に定数をかけグラフ全体を最大値95%から MAS/95%まで圧縮した値、

$$RS = (-189.3 SII^2 + 261.6 SII) MAS/95 \quad (2)$$

になる(図2)と仮定した。これは、語音明瞭度低下の影響が、語音了解度指数の大小にかかわらず同程度と推定されるためである。さらに、良好な補聴状態では、補聴時も裸耳と同様、語音明瞭度と語音了解度指数との間に(2)の関係が成り立つと仮定した(図2)。以上の仮定のもとでは、望ましい補聴状態での、裸耳と補聴時の語音了解度指数と語音明瞭度は同じグラフ上に示した2点であらわすことができるので、語音明瞭度改善の目標値を、グラフ上で裸耳と補聴時に対応する語音明瞭度の差として(2)式を用いて算出し、実測値と比較した。

結 果

1. 対象となる耳の裸耳の平均聴力レベルは平均 54.5dB (28~98dB)、3周波数のファンクショナルゲインは平均 19.9dB (57~3dB)、65dB SPLでの語音明瞭度は、裸耳で平均24.9% (0~100%)、補聴時で平均54.7% (0~100%)であった。

裸耳の平均聴力レベル別にみた、65dB SPLにおける単音節明瞭度の改善を図3に示す。平均聴力レベルが 40dB HL 未満または 90dB HL 以上では、語

図2 語音明瞭度と語音了解度指数の関係
図中の MAS は最高語音明瞭度を表す。

音明瞭度の改善が少ない傾向が見られた。図中に示す2次の回帰曲線を中心軸は 66dB HL であった。この結果から、語音明瞭度改善と直線的な相関をもつのは平均聴力レベルではなく、平均聴力レベルが 66dB に近いかなので、以後語音明瞭度改善との相関を検討する指標として平均聴力レベルのかわりに $(\text{平均聴力レベル} - 66)^2$ を用いることにした。平均聴力レベルが 40dB HL 以上、90dB HL 未満であった被検者の明瞭度の改善は平均31.7% (標準偏差 20.0%, 最大100%, 最小-15%) であった。

年齢、 $(\text{平均聴力レベル} - 66)^2$ 、裸耳の語音了解度指数、裸耳最高語音明瞭度、3周波数および5周波数ファンクショナルゲイン、語音了解度指数の増加量の各変数と明瞭度の改善との相関係数を表1に示す。年齢以外の各変数と明瞭度の改善との間に有意な単相関が認められた。

単相関係数が大きいものから順に説明変数に取り込んで、明瞭度の改善を目的変数として重回帰分析を行い、回帰係数が有意な範囲で変数を増やしていった結果、有意な変数の組み合わせは、[語音了解度指数の増加量、裸耳の語音了解度指数、裸耳最高語音明瞭度]、[語音了解度指数の増加量、 $(\text{平均聴力レベル} - 66)^2$ 、裸耳最高語音明瞭度]、[5周波数ファンクショナルゲイン、裸耳最高語音明瞭度、 $(\text{平均聴力レベル} - 66)^2$] で、重相関係数はそれぞれ、0.580, 0.564, 0.487であった。重相関係数が最も大きかった第1の場合の分析結果を表2に示す。

2. 全症例で実測した会話レベルの語音明瞭度の改

図3 平均聴力レベル別に見た会話レベルの語音明瞭度の改善

表1 65dB SPLの語音明瞭度改善度との単相関

	相関係数	t	
年齢	-0.026	-0.628	ns
(平均聴力レベル-66) ²	-0.237	-5.918	p<0.001
裸耳の語音了解度指数	-0.255	-6.389	p<0.001
裸耳の最高語音明瞭度	0.185	4.552	p<0.001
3周波数ファンクショナルゲイン	0.330	8.456	p<0.001
5周波数ファンクショナルゲイン	0.355	9.201	p<0.001
語音了解度指数の増加量	0.489	13.569	p<0.001

表中の3周波数と5周波数ファンクショナルゲインは、それぞれ、500, 1k, 2kHz, および250, 500, 1k, 2k, 4kHzのファンクショナルゲインの平均値を表す。

表2 重回帰分析の結果

	自由度	変動	分散	分散比	有意F
回帰	3	75577.2	25192.4	99.1	7.4E-52
残差	585	148779.4	254.3		
合計	588	224356.5			

変数	係数	標準誤差	t	P-値	回帰統計
切片	3.3908	2.5934	1.307	0.1916	重相関係数 R 0.580
語音了解度指数の増加量	0.5343	0.0424	12.616	1.9E-32	寄与率 R ² 0.337
裸耳の語音了解度指数	-0.5274	0.0589	-8.949	4.7E-18	補正 R ² 0.333
裸耳の最高語音明瞭度	0.2178	0.0370	5.892	6.4E-09	標準誤差 15.95

図4 会話レベルの語音明瞭度改善の目標値と実測値の比較

善は平均29.7%であったのに対して、(2)式より算出した語音明瞭度改善の目標値は平均32.9%であった。前者は後者の90.3%にあたる。このうち、補聴時の最高語音明瞭度が10%以上悪化していないことを確認できた373例（最高語音明瞭度非悪化群）と

10%以上悪化していた142例（最高語音明瞭度悪化群）で目標値と実測値を比較した結果を図4-A, Bに示す。最高語音明瞭度非悪化群では、語音明瞭度改善の目標値に比べて実測値が上回った例と下回った例はほぼ同数で、語音明瞭度改善の平均値も実

測値が33.5%, 目標値が32.2%とほぼ一致していた。一方, 最高語音明瞭度悪化群では, 85%の症例で語音明瞭度改善の実測値が目標値を下回っており, 語音明瞭度改善の実測値の平均値は22.0%, 目標値の平均値は36.0%で, 前者は後者の61.1%にとどまっていた。

考 察

対象の項で述べたように, 今回の結果は, 補聴器適合の過程において, 貸出試聴, 主観評価による再調整等を経て, 概ね装用可能な状態になった時点で効果を確認するために行った検査結果が多い。結果をみると, 補聴器は初めての症例が多いこともあり, 被検者の聴力(平均約 55dB)に比べてファンクショナルゲインの値(平均約 20dB)はハーフゲインに比べてかなり小さめの値となっている。一方, 会話レベルの語音明瞭度は全症例で平均30%弱の改善が得られた。これを裸耳の聴力別にみると, 裸耳の聴力が 60dBHL 台で改善量が大きく, これより聴力が良くても悪くても改善量が低下する傾向がみられた(図3)。これは, 難聴が軽度の場合, 会話レベルの語音明瞭度は裸耳でも十分高いため補聴による改善は少なく, 難聴が高度すぎる場合は, 補聴器の増幅の不足と裸耳の最高語音明瞭度が低下した症例が多いため会話レベルでの語音明瞭度は十分に改善しなかったと考えられる。

補聴器の増幅度の指標としてファンクショナルゲインより語音了解度指数の増加量を用いた方が, 重相関係数が大きかった点については, 利用可能な語音情報の増加量に直接依存して語音明瞭度が改善するのに対して, ファンクショナルゲインは, 会話レベルの聴取改善をもたらさない場合(たとえば, 補聴により閾値が 100dB から 70dB に改善した場合など)があることによるためと考えられる。語音明瞭度の改善と裸耳の語音了解度指数との間に負の相関がみられたのは, 今回使用した単音節語表では, 語音明瞭度の語音了解度指数依存性は図2のように上に凸のグラフとなり, 語音了解度指数が小さい方が語音了解度指数の一定量の増加に伴う語音明瞭度の増加量が多い⁶⁾¹⁰⁾ ことによると考えている。

方法2では, 補聴器装用者の裸耳の最高語音明瞭度, 会話レベル語音の裸耳と補聴時の語音了解度指

数の3つを変数とし, 語音明瞭度の語音了解度指数依存性および最高語音明瞭度が補聴時にも裸耳と変わらないことを仮定して, 語音明瞭度の改善の目標値を求めた。これは, 補聴器の出力音の歪みによる語音了解度指数の低下がないことに対応し, 目標値の目安として適当と考えた。その結果, 全症例でみると, 平均で実測値は目標値の約90%とやや下回ったが, 補聴時の最高語音明瞭度が裸耳を下回らなかった症例に限ると, 平均値で実測値は目標値とほぼ一致する結果が得られた。このことは, 補聴による最高語音明瞭度の低下がなければ, 平均すると, 補聴器から出る会話レベルの語音の音質は, 補聴閾値からの目標値と比べて語音明瞭度を低下させるほど劣化しなかったことを意味する。これに対して, 補聴時の最高語音明瞭度が裸耳を下回った群では, 語音明瞭度の改善は, 平均で目標値の約6割にとどまった。これらの症例で補聴器の音質の劣化など, 何らかの不適合があるものと推定された。

今回検討した以外に, 補聴器適合の良否, 補聴器の音に対する慣れの度合い等が, 語音明瞭度の改善に寄与する要因として考えられる。また, 今回使用した Count-the-Dot Audiogram は, 英語について求められたものであり, 周波数ごとの語音情報の分布(重要度関数)が日本語とどの程度異なっているかは明らかではない¹¹⁾¹²⁾。これらについては今後の検討課題である。

ま と め

補聴器適合検査結果をもとに, 補聴器による会話レベルの語音明瞭度の改善と, 被検者聴力・補聴器の増幅効果の要因との関係について検討した。

1. 平均 65dBHL 付近の聴力で最も改善量が大きく, 平均聴力レベルが 40dB 以上, 90dB 未満であった症例の語音明瞭度の改善は平均約32%であった。
2. 裸耳の語音了解度指数, 裸耳最高語音明瞭度, 補聴による語音了解度指数の増加量を説明変数としたときに, 語音明瞭度の改善との重相関係数が最大となった。
3. 裸耳に比べ補聴時に最高語音明瞭度の低下がない場合は, 平均すると, 語音明瞭度改善の目標値に近い実測値が得られた。

本論文の要旨は、第55回日本聴覚医学会（2010年11月，奈良）において口演した。

Improvement of speech recognition at the conversational level using a hearing aid

Toshimasa Matsuhira¹⁾, Yuki Hara¹⁾, Keiko Suzuki¹⁾, Maki Uemae²⁾, Sachie Ohnuma³⁾, Rie Inoue³⁾, Kentaro Ohashi⁴⁾, Hiroyuki Watanabe⁴⁾, Hajime Sano⁴⁾, Makito Okamoto⁴⁾

¹⁾Kitasato University School of Allied Health Sciences

²⁾Kitasato University Graduate School of Medical Sciences

³⁾Kitasato University Hospital

⁴⁾Kitasato University School of Medicine

The purpose of this study was to investigate the improvement of the speech recognition score (SRS) by amplification at the conversational level, and to compare it with the expected improvement estimated from aided and unaided audibility of the test sound. The monosyllabic SRSs of 589 cases measured at the level of 65dB SPL in a sound field with and without a hearing aid were analyzed. The expected improvement of the SRS was estimated under the assumption that the dependence of both aided and unaided SRS on the speech intelligibility indices (SIIs) of the test sound is the same.

The SRS showed maximum improvement in cases of moderate hearing loss, and the average improvement was 31.7% for the cases with a mean hearing threshold level of between 40 to 90dB. In a multiple regression analysis, the maximum correlation with the improvement of the SRS was observed for 3 independent variables: unaided SIIs, increase in SII by amplification, and the maximum articulation score (MAS) of the unaided ear. The average SRS improvement was the same as the average expected improvement in a group of 373 cases in which the aided MAS was not significantly lower

than the unaided MAS. This means that, on average, the quality of the speech sound at the conversational level emanating from the hearing aid did not so deteriorate as to decrease the SRS as compared with that expected from the aided hearing threshold if the MAS did not deteriorate with the use of a hearing aid.

参考文献

- 1) 日本聴覚医学会福祉医療委員会報告書：補聴器適合検査の指針（2008）。Audiology Japan **51**：661-679, 2008
- 2) Dunn HK, Farnsworth WD : Exploration of pressure field around the human head during speech. J Acoust Soc Am **10** : 184-199, 1939
- 3) ANSI S3.5 : Method for calculation of the speech intelligibility index. American National Standard Institute, 1997
- 4) 白石君男, 神田幸彦 : 日本語における会話音声の音圧レベル測定。Audiology Japan **53** : 199-207, 2010
- 5) 竹内義夫 : 自動語音聴力検査装置 (CASA) の開発. 耳鼻臨床 (補) **42**, 18-23, 1991
- 6) French NR, Steinberg JC : Factors governing the intelligibility of speech sounds. J Acoust Soc Am **19** : 90-119, 1947
- 7) Mueller G, Killion MC : An easy method for calculating the articulation index. Hearing Journal **43** : 14-17, 1990
- 8) Pavlovic CV : Speech recognition and five articulation indexes. Hearing Instruments **42** : 20-23, 1991
- 9) Magnusson L : Speech intelligibility index transfer function and speech spectra for two Swedish speech recognition tests. Scandinavian Audiology **25** : 59-67, 1996
- 10) 松平登志正, 原由紀, 鈴木恵子, 他 : Count-the-Dot Audiogram による語音明瞭度の評価。Audiology Japan **45** : 457-458, 2002
- 11) 三浦種敏, 山口善司 : 音声情報の知覚。三浦種敏 (監修), 新版—聴覚と音声, (第7版, 第4部)。電子情報通信学会, 東京, 1994, pp397-477

- 12) 熊川孝三, 加藤央, 川村さやか, 他: 高音急墜型難聴フィルタを介した日本語と英語文の聴取成績の比較。Audiology Japan **52**: 459-460, 2009
(2011年1月24日受稿 2011年2月25日受理)

別冊請求先: 〒252-0373

神奈川県相模原市南区北里1-15-1

北里大学医療衛生学部

松平登志正

Toshimasa Matsuhira

School of Allied Health Sciences, Kitasato University

1-15-1 Kitasato, Minamiku, Sagami-hara, Kanagawa, 252-0373, Japan