補聴器の周波数レスポンスと語音明瞭度

帝京大学医学部耳鼻咽喉科学講座（主任：鈴木淳一教授）

小寺 一興，安達 忠治，設楽 仁一，加知 賢次郎

THE EFFECTS OF HEARING AID FREQUENCY RESPONSES ON SPEECH DISCRIMINATION SCORE

KAZUOKI KODERA, M.D., TYUJI ADACHI, M.D., JINICHI SIDARA, M.D.
and KENJIRO KACHI, M.D.

Department of Otolaryngology, Teikyo University School of Medicine, Tokyo

The effects of the frequency responses of hearing aids on speech discrimination scores were studied in 100 patients with sensori-neural hearing loss. Consonant discrimination scores of /s, z, m/ in frequency responses with high frequency amplification were better than those with low frequency amplification. On the other hand, consonant discrimination scores of /g/ were better in frequency responses with low frequency amplification. The discrimination scores of the other consonants were not affected by the frequency responses. In the fitting of the frequency response of a hearing aid, low frequency amplification is effective for improving sound quality through the hearing aid. However, there is risk of decreasing the discrimination scores of /s, z, m/.

Key words: 感音性難聴，語音明瞭度，補聴器，周波数レスポンス

A97—1669—20591

1. はじめに

補聴器の周波数レスポンスと語音明瞭度の関係について、一般的な見解として、「高周波数強調の特性で語音明瞭度が良好となる」との考え方がある。この考え方の根拠には、子音識別の手がかり (cue) が高周波数帯に多いこと¹⁾、高周波数強調の特性で実耳挿入利得が平坦な特性に近づくことなど²⁾がある。しかし、「どの程度の高周波数強調の特性で、どの子音の明瞭度が、どの程度まで改善するか」と、疑問を具体的にすると、その解答は不明なままである。

もちろん、補聴器の適合は語音明瞭度検査の成績のみで決定されるものではない。難聴患者が十分に使いこなせるように、音質にたいする考慮も重要である。臨床上有用な結論を得るには、上述の疑問を実際に適合した補聴器で検討する必要がある。さらに、補聴器の効果を評価するには、対象患者の感音性障害を表す裸耳の語音明瞭度検査の成績も考慮する必要がある³⁾⁴⁾。

本報告では、臨床上適合した耳掛形または挿耳形補聴器について、周波数レスポンスと語音明瞭度の関係を検討した。

2. 対象と方法

57-S 語表による裸耳の明瞭度検査結果が、平均聴力レベル (三分法) 上 40dB のレベルで、60% から 78% の範囲にある感音性難聴患者 100 例を対象とした。対象は、全例が耳掛形または挿耳形の補聴器を使用している。年齢は 20 歳以上 90 歳以下で、平均 63 歳 (標準偏差 15 歳) である。平均聴力レベルは 28dB 以上 66dB 以下で平均 48dB (標準偏差 9dB) である。

対象を以下のように、臨床上適合した補聴器の周波数レスポンスで分類した。対象患者の補聴器の周波数レスポンスの測定を、補聴器特性測定装置 (RION, LH11) で 2ml カプラを用いて行った。60dB SPL の入

力音で測定記録された周波数レスポンスから、3分の1オクターブ毎に利得を読みとった。つぎに、利得が最大である周波数（ピーク周波数とする）を求めた。ピーク周波数より2オクターブ低い周波数の利得を求め、ピーク周波数との差の2分の1の値を1オクターブあたりの低周波数減衰の値とした。この値によって、対象をA群からD群の4群に分類した。各群の周波数レスポンスを図1に示した。

1オクターブあたりの低周波数減衰の値は、

図1 各群の周波数レスポンス

ピーク値を規準とした相対音圧で示した。1オクターブあたりの低周波数減衰の値は、A群が平均12.4dB、B群が平均8.4dB、C群が平均6.2dB、D群が平均3.2dBである。

A群が平均12.4dB (17dB から 11dB),
B群が平均8.4dB (10dB から 8dB),
C群が平均6.2dB (7dB から 5dB),
D群が平均3.2dB (4dB から 3dB) である。

各群に含まれる対象数は、A群14例、B群34例、C群38例、D群14例であった。

周波数レスポンスで分類したA群からD群のオーディオグラムを図2に示した。250Hzと4000Hzの閾値差の平均値は、A群が平均22.9dB(オクターブあたり5.7dB)、B群が平均17.7dB(オクターブあたり4.4dB)、C群が平均20.8dB(オクターブあたり5.2dB)、D群が平均17.5dB(オクターブあたり4.4dB)であった。各群のオーディオグラムの各曲線の傾きには大きな差がなかった。

A群からD群までの全例で、57-S語表による裸耳と補聴耳の明瞭度検査を行った。検査音レベルは、裸耳では平均聴力レベル上40dBとし、補聴耳では提示音圧と補聴器の利得の和が平均聴力レベル上40dBとなるようにした(本研究では、えられた結果を最高明瞭度とみなした)。語音明瞭度検査の結果を検討するために、各群毎に子音群の異聴マトリックスを作成し、A群からD群の間で比較した。

3. 結 果

A群からD群までの各群における裸耳明瞭度、補聴耳明瞭度および両者の差を表1に示した。裸耳明瞭度と補聴耳明瞭度の間には、各群で有意差を認めなかつ

図2 各群のオーディオグラム

各群の周波数別の閾値の平均値を示す。

表1 各群の裸耳と補聴耳の最高明瞭度

	裸耳明瞭度	補聴耳明瞭度	差
A群	69.3% (4.9%)	75.7% (11.0%)	6.4%
B群	68.7% (5.7%)	71.9% (9.6%)	3.2%
C群	70.0% (6.4%)	73.4% (9.8%)	3.4%
D群	71.3% (4.9%)	74.4% (12.7%)	3.1%

()内は標準偏差を示す。

た(t検定)。また、各群間の比較では、裸耳明瞭度、補聴耳明瞭度および裸耳と補聴耳の差のいずれにおいても統計的有意差を認めなかった(F検定)。

子音を分類し、子音別の明瞭度を無声子音、有声破裂・摩擦音、鼻音について求めた結果を表2に示した。A群からD群の間で顕著な差を認めなかった。

補聴耳の明瞭度検査結果について、検査単音のうち無声子音だけを取り上げ、各子音の正答率と異聴傾向を検討した結果を図3に示した。各群間の比較で10%以上の差を認めた子音は/s/であった。/s/の明瞭度は、A群で87%、B群で74%、C群で73%、D群で64%と、周波数レスポンスが高周波数強調であるほど良い傾向を示した。

図4に、裸耳の明瞭度検査結果について、A群とD群の無声子音の異聴マトリックスを示した。A群では、裸耳の/s/の明瞭度は89%であった。補聴耳のA群の/s/の明瞭度は87%であり、A群では補聴器使用で明瞭度を低下させない結果であった。D群では、裸耳の/s/の明瞭度は77%であり、補聴器使用で明瞭度は64%に低下した。

補聴耳の明瞭度検査結果について、有声の破裂・摩擦音の異聴マトリックスを図5に示した。各群間の比較で10%以上の差を認めた子音は/z/と/g/であった。/z/の明瞭度は、A群で86%、B群で82%、C群で82%、D群で68%と、周波数レスポンスが高周波数強調であるほど良い傾向を示した。逆に/g/の明瞭度は、

A群で75%、B群で74%、C群で82%、D群で89%と、周波数レスポンスが高周波数強調であるほど悪い傾向を示した。

図6に裸耳の明瞭度検査結果について、A群とD群の有声の破裂・摩擦音の異聴マトリックスを示した。裸耳の/z/の明瞭度は、A群では89%であった。補聴耳のA群の/z/の明瞭度は86%であり、A群では補聴器使用で明瞭度を低下させない結果であった。D群では、裸耳の/z/の明瞭度は79%であり補聴器使用で68%に低下した。裸耳の/g/明瞭度は、A群では68%であり、補聴器使用で7%改善した。D群では裸耳の明瞭度は79%であり、補聴器使用で10%改善した。

図7に補聴耳の明瞭度検査結果について、鼻音の異聴マトリックスを示した。/m/、/n/ともに10%以上の差を認めたが、A群からD群の間で一定の傾向を認めなかった。

4. 考 察

補聴器の周波数レスポンスと語音明瞭度の関係において、「高周波数強調の周波数レスポンスは明瞭度を改善させる」との考え方がある。しかし、子音の知覚に関する近年の研究では、子音部の始まりから母音開始までの区間長(voice onset time: VOT)や子音から母音へ移行する部分のフォルマント遷移などが重要な手がかり(cue)であることが知られている⁵⁾⁶⁾⁷⁾。単に高周波数帯を強調することの効果は限られていると考えられる。したがって、問題は「どの程度の高周波数強調の特性で、どの子音の明瞭度が、どの程度まで改善するか」と、具体的にされるべきである。

本研究では、補聴器適合でもっとも頻度の高い患者を対象として、临床上適合した補聴器を使用した場合について、患者間での比較を行った。すなわち、対象として、最高明瞭度が57-S語表で60%から78%の成人の感音性難聴で、耳掛形または挿耳形補聴器を使用している患者を対象とした。補聴器の周波数レスポ

表2 子音群の裸耳と補聴耳の最高明瞭度

	無声子音明瞭度			有声子音明瞭度			鼻音明瞭度		
	裸耳	補聴耳	差	裸耳	補聴耳	差	裸耳	補聴耳	差
A群	77%	82%	5%	61%	60%	1%	58%	70%	12%
B群	74%	78%	4%	63%	60%	3%	50%	58%	8%
C群	75%	80%	5%	64%	65%	1%	57%	63%	6%
D群	76%	78%	2%	61%	62%	1%	62%	65%	3%

スは、図1に示すように通常使用される範囲を十分に含んでいる。

表1に示すように、語音明瞭度検査の誤差を10%と

A 群 補聴耳

		応答				
		t	k	h	s	他
検査音	t	64	●	●	●	●
	k	●	94	●	●	●
	h	●	●	84	●	●
	s	●	●	●	87	●

B 群 補聴耳

		応答				
		t	k	h	s	他
検査音	t	64	●	●	●	●
	k	●	96	●	●	●
	h	●	●	77	●	●
	s	●	●	●	74	●

C 群 補聴耳

		応答				
		t	k	h	s	他
検査音	t	68	●	●	●	●
	k	●	91	●	●	●
	h	●	●	80	●	●
	s	●	●	●	73	●

D 群 補聴耳

		応答				
		t	k	h	s	他
検査音	t	73	●	●	●	●
	k	●	90	●	●	●
	h	●	●	86	●	●
	s	●	●	●	64	●

図3 無声子音の補聴耳の異聴マトリックス
白丸は正答を黒丸は異聴を示す。丸の面積は割合を示し、白丸の中の数字は明瞭度を示す。

考えると⁸⁾、補聴耳の明瞭度はA群からD群の間で有意な差はない。裸耳明瞭度と補聴耳明瞭度の差もA群からD群の間で有意な差はない。したがって、前述の「高周波数強調の周波数レスポンスは明瞭度を改善させる」との考え方は、臨床上適合した補聴器を使用した場合について、患者間の比較では正しくない。

一般に高周波数帯に識別の手がかり(cue)を持つと考えられている無声子音の検討結果は表2に示すようであった。A群からD群の間で補聴耳の明瞭度に差はなく、また、裸耳明瞭度にたいする補聴耳明瞭度の改善度にも差はなかった。したがって、「高周波数強調は

A 群 裸耳

		応答				
		t	k	h	s	他
検査音	t	54	●	●	●	●
	k	●	94	●	●	●
	h	●	●	70	●	●
	s	●	●	●	89	●

D 群 裸耳

		応答				
		t	k	h	s	他
検査音	t	61	●	●	●	●
	k	●	87	●	●	●
	h	●	●	80	●	●
	s	●	●	●	77	●

図4 無声子音の裸耳の異聴マトリックス
A群とD群の結果を示す。白丸は正答を黒丸は異聴を示す。

A 群 補聴耳

		応答				
		b	d	g	z	他
検査音	b	71	●	●	●	●
	d	●	29	●	●	●
	g	●	●	75	●	●
	z	●	●	●	86	●

B 群 補聴耳

		応答				
		b	d	g	z	他
検査音	b	68	●	●	●	●
	d	●	34	●	●	●
	g	●	●	74	●	●
	z	●	●	●	82	●

C 群 補聴耳

		応答				
		b	d	g	z	他
検査音	b	71	●	●	●	●
	d	●	39	●	●	●
	g	●	●	82	●	●
	z	●	●	●	82	●

D 群 補聴耳

		応答				
		b	d	g	z	他
検査音	b	64	●	●	●	●
	d	●	38	●	●	●
	g	●	●	89	●	●
	z	●	●	●	68	●

図5 有声破裂・摩擦音の補聴耳の異聴マトリックス
白丸は正答を黒丸は異聴を示す。丸の面積は割合を示し、白丸の中の数字は明瞭度を示す。

		A 群 裸耳					
検査音		応答					
		b	d	g	z	r	他
	b	79				●	●
	d	●	31	●		●	●
	g	●		68		●	●
	z			●	89		●

		D 群 裸耳					
検査音		応答					
		b	d	g	z	r	他
	b	71	●			●	●
	d	●	33	●		●	●
	g	●	●	79		●	●
	z			●	79	●	

図6 有声破裂・摩擦音の裸耳の異聴マトリックス
A群とD群の結果を示す。白丸は正答を黒丸は異聴を示す。

		A 群 補聴耳			
検査音		応答			
		m	n	r	他
	m	86	●	●	
	n	●	52	●	●

		B 群 補聴耳			
検査音		応答			
		m	n	r	他
	m	72	●	●	●
	n	●	40	●	●

		A 群 裸耳			
検査音		応答			
		m	n	r	他
	m	74	●	●	
	n	●	38	●	●

		D 群 裸耳			
検査音		応答			
		m	n	r	他
	m	71	●	●	●
	n	●	50	●	

図8 鼻音の裸耳の異聴マトリックス
A群とD群の結果を示す。白丸は正答を黒丸は異聴を示す。

図7 鼻音の補聴耳の異聴マトリックス
白丸は正答を黒丸は異聴を示す。丸の面積は割合を示し、白丸の中の数字は明瞭度を示す。

とくに無声子音の明瞭度改善に有効である」との考え方は、患者間の比較では一般的には正しくないとの結果であった。

無声子音を全体として見るのではなく、/t/、/k/、/h/、/s/の個別の子音について検討すると、/s/で高周波数強調は明瞭度改善に有効であった(図3)。つまり、/s/の明瞭度は、A群でもっとも高く、D群でもっとも低く、B群とC群で中間の値を示した。図4に示す裸耳の明瞭度の比較では、A群とD群の差は12%である。補聴耳明瞭度の比較では、その差が23%と増大した。

同様の検討を有声の破裂・摩擦音について行くと、/z/で高周波数強調は明瞭度改善に有効であった(図5)。つまり、/z/の明瞭度は、A群でもっとも高く、D

群でもっとも低く、B群とC群で中間の値を示した。図4に示す裸耳の明瞭度の比較では、A群とD群の差は10%である。補聴耳明瞭度の比較では、その差が18%と増大した。

ところで、/g/の明瞭度はD群で89%と高く、A群で75%と低かった(図5)。さらに、A群からD群まで徐々に明瞭度が低下した。しかし、図6に示す裸耳の明瞭度では、A群はD群より10%低い。裸耳明瞭度にも同じ傾向が認められるので、低周波数強調の効果は、対象患者の差である可能性もある。

鼻音については、/m/の明瞭度がA群でD群に比べて16%高かった。裸耳におけるA群とD群の差は3%で、補聴耳明瞭度で差が増大している。しかし、A群からD群まで一貫した傾向ではないので、高周波数強調の効果は、可能性がある程度と考えるべきであろう。

以上をまとめると、周波数レスポンスの差による明瞭度への影響は、子音群ではなく、特定の子音に現れる。高周波数強調の特性で低周波数強調に比べて明瞭度が良い子音は、/s/および/z/である。その原因は、低周波数強調でこれらの子音の明瞭度を十分に上げられないことであって、高周波数強調が明瞭度を改善するのではない。他に、周波数レスポンスに影響を受ける

可能性がある子音として/m/と/g/がある./m/には高周波数強調で明瞭度改善の可能性がある./g/には低周波数強調で明瞭度改善の可能性がある.その他の子音は,周波数レスポンスの調整で明瞭度が変化する可能性は少ない.

本研究の特徴は,1) 臨床上適合した補聴器を使用して,患者間で比較を行ったこと,2) 明瞭度検査を閾値上 40dB のほぼ最高明瞭度を示すレベルで行ったこと,3) 裸耳と補聴耳の明瞭度の比較を検討に加えたことである.これらの特徴から,1) 臨床上の妥当性が高い結果をえることができ,2) 明瞭度がもっとも良い場合の検討が行え,3) 患者の障害程度の違いの影響を除くことができたと考えられる.したがって,えられた結果は,臨床上一般的に適用して良いと考える.

補聴器の適合における周波数レスポンスの調整では,紙の音など高周波数帯の雑音を避けるためには,低周波数強調の特性が有効である.また,音質を自然で柔らかいものに調整する場合にも低周波数強調の特性が有効である.これらの音質改善を目的に低周波数を強調するときには/s/,/z/,/m/の明瞭度への影響に留意すべきである.

5. ま と め

補聴器の周波数レスポンスが語音明瞭度に与える影響を,感音性難聴患者100例を対象に検討し以下の結果と結論をえた.

1) 高周波数強調の周波数レスポンスでは,低周波数強調にくらべて,/s/と/z/の明瞭度がよい.2) 高周波数強調で/m/の明瞭度が改善する可能性があり,低周波数強調で/g/の明瞭度が改善する可能性がある.3) /s/,/z/,/m/,/g/以外の子音の明瞭度は,周波数レスポンスの影響を受けることは少ない.

音質改善のために低周波数強調の周波数レスポンスを採用する場合には,/s/,/z/,/m/の明瞭度への影響に留意すべきである.

引用文献

- 1) 越川常治: 聴覚と音声 p 300. 電子通信学会編, コロナ社, 東京, 1966.
- 2) Pascoe DE: Frequency responses of hearing aids and their effects on the speech perception of hearing-impaired subjects. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 84 (Suppl), 1975.
- 3) 小寺一興, 赤井貞康, 出水みゆき, 廣田栄子, 三浦雅美 他: 子音の明瞭度による感音難聴の分類. *Audiology (Jap)* 35: 582-587, 1992.
- 4) 小寺一興, 赤井貞康, 廣田栄子, 三浦雅美: 感音性難聴における日本語音節の異聴の研究. *日耳鼻* 96: 1404-1409, 1992.
- 5) 片桐 滋, 東倉洋一, 古井貞昭: 単音節知覚における時間情報の役割. *日本音響学会誌* 42: 97-105, 1986.
- 6) Blumstein SE, Stevens KN: Perceptual invariance and onset spectra for stop consonants in different vowel environments. *J Acoust Soc Am* 67: 648-662, 1980.
- 7) Furui S: On the role of spectral transition for speech perception. *J Acoust Soc Am* 80: 1016-1025, 1986.
- 8) 廣田栄子, 小寺一興, 工藤多賀: 補聴器適合における語音明瞭度の利用. *Audiology (Jap)* 31: 755-762, 1988.

異聴マトリックス解析用のプログラムを貸与いただいた国立身体障害者リハビリテーションセンターの米本 清氏に感謝します.

本論文の要旨は第94回日本聴覚医学会総会で口演した.

(1994年3月4日受稿 1994年6月2日受理)

別刷請求先 〒173 東京都板橋区加賀2-11-1

帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室 小寺一興