

論文目録

報告番号	甲医第 614 号	氏名	増田博範
------	-----------	----	------

論文

題目 周波数圧縮変換型補聴器の効果について

著者 増田 博範

平成10年12月25日発行 四国医学雑誌 第54巻第6号 375～385
ページに発表済

参考論文

1. 慢性副鼻腔炎の細菌学的検討

平成8年6月発行 耳鼻咽喉科展望 第39巻補冊第1号 11～15ページに
発表済

2. 茎乳突部刺激における眼輪筋誘発反応のR2成分の求心路の検討

平成9年12月発行 Facial Nerve Research 第17巻 48～50ページに
発表済

3. 後輪状披裂筋筋電図法

平成10年4月25日発行 四国医学雑誌 第54巻第2号 215～219
ページに発表済

4. 正常者、喉頭麻痺患者における喉頭ストロボスコープ所見の定量的評価

平成10年10月25日発行 四国医学雑誌 第54巻第5号 316～322
ページに発表済

5. 喉頭ストロボスコープのプロトコール

平成10年12月発行 喉頭 第10巻第2号 107～112ページに発表済

6. ファイバースコープを利用した甲状腺手術時における反回神経、上喉頭神経外枝の同定法

平成10年12月発行 内分泌外科 第15巻第4号 273～277ページに
発表済

題目 周波数圧縮変換型補聴器の効果について

著者 増田博範

平成10年12月25日発行 四国医学雑誌 第54巻 第6号 375~385ページ
に発表済

内容要旨

近年の補聴技術の進歩により、補聴器適用の対象となる患者の範囲も広がってきたが、高音急墜型、皿型、低音障害型の感音性難聴者など、いまだに補聴器適合（フィッティング）が困難な症例も多い。そのうちでも、低音部にのみ残聴のある感音性難聴者に対する補聴器のフィッティングは極めて困難で、従来型補聴器では語音明瞭度の改善が得られない。語音弁別のための手がかりは、広い周波数帯域に分布しているとされ、この手がかりがキュー（cue）と呼ばれている。低音部にのみ残聴のある患者では、高音域の聴力レベルがオージオメータの最大出力でも検査音を聴取できない状態（スケールアウト）である場合が多く、補聴器を用いて高音域を増幅しても高音域に含まれるキューの情報がまったく入らないことが多い。したがって、語音明瞭度の改善が得られないと考えられている。

近年、コンピュータ技術を用いて、伸長増幅や圧縮増幅を行う補聴器や、ラウドネス補償関数に基づきデジタル処理する補聴器など新しい原理に基づく補聴器が次々と開発されている。そのひとつに、周波数圧縮変換型補聴器（AVR社製FT-40 MK-2、トランソニック）がある。これは、低周波帯域のスペクトルは圧縮せず、高周波帯域のスペクトルを大きく圧縮し、低音部はそのままの周波数で、高音部を低音部の残聴域にシフトする、いわゆる非線形スペクトル圧縮の原理を応用した補聴器である。この補聴器は、従来型補聴器ではフィッティングが極めて困難であった、低音部にのみ残聴のある感音性難聴者を対象として開発されたものである。先天性感音難聴児に装着させると、聴覚の認識、言語獲得の観点から従来の補聴器と人工内耳の中間に位置づけられるという報告や、後天性難聴者において無声子音の語音明瞭度の改善が認められたという報告はあるが、実際には、難聴者に対するトランソニック補聴器の効果の評価は一定していない。そこで、本研究では、トラ

ソニックの効果を検討するため、低音部のみに残聴のある感音性難聴者3例に対しトランソニック補聴器を装着させ、語音の種類別の明瞭度の検討を行った。低音部のみに残聴のある感音性難聴者の頻度は非常に低く、著者らの施設では過去3年間に3例の症例が検討できたのみである。ゆえに、低音部のみに残聴のある感音性難聴者を数多くそろえてトランソニックの効果を検討することは不可能に近い。そこで、正常者21例において、低音部のみに残聴のある感音性難聴を低域濾波器を用いてシミュレートし、トランソニックの使用が、どの程度語音明瞭度の改善に対して効果があるのかについても検討した。

その結果、患者および難聴シミュレート例ともに、トランソニック使用直後では語音明瞭度の改善は得られなかったが、トランソニック装着下での訓練により一部の語音で著明な改善を認めた。患者においては、無声子音（なかでも特に/s/）や有声閉鎖音（/z/など）、鼻音（/n/など）の明瞭度が改善された。難聴をシミュレートした例でも母音、/s/、/k/、/t/、/n/で語音明瞭度が改善しており、これらを含む57S語表中の全ての単音節での検討においても語音明瞭度が改善した。これらの訓練によって得られる語音明瞭度の改善は、トランソニックにより高音部に存在するキューが低音部に圧縮変換され、新たなキューとして認知できるようになったためと考えられる。正常者でシミュレートした難聴は、実際の感音性難聴を完全に実現できるわけではないが、同程度の難聴を多数作成することが可能であり、補聴器の効果を検討するためには、有用な研究手段となると考えられた。

周波数圧縮変換型補聴器の効果について

増田博範

徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室（主任：小池靖夫教授）

（平成10年10月21日受付）

Effectiveness of a frequency transposing hearing aid

Hironori Masuda

Department of Otorhinolaryngology, The University of Tokushima School of Medicine, Tokushima

(Director : Prof. Yasuo Koike)

原 著

周波数圧縮変換型補聴器の効果について

増 田 博 範

徳島大学医学部耳鼻咽喉科学教室 (主任: 小池靖夫教授)
(平成10年10月21日受付)

低音部にのみ残聴のある感音性難聴患者3名と、低音部にのみ残聴のある感音性難聴患者をシミュレートした正常者21例について、トランソニックの装用が語音明瞭度に与える影響を検討した。その結果、患者および難聴シミュレート例ともに、トランソニック装用直後では語音明瞭度の改善は得られなかったが、トランソニック装用下での訓練により一部の語音で著明な改善を認めた。患者においては、無声子音(なかでも特に/S/)や有声破裂音、有声摩擦音、鼻音の明瞭度が改善される傾向があった。正常者で難聴をシミュレートした例では母音、/s/, /k/, /t/, /n/で語音明瞭度が改善しており、これらを含む57S語表中の全ての単音節での検討においても語音明瞭度は改善した。これらの訓練によって得られる語音明瞭度の改善は、トランソニックにより高音部に存在するキューが低音部に圧縮変換され、新たなキューとして認知できるようになったためと考えられる。正常者でシミュレートした難聴は、実際の感音性難聴を完全に実現できるわけではないが、同程度の難聴を多数作成することが可能であり、補聴器の効果を検討するためには、有用な対象となると考えられた。

感音性難聴者におけるコミュニケーション障害には、純音聴力域値の低下のみならず周波数分解能、時間分解能などの低下が関与していると考えられている。補聴器装用はその障害に対する一つの対策であり、補聴器装用の適応を決定するためには純音聴力検査、語音聴力検査はもとより、コミュニケーションの障害程度や生活環境も十分考慮する必要があるといわれている¹⁾。

近年の補聴技術の進歩により、その適応の対象となる患者の範囲も広がってきた。しかしながら、高音急墜型、皿型、低音障害型の感音性難聴者など、いまだに補聴器適合(フィッティング)が困難な症例も多い¹⁾。そのうちでも、低音部にのみ残聴のある感音性難聴者に対する

補聴器のフィッティングは極めて困難で、従来型補聴器では語音明瞭度の改善が得られない。

語音弁別のための手がかりは、広い周波数帯域に分布しているとされる。この手がかりをキュー(cue)と呼んでいる。低音部のみに残聴のある患者では、高音域の聴力レベルがオージオメータの最大出力で検査音を聴取できない状態(スケールアウト)である場合も多く、補聴器を用いて高音域をいくら増幅しても高音域に含まれるキューの情報がまったく入らない。したがって、語音明瞭度の改善が得られないと考えられている²⁾。

近年、コンピュータ技術を用いて伸長増幅や圧縮増幅を行う補聴器や、ラウドネス補償関数に基づきデジタル処理する補聴器などが次々と開発されている³⁻⁵⁾。そのひとつに、高周波帯域に含まれる情報を残聴のある低周波帯域に移動させる機能をもった周波数圧縮変換型補聴器(AVR社製FT-40MKII, 通称トランソニック)が開発された^{6,7)}。これは、低周波帯域のスペクトルは圧縮せず、高周波帯域のスペクトルを大きく圧縮することで、低音部はそのままの周波数で、高音部を低音部の残聴域にシフトする、いわゆる非線形スペクトル圧縮の原理を応用した補聴器である。この補聴器は、従来型補聴器ではフィッティングが極めて困難であった低音部のみに残聴のある感音性難聴者を対象として開発されたものである。先天性感音難聴児に装用させると聴覚の認識、言語獲得の観点から従来の補聴器と人工内耳の中間に位置づけられるという報告^{8,9)}や後天性難聴者において語音明瞭度上無声子音の改善が認められたという報告¹⁰⁾はあるが、実際、難聴者に対するトランソニックの補聴効果の評価は一定していないのが現状である。そこで、本研究では、トランソニックの効果を検討するため、低音部のみに残聴のある感音性難聴者3例に対し、語音の種類別の明瞭度の検討を行った。しかし、低音部のみに残聴のある感音性難聴者の頻度は非常に少なく、著者の施設

でも過去3年間に3例の症例が検討できたのみである。ゆえに、同程度の低音部だけに残聴のある感音性難聴者を数多くそろえてトランソニックの効果を検討することは不可能に近い。そこで、正常者において低音部だけに残聴のある感音性難聴者をシミュレートし、トランソニックの装用が、語音にたいしてどの程度の明瞭度の改善に対する効果があったのかについても検討した。

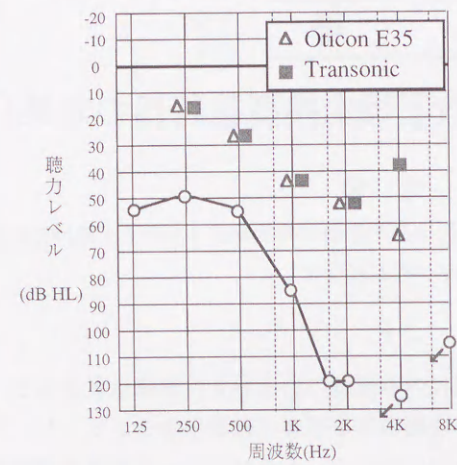
対象及び方法

低音部だけに残聴のある感音性難聴者3例と健康成人21例を対象としてトランソニックの語音明瞭度の改善効果を検討した。まず、低音部だけに残聴のある感音性難聴者3名に対し、トランソニック装用前、トランソニック装用直後、トランソニック訓練2週間後の語音明瞭度検査を行い、その成績を比較した。語音明瞭度検査に先立ち、トランソニックをダイナミックレンジ法でフィッティングしたのち、比較選択法で微調整を行った。周波数特性は、補聴器特性試験装置(リオン社製 LH-11)を用い2ccカプラを用いて測定した。その際、従来使用していた補聴器とトランソニックの特性が、できるだけ一致するように調整した。語音明瞭度検査は、自由音場にて行い、聴覚刺激のみの場合は57S語表と福田らのビデオの音声チャンネル¹⁾を用い、検査音の音圧は音源より1メートルの距離で80dB SPL (sound pressure level) になるように設定した。また、装用域値を求めるための音源には震音(周波数がある範囲を連続的にしかも周期的に変化する音:ワープトーン)を用い、求めた装用域値を hearing level に概算し、オーディオグラム上に示した。さらに、約2週間のトランソニックの装用訓練期間を与え、訓練後にも語音明瞭度検査を行い、その成績を比較検討した。

症例1は63歳の女性である。30歳頃より難聴があり50歳代後半から会話に不自由を感じたため補聴器店で補聴器を購入し装用していた。オーディオグラムと補聴器装用域値を(図1)に示す。それまで患者が装用していたリニア型補聴器 oticon 社製 E35 とトランソニックを対象とし、語音明瞭度を比較した。

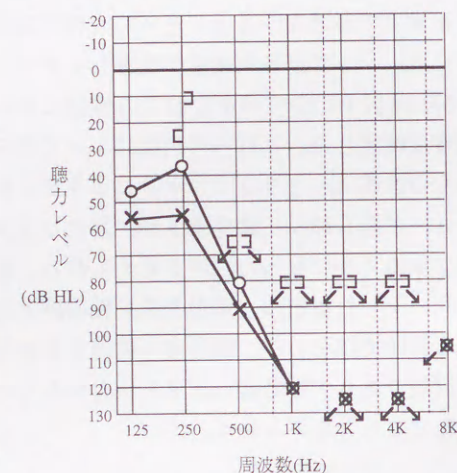
症例2は53歳女性である。小児期より難聴を自覚するも放置していた。オーディオグラムを(図2)に示す。52歳頃より会話が不自由になり補聴器を装用していたが効果がなくあまり装用していなかった。そのため従来の補聴器 oticon EW 2 の再フィッティングを行うと同時にト

図1 症例1の聴力域値と補聴器装用域値



○: 右気導聴力域値
斜め下方に向かう矢印: オーディオメータの最大出力で検査音を聴取できない状態(スケールアウト)。使用しているオーディオメータの最大聴力レベルの値を記入して、それに斜め下方に向かう矢印を付記。

図2 症例2の audiogram



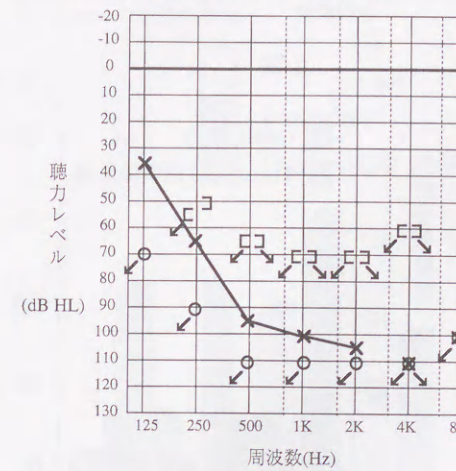
○: 右気導聴力域値, ×: 左気導聴力域値
□: 右骨導聴力域値, ▽: 左骨導聴力域値
斜め下方に向かう矢印: 図1と同様。

ランソニックも装用させ両者の語音明瞭度を比較した。

症例3は36歳女性である。19歳の時両側の突発性難聴になり、補聴器の装用を試みた時期もあったが装用効果がなく補聴器の装用をあきらめていた症例である。オーディオグラムを(図3)に示す。そのため裸耳における語音明瞭度とトランソニック装用時の語音明瞭度を比較した。

ついで、聴力正常な健康成人21名を対象として、低音

図3 症例3の audiogram

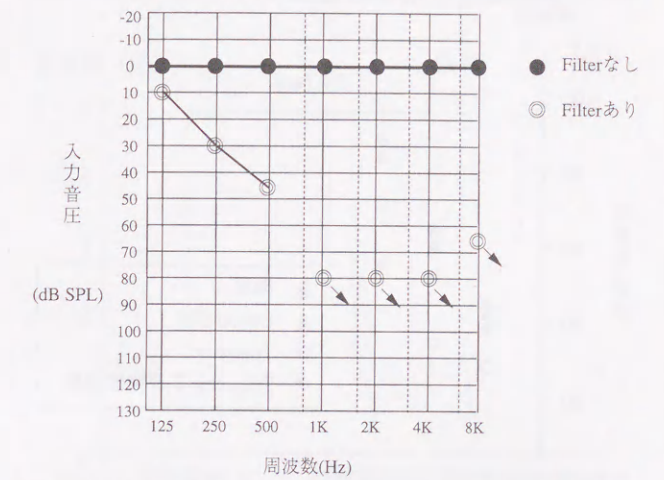


○: 右気導聴力域値, ×: 左気導聴力域値
□: 右骨導聴力域値, ▽: 左骨導聴力域値
斜め下方に向かう矢印: 図1と同様。

部だけに残聴のある感音性難聴をシミュレートした。すなわち、低音部のみを通すフィルタ(ローパスフィルタ)を作成した。ローパスフィルタとしてはアナログ式 NEC 三栄社製 9B02型ローパスフィルタを改造して使用した。本実験に用いたローパスフィルタの周波数特性を図4に示す。このフィルタを通す事により、正常者の耳に入る情報は、ローパスフィルタと同様のオーディオグラムを持つ難聴者の耳に入る情報と近似させることが出来ると考えられる。

日本語の語音明瞭度の標準的な検査として、日本聴覚医学会で定められた57S語表がある。57S語表は50個の単音節で構成されておりその内訳は母音5個、無声子音/k/, /s/, /t/, /h/19個、鼻音/m/, /n/9個、半母音/y/, /r/, /w/9個、有声閉鎖音/g/, /z/, /d/, /b/8個である。被検者が検査中に記憶するのを防ぐためこれら50音節が無作為に並べられた語表が5種類用意されている。被検者は数秒間隔に繰り返される計50個の単音節を聴取し、認識したとおりに記載し、その正答率(百分率)を語音明瞭度とする。正常者では50dBの音圧で90%以上の語音明瞭度が得られる。この57S語表の音声出力を、先に作成したローパスフィルタを通したのち DAT (Technics 社製 SV-D1100) に録音した。この録音テープを音声資料1とした。つぎに、57S語表の音声出力をトランソニックの入力端子に接続し、高音域の圧縮を行った後にローパスフィルタを通したものを DAT (Technics 社製 SV-D1100) に録音した。この録音テー

図4 フィルタ特性



斜め下方に向かう矢印: 音源からの最大入力音圧でもフィルタを経由した出力音圧が聴取できない状態。最大入力音圧の値を記入して、それに斜め下方に向かう矢印を付記。

プを音声資料2とした。トランソニックの各トリマーの調整は、低音部だけに残聴のある感音性難聴に装用した際に調整した状態に近づけるために、Zv: 1, Zc: 3, DCB: 4とした。

音声資料1および2による語音明瞭度検査は、外部からの音響雑音を出るだけ少なくするため、防音室内で自由音場でおこなった。スピーカーとほぼ同じ高さで1メートル離れたところに被検者の耳がくるようにし、聴取した単音節を被検者に記載させた。

ところで、トランソニックを通した音声資料2は、高音部が圧縮され、低音部に重なっているため、不自然な音となっている。不自然な音であっても、繰り返し聞き、訓練を行うことにより、高音部に含まれる情報(キュー)を認知することが可能となるといわれている。したがって、正常者において、訓練の目的で、音声資料2の正答を見ながら繰り返し5回聴取させた。その後、訓練に用いていない音声資料2の別の語表を用いて、再度、語音明瞭度検査を行い、訓練前後でのトランソニック装用時の語音明瞭度を比較した。なお、統計的手法にはt検定を用い、 $p < 0.05$ を有意とした。

結 果

1) 低音部だけに残聴のある感音性難聴者における成績
症例1の成績を図5に示す。福田らのビデオを用いた検討においては、トランソニック装用直後の語音明瞭度

図5 症例1における福田らのビデオ（聴覚のみ）を用いた語音明瞭度

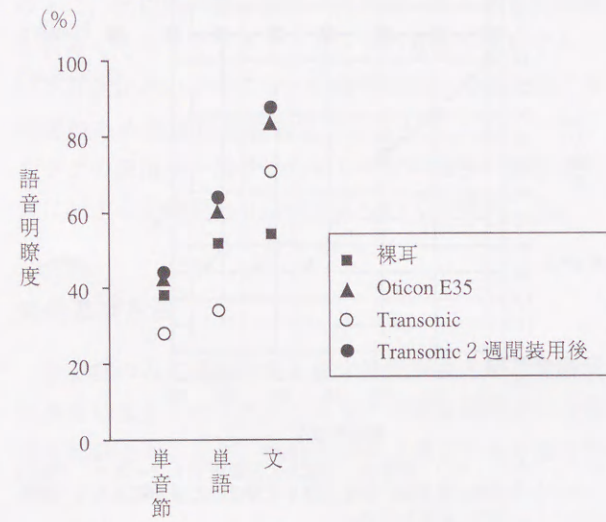
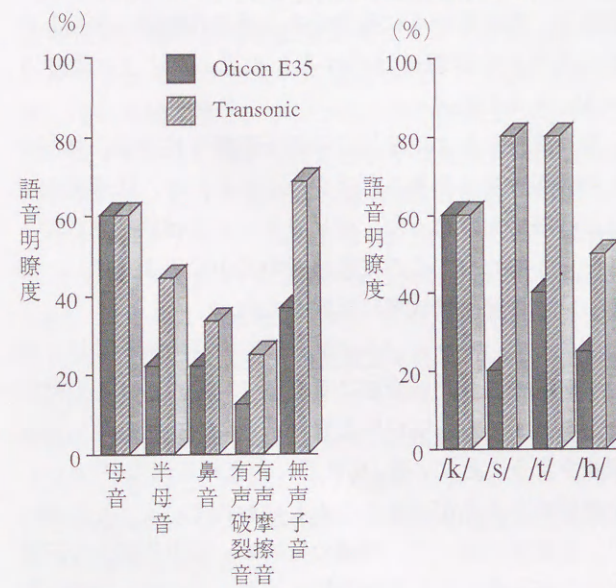


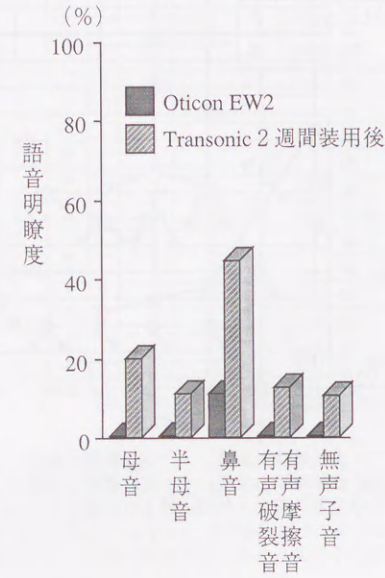
図6 症例1における57Sを用いた語音明瞭度



は従来の補聴器でのそれを下回っていた。しかし、トランソニックを2週間装用することにより、単音節、単語、文いずれの明瞭度においても従来の補聴器での明瞭度を上回る結果となった。57S語表による語音の種類別の明瞭度の検討を行うと、トランソニックの装用により半母音、鼻音、有声閉鎖音、無声子音/s/, /t/, /h/の明瞭度が改善していることが判明した(図6)。

症例2の成績を図7に示す。57S語表による明瞭度は、従来の補聴器で2%であったのに対し、トランソニック

図7 症例2における57Sを用いた語音明瞭度



2週間装用後で18%となった。語音の種類別の明瞭度を検討を行うと、トランソニックの装用により母音、半母音、鼻音、有声閉鎖音、無声子音と全体に明瞭度が改善しており特に鼻音において著しいことが判明した。

症例3の成績を図8、9に示す。福田らのビデオを用いた検討において、トランソニック装用直後は裸耳と同程度であったが、2週間の装用ののち、単音節、単語においては明瞭度の改善を認めた(図8)。母音、半母音、鼻音、有声閉鎖音、無声子音のいずれにおいてもトランソニックの2週間の装用で明瞭度が改善した(図9)。

語音明瞭度が低すぎるため症例2における福田らのビデオを用いた検討や、症例3における57S語表による検討が不可能であった。しかし3症例ともトランソニック装用直後よりも2週間の装用をすることにより語音明瞭度の改善を認める傾向があり、特に無声子音、鼻音、有声閉鎖音の明瞭度が改善される傾向があった。

図8 症例3における福田らのビデオ（聴覚と視覚併用）を用いた語音明瞭度

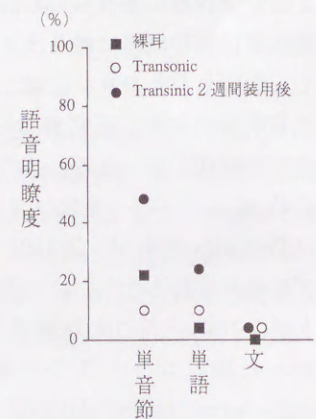
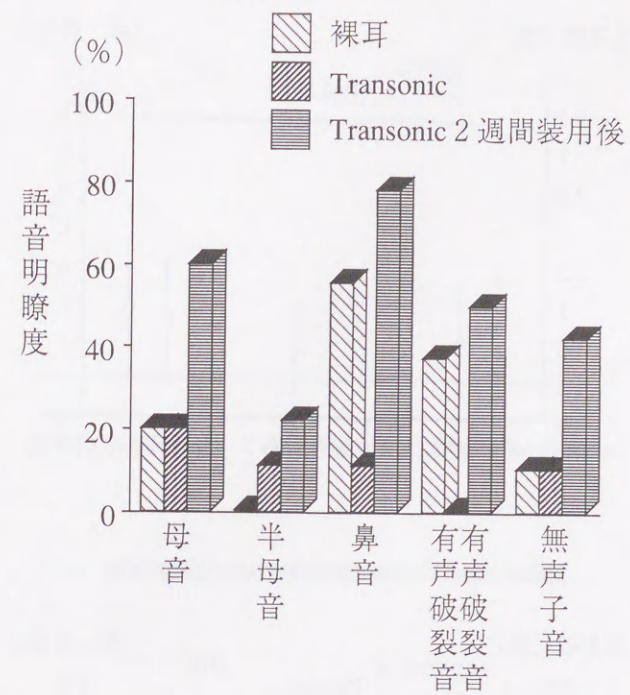


図9 症例3における福田らのビデオの単音節（聴覚と視覚併用）を用いた語音明瞭度



2) 低音部のみに残聴のある感音性難聴者をシミュレートした例での成績

母音では5音節中正解が得られた個数は音声資料1で3.1個、音声資料2で2.4個であったのが聴能訓練の後音声資料2で3.7個と、トランソニック装用前の成績より有意に上昇した(図10)。

無声子音ではまず/k/では5音節中正解が得られた個数は音声資料1で0.9個音声資料2で1.3個であったのが聴能訓練の後音声資料2で1.4個でありトランソニック装用前の成績より有意に上昇した(図11)。同様に/s/では5音節中正解が得られた個数は音声資料1で2.2個音声資料2で2.2個であったのが聴能訓練の後音声資料2で3.0個とトランソニック装用前の成績より有意に上昇した(図12)。
/t/では5音節中正解が得られた個数は音声資料1で1.8個音声資料2で1.6個であったのが、聴能訓練の後音声資料2で2.3個と聴能訓練後トランソニック装用前よりわずかに語音明瞭度が上昇したが、有意ではなかった(図13)。
/h/では4音節中正解が得られた個数は音声資料1で1.7個音声資料2で1.3個であったのが聴能訓練の後音声資料2で1.6個と聴能訓練を行っても語音明瞭度の上昇は認められなかった(図14)。

鼻音については/n/では4音節中正解が得られた個数

図10 母音における聴能訓練前後での語音明瞭度

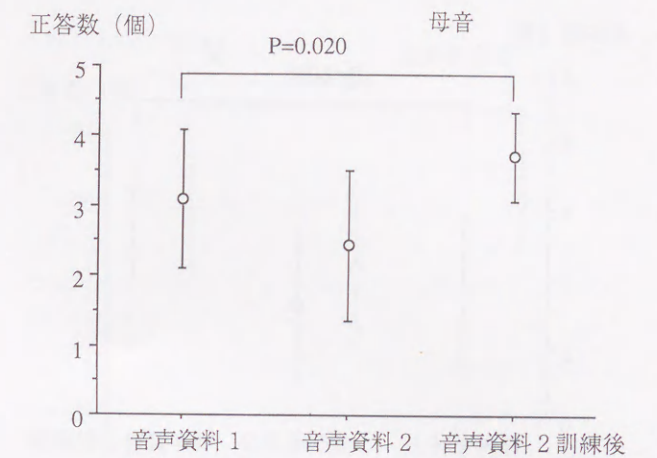


図11 /k/における聴能訓練前後での語音明瞭度

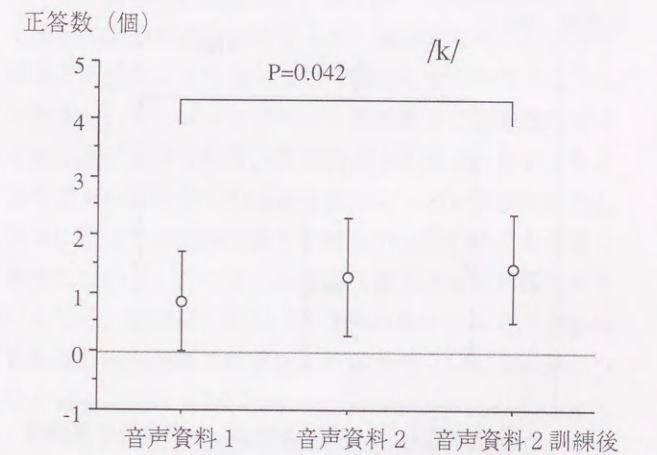


図12 /s/における聴能訓練前後での語音明瞭度

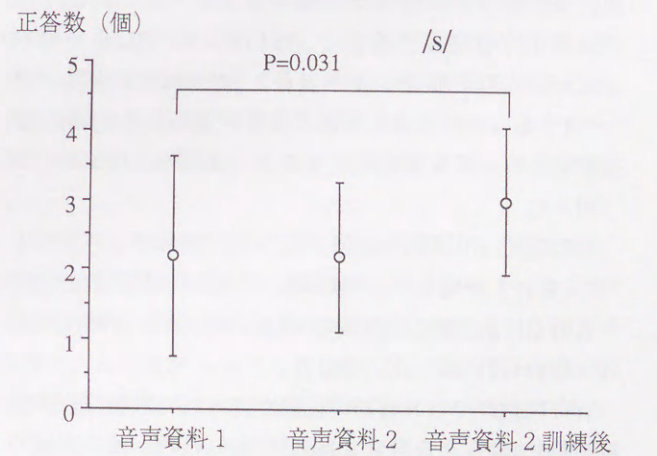


図13 /t/における聴能訓練前後での語音明瞭度

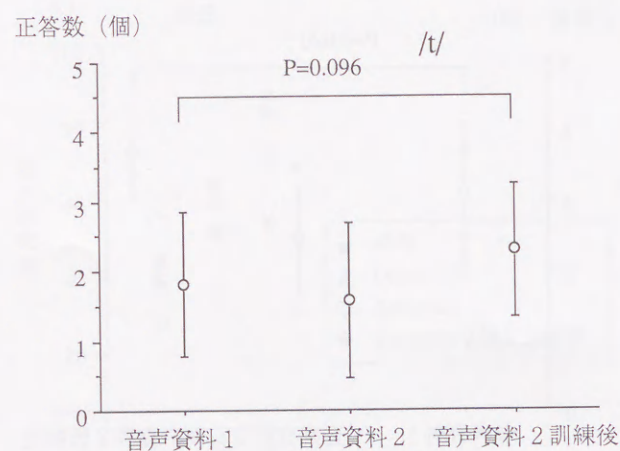
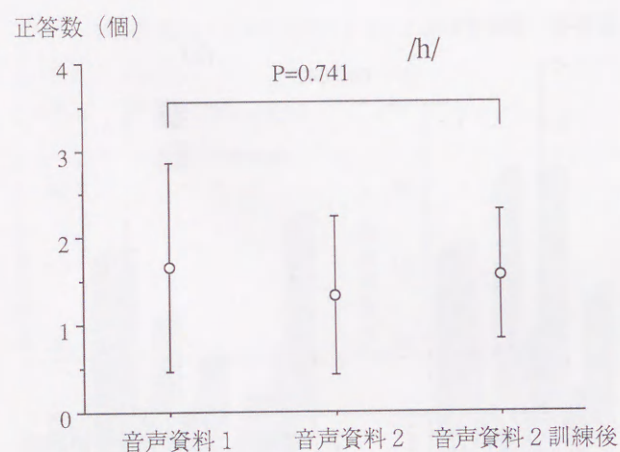


図14 /h/における聴能訓練前後での語音明瞭度



は音声資料1で0.5個音声資料2で0.4個であったのが聴能訓練の後音声資料2で0.9個とトランソニック装用前の成績より有意に上昇した(図15)。 $/m/$ では5音節中正解が得られた個数は音声資料1で2.6個音声資料2で2.3個であったのが聴能訓練の後音声資料2で2.5個と聴能訓練を行っても語音明瞭度の上昇は認められなかった(図16)。

半母音では9音節中正解が得られた個数は音声資料1で2.6個音声資料2で2.0個であったのが聴能訓練の後音声資料2で2.3個と聴能訓練を行っても語音明瞭度の上昇は認められなかった(図17)。

有声閉鎖音では8音節中正解が得られた個数は音声資料1で3.4個音声資料2で1.6個であったのが聴能訓練の

図15 /n/における聴能訓練前後での語音明瞭度

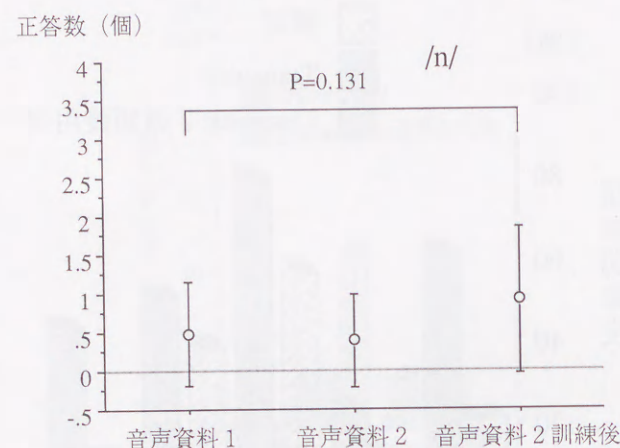
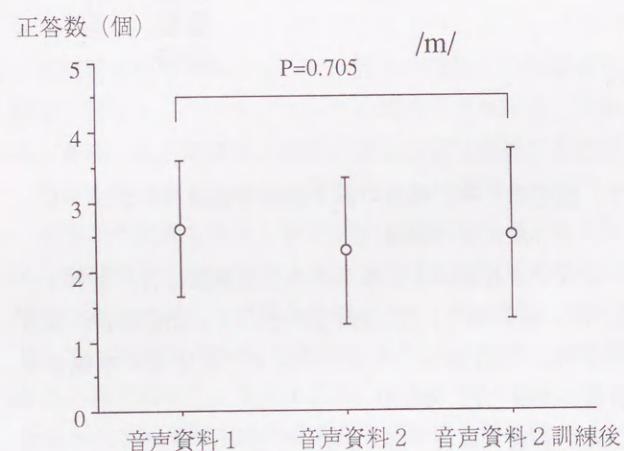


図16 /m/における聴能訓練前後での語音明瞭度



後音声資料2で2.2個と聴能訓練を行っても語音明瞭度の上昇は認められなかった(図18)。

57S語表中のすべての単音節(50個)では、正解が得られた個数は音声資料1で18.8個、音声資料2で15.0個であったのが聴能訓練の後、音声資料2で20.1個であった。トランソニック装用直後は語音明瞭度が低下していたが聴能訓練により、装用前の成績よりわずかに上昇した(図19)。

これらをまとめると、音声資料1に比しトランソニックを通して作成した音声資料2で聴能訓練を行うことにより語音明瞭度が有意に上昇したのは、母音、 $/s/$ 、 $/k/$ であり、わずかに上昇したのは $/t/$ 、 $/n/$ 、上昇しなかったのは $/h/$ 、 $/m/$ 、半母音、有声閉鎖音であった。57S

図17 半母音における聴能訓練前後での語音明瞭度

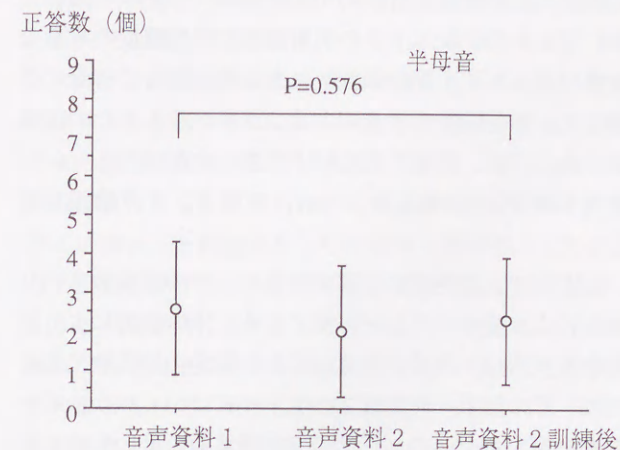
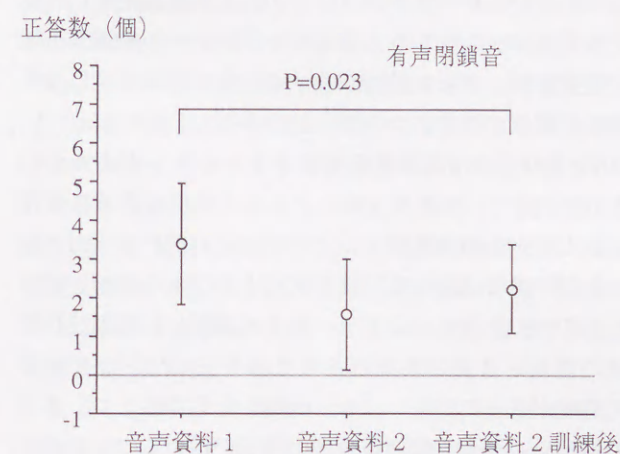


図18 有声閉鎖音における聴能訓練前後での語音明瞭度

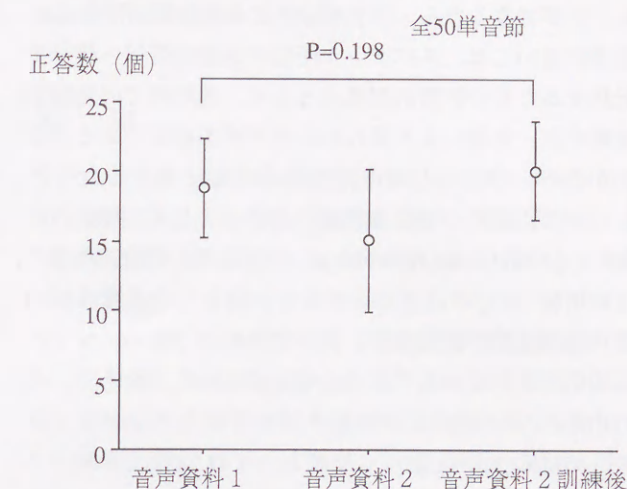


語表全体で見ると、わずかに上昇する結果となった。

考 察

一般に、高音急墜型感音性難聴者に対する補聴器の適合は困難であるとされてきた¹⁾。その理由の一つに、障害された高音域のみを増幅する補聴器が存在しないことがあげられる。小田ら^{12,13)}は高音急墜型感音性難聴のうち、特にオクターブ間の聴力低下が40dB以上の急峻な型を示す難聴をシャープカット型難聴と定義し、その病態は、歪語音明瞭度検査¹²⁻¹⁴⁾、自記オージオメトリー^{14,15)}、DLSI (difference limen for short increment) 検査¹⁴⁾の成績より、主として内耳の障害であると推察した。シャ-

図19 57S語表中の全ての単音節(50個)における聴能訓練前後での語音明瞭度



プカット難聴の特徴として、純音聴力の障害程度のわりに語音弁別能が良好であること、歪語音を用いた明瞭度検査で正常者よりも良いという報告がなされている。その理由として、シャープカット型難聴者の語音聴取がその聴力型に適合した周波数歪語音を基調としていること、さらにその条件下での日常生活によって正常者の使用し得ない語音弁別上の技術を習得しているためであろうと考察している。このように語音明瞭度が比較的保たれているため、補聴器の装用の必要性自体が少ないことも高音急墜型感音難聴に補聴器が装用されない理由のひとつである。

しかし高音急墜型感音難聴のなかでも、障害のある周波数が低くなり、聴取できる周波数帯域が狭くなると、語音明瞭度が急激に低下してくることが知られている²⁾。特に低音部のみに残聴のある症例に対しては、従来型補聴器を装用させても語音明瞭度の改善は得られないことが多い。その一つの理由として語音弁別のためには、その手がかりとなる情報(キュー: cue)を聴取することが必要であるが、広い周波数帯域に分布しているキューが部分的にしか聴取できなくなるためと考えられている²⁾。

そこで、一つの方法として、今まで聴取不可能であった高周波数帯域に含まれる情報を、周波数のスペクトル圧縮や¹⁶⁻¹⁹⁾、周波数の転移²⁰⁻²³⁾などの技術を用いて、残聴のある低音域へシフトさせることで語音明瞭度を改善する試みがなされてきた。周波数をシフトさせた場合には、キューそのものの周波数も変化し、それが語音弁

別のための手がかりとしての役割を果たすかどうかはわからない。もし、学習により、新たなキューとして捉えることができるなら、語音明瞭度の改善が期待される。過去においては、スペクトル圧縮や低周波帯域へ信号を転移するための技術的問題点として、実時間で処理が困難な点、処理により得られた音声不自然である点などがあり、ほとんど実用化されたことはなかった²⁴⁻²⁶⁾。

しかし、近年の補聴器技術の進歩は著しく、周波数圧縮²⁷⁾、VOT (voice onset time) の加工²⁸⁾、子音部強調²⁹⁾、圧縮増幅³⁾などの語音聴取改善を目的とした多種多様の音声処理技術が開発され、実用化されつつある。すでに、臨床応用されているデジタル補聴器もいくつかあり、その中の一つに周波数圧縮変換型補聴器トランソニック FT-40MK-2がある^{6,7)}。原理としては低周波帯域のスペクトルは圧縮せず、逆に高周波帯域のスペクトルを大きく圧縮することで低音部の残聴域にシフトするもので、非線形のスペクトル圧縮であり、低音部のみに残聴を有する感音性難聴者を対象として開発されたものである。神田ら¹⁰⁾は高音部聾の高音急墜型感音性難聴者9名につきトランソニックを適合し、カ、サ、タ行を中心とした子音の明瞭度が改善されたとしている。一方、M. Rossら⁸⁾、高橋ら⁹⁾は、低周波帯域にのみ残聴のある先天性感音難聴児に装着させるならば、聴覚の認識、言語獲得が期待され、この型の補聴器はある意味では従来の補聴器と人工内耳の中間に位置づけられるとしている。

本研究では言語獲得後の高音急墜型感音性難聴者3名を対象として、周波数圧縮変換型補聴器の装着前後に語音明瞭度検査を行い、その有効性や語音弁別能について検討を行った。その成績として、トランソニック装着直後は、従来の補聴器もしくは裸耳の明瞭度と同程度もしくは下回る成績しか得られなかったが、いずれの症例においてもトランソニック2週間の装着ののち、従来型補聴器もしくは裸耳における明瞭度を上回る成績が得られるようになった。トランソニック装着による聴能訓練で、主として無声子音、有声破裂音・摩擦音、鼻音などの明瞭度が改善された。しかし語音明瞭度が低すぎるため、症例2における福田らのビデオを用いた検討や症例3における57S語表による検討が不可能であった。

しかしながら、低音部のみに残聴のある感音性難聴者の頻度は少なく、このわずかな成績だけで、トランソニックの語音明瞭度に関する効果の判断を行うのは難しい。そこで、低音部のみに残聴のある感音性難聴者が普段聴いているであろう語音を作成し、正常者に聴取させ、そ

の語音明瞭度よりトランソニックの装着効果を推察する目的で今回の検討を行った。その結果、いずれの語音においてもトランソニックの装着直後では明瞭度の有意な改善は見られず、聴能訓練後にある種の語音で有意に改善した。語音明瞭度検査で有意な改善がみられたのは母音、/s/、/k/、有意ではないが改善したのは/t/、/n/、改善しなかったのは/h/、/m/、半母音、有声閉鎖音となった。

ところで、音声波の音響的特徴は、その周波数スペクトルにより表わすことが可能である。声帯振動により生じた音声波は、声道の共鳴により、特定の周波数で強められ、その結果、周波数スペクトルにはいくつかのピークが出現する。そのピークのうち周波数の低いものから順に第1フォルマント、第2フォルマント、第3フォルマント、第4フォルマントと呼ぶ。母音は第1フォルマントと第2フォルマントによって特徴づけられていると言われているが³⁰⁾トランソニックにより高周波域に存在する第3フォルマントと第4フォルマントが低周波帯域に変換され、さらに聴能訓練することで認識可能になり、語音明瞭度の改善につながったのかもしれない。/s/、/k/、/t/などの子音は高周波帯域にフォルマントがあるといわれており³⁰⁾、トランソニックにより低周波帯域に変換された音声を聴能訓練することで認識可能になったと思われる。鼻音は主として低音部にそのフォルマントが存在するが、小寺らによると、鼻音の識別には高周波数帯域の情報が必要であるとされており²⁾、今回/n/で語音明瞭度が有意ではないにせよ改善した理由として、鼻音の識別に必要な高周波数帯域の情報に加わるにより、その明瞭度が上昇したものと思われる。このように語音明瞭度の改善は、いずれもトランソニックにより、高音部に存在するキューが低音部に圧縮変換され、新たなキューとして認知できるようになったためであると推察される。

一方、聴能訓練前後で語音明瞭度が改善しなかったのは/h/、/m/、半母音、有声閉鎖音であった。/h/のフォルマントは他の無声子音と比較するとやや低い周波数帯域にあり、高周波帯域に含まれる情報が少ないためと思われる。半母音や有声閉鎖音は中低周波数帯域にフォルマントがある³⁰⁾ので訓練前後での語音明瞭度の改善が得られなかったものと思われる。このようにトランソニックにより、すべての語音で明瞭度の改善が得られるわけではなく、その効果は比較的限られた語音に有効であることが判明した。ただし、50音節全体としては改善した

成績が得られる結果となった。

また、低音部のみに残聴のある感音性難聴者の成績、正常人で難聴患者をシミュレートした成績ともに、トランソニック装着直後では語音明瞭度が低下するが、聴能訓練により改善することが判明した。低音部のみに残聴のある感音性難聴者3名に共通したトランソニック装着時の印象として、従来それぞれの患者が認識していた音声とは違い、圧縮処理をうけた音声を聴取することによる不快感を挙げていた。これは、患者の補聴器を装着しようとする意欲に反するものであるが、患者には圧縮処理した音声の中に重要な情報が含まれていることを説明することともに、装着し聴能訓練を行うことにより明瞭度が改善することを理解してもらい、訓練に対する意欲を高めることがトランソニックの効果を得るために大切であると思われる。

トランソニックは実用化されてまもなく、その訓練方法は未だ確立していない。このように、トランソニック装着には新たな音声を認識するための学習が必要であるから、そのための効果的な訓練方法の開発が必要である。また、技術進歩に伴い耳かけ型のトランソニックも開発されており、今後、ますます普及するものと予想される。

今回、正常者でシミュレートした難聴は、純音聴力域値の低下を実現したものである。実際の難聴患者では純音聴力域値の低下に加えて、周波数分解能、時間分解能などの低下を合併している。したがって正常者で実際の難聴を完全に実現することは困難である。

しかしながら、今後次々と新しく開発されるであろう補聴器が、どのような患者にどの程度有効かを検討する場合には、患者を対象とするなら、たとえ同じオーディオグラムを有する患者がいたとしても、その周波数分解能、時間分解能まで全く同じというものは存在しないであろう。したがって、患者を対象とした補聴器の効果の検討は、その患者においてのみ成立するものと考えられる。一方、正常者でシミュレートした難聴は、同程度の難聴を多数再現することが可能であり、補聴器の効果を検討するという目的では、有用な対象となりうる。補聴器の開発段階においても、正常者でシミュレートした難聴を対象とすることで、その効果の検討が容易に行えると思われる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました徳

島大学医学部耳鼻咽喉科学教室小池靖夫教授、ならびに御指導、御助言を頂きました石谷保夫前助教授、中村克彦助教授に深謝致します。

文 献

1. 小寺一興：補聴器の適応。コミュニケーション障害 (野村恭也, 本庄巖, 廣瀬肇 編), 耳鼻咽喉科・頭頸部外科MOOK, No. 4, 金原出版, 東京, 1987, pp. 199-207
2. 小寺一興, 堀内美智子：急墜型感音性難聴患者の語音弁別。Audiology Japan, 38: 298-304, 1995
3. 設楽仁一, 小寺一興, 鈴木真澄：デジタル圧縮による子音異聴の改善。Audiology Japan, 39: 284-290, 1996
4. 設楽仁一, 小寺一興, 鈴木真純, 三浦雅美：デジタル補聴器における伸長増幅の検討。Audiology Japan, 37: 177-182, 1994
5. 高坂知節, 曾根敏夫：クレイダ型完全デジタル補聴器について。日本聴覚医学会第17回補聴研究会資料: 23-33, 1994
6. Rosenhouse, J.: The frequency transposing hearing aid: a new prototype. J. Hearing, 42: 14-15, 1989
7. Rosenhouse, J.: A new transposition device for the deaf. J. Hearing, 43: 20-25, 1990
8. Penn-Davis, W., and Ross, M.: Pediatric experiences with frequency transposing. Hearing Instruments, 44: 26-32, 1993
9. 高橋真由美, 高橋信雄, 伊丹永一郎：周波数圧縮変換型補聴器の幼児への適用とその効果。Audiology Japan, 39: 385-386, 1996
10. 神田幸彦, 小林俊光：成人における高音部聾に対する補聴器。Audiology Japan, 39: 615-616, 1996
11. 福田由美子：ビデオを用いた人工内耳埋め込み患者の音声知覚評価のための音声・口形材料とその試用。電子情報通信学会, 音声研究会 SP87-73, 15-20, 1987
12. 小田恂, 中村賢二, 佐藤恒正, 設楽哲也 他：シャープカット型難聴に関する臨床的研究。(第3報), Audiology Japan, 12: 341-342, 1969
13. 小田恂：シャープカット型難聴の臨床的研究。日耳鼻, 76: 468-484, 1973
14. 細井裕司, 今泉敏, 阿部博香, 玉木克彦 他：シャープカット型感音難聴。耳鼻, 28: 1052-1058, 1982

15. 服部浩：シャープカット型難聴について. 耳鼻臨床, 70 : 695-702, 1977
16. 倉内紀子, 米本清, 真鍋敏毅, 小山智史 他：聴覚障害者における周波数圧縮音声の効果について. 音響学会音声研資 S85-84, 655-662, 1986
17. 真鍋敏毅, 米本清, 木場興次, 立石恒雄 他：感音性難聴患者における周波数圧縮語音理解度. 耳鼻と臨床, 29 : 693-699, 1983
18. 関本荘太郎, 齊藤收三：補聴器のための周波数圧縮音声の明瞭度特性. 日本音響学会誌, 41 : 841-849, 1985
19. Bennett, D.N., and Byers, V.W. : Increased intelligibility in the hypacusic by slow-play frequency transposition. J. Auditory Research, 7 : 107-118, 1967
20. Johansson, B. : The use of the transposer for the management of the deaf child. J. Int. Audiol., 5 : 362-372, 1966
21. Ling, D. : Three experiments on frequency transposition. Ame. Ann. Deaf., 113 : 283-294, 1968
22. Guttman, N., Levitt, H., and Bellefleur, P.A. : Articulatory training of the deaf using low-frequency surrogate fricatives. J. Speech and Hearing Research, 13 : 19-29, 1970
23. Rees, R., and Velmans, M. : The effect of frequency transposition on the untrained auditory discrimination of congenitally deaf children. British J. Audiology, 27 : 53-60, 1993
24. Johansson, B. : A new coding amplifier system for the severely hard of hearing. Proceedings of the 3rd International Congress on Acoustics, (Stuttgart, 1959), 655-657, 1961
25. Ling, D. : Auditory discrimination of coded speech by deaf children. Ph.D. Dissertation, Institute of Otolaryngology, McGill University, Montreal, 1968
26. Foust, K.O., and Gengel, R.W. : Speech discrimination by sensorineural hearing-impaired persons using a transposer hearing aid. Scandinavian Audiology, 2 : 161-170, 1973.
27. 坂本真一, 後藤克彦, 館野誠, 加我君孝 : PARCOR分析・合成系を用いた周波数圧縮型デジタル補聴器の開発. Audiology Japan, 40 : 371-372, 1997
28. 加藤弓子, 林治博, 松永亨, 大山玄 : 感音難聴における日本語加工単音節に対する異聴の分析. Audiology Japan, 34 : 779-785, 1991
29. 新井雅之 : 聴取能改善のための単音節音声加工に関する研究. 日耳鼻, 97 : 1494-1503, 1994
30. 越川常治 : 音声の物理. (三浦種敏 編) 新版聴覚と音声, 電子情報通信学会, 東京, 1980, pp. 241-396

Effectiveness of a frequency transposing hearing aid

Hironori Masuda

Department of Otorhinolaryngology, The University of Tokushima School of Medicine, Tokushima
(Director : Prof. Yasuo Koike)

SUMMARY

The effectiveness of a frequency transposing hearing aid (Transonic) was investigated in three patients with severe sensorineural hearing loss and 21 normal controls. All the patients had residual hearing only in low frequency. Severe middle-high frequency sensorineural hearing loss model was reproduced in the 21 normal controls. Little improvement was seen in the articulation scores of these patients and the 21 controls at the first use of Transonic. However, after two weeks auditory training, significant improvement was seen in some speech sounds. In the three patients, the articulation scores of voiceless consonants, in particular /s/, voiced plosives, voiced fricatives and nasal sounds were improved. In the controls, the articulation scores of vowels and consonants such as /s/, /k/, /t/, /n/ were improved. Improvements in articulation scores by this type of training could be explained as follows: with the use of Transonic, speech cues in the high frequency area were transposed to new recognizable cues in the low frequency region.

Sensorineural hearing loss model in normal controls was not the same as actual sensorineural hearing loss, but it was possible to experimentally induce comparable deafness in many individuals. As a result, they could serve as good subjects when investigating the effectiveness of hearing aids.

Key words : sensorineural hearing loss, auditory training, frequency transposing hearing aid, articulation score, speech cue.



論文審査結果の要旨

報告番号	甲医第614号	氏名	増田博範
審査委員	主査	小池靖夫	
	副査	森田雄介	
	副査	永廣信治	

題目 周波数圧縮変換型補聴器の効果について

著者 増田博範

平成10年12月25日発行 四国医学雑誌 第54巻 第6号
375～385ページに発表済

要旨

近年、電子計算機技術の急速な進歩を背景に、伸長増幅や圧縮増幅を行う補聴器や、ラウドネス補償関数に基づくデジタル処理を行う補聴器など、新しい原理に基づく補聴器が次々と開発されている。周波数圧縮変換型補聴器（AVR社製FT-40 MK-2、TRANSONIC：FT）もその一つであって、低周波帯域のスペクトルは圧縮せず、高周波帯域のスペクトルを大きく圧縮し、低音部はそのまま、高音部のみを低音部の残聴帯域にシフトする、いわゆる非線形スペクトル圧縮の原理に基づく補聴器である。

この型の補聴器は、従来型の補聴器では補聴器適合が極めて困難であった、低音部にのみ残聴を持つ感音性難聴者を対象として開発されたものである。先天性感音難聴児に装着させると、聴覚的認識ならびに言語獲得の観点からは、従来の補聴器と人工内耳の中間に位置づけられるという報告や、後天性難聴者において無声子音の語音明瞭度の改善が認められたという報告はあるが、実際には、難聴者に対するFT補聴効果の評価は一定していない。

そこで著者は、FTの補聴効果を確認するため、低音部にのみ残聴のある感音性難聴者3症例に対してFTを装着させ、語音の種類別に明瞭度の検討を行っている。低音部のみに残聴のある感音性難聴者の頻度は極めて低く、著者の所属する機関では過去3年間に遭遇できた症例はこの3例のみである。当然、低音部のみに残聴のある感音性難聴者を数多く揃えてFTの効果を確認することは不可能に近い。そこで著者は、健常者21例において、低音部のみに残聴のある感音性難聴を、低域濾波器を用いてシミュレートし、FTの使用が、どの程度難聴シミュレート群の語音明瞭度の改善に役立つかも検討している。

その結果、患者群および難聴シミュレート群ともに、FT装着直後では語音明瞭度の改善が得られなかったが、FT装着下での訓練により、各群とも一部の語音で著明な明瞭度の改善を認めたとしている。即ち患者群においては、無声子音（とくに/s/）、鼻音（とくに/n/）、等の語音で、またシミュレート群でも、母音、/s/、/n/、/k/等の語音で改善が著しかったとしている。

この研究は、従来補聴器適合が極めて困難であった低音域残聴感音難聴者に対するFT装着の効果を確認する一方、語音聴覚機構解明のためにも一つの示唆を与えたものであり、学位授与に値すると判断された。

