

研究概要報告書

(1/3)

研究題目	骨導超音波知覚を利用した最重度難聴者のための耳鳴マスキング法の検討	報告書作成者	中川誠司
研究従事者	中川誠司		
研究目的	<p>高齢化の進展に伴って難聴者の数は増加する傾向にあるが、難聴には耳鳴が伴うことが多い。一般に甲高い音として知覚される耳鳴の不快感は高く、難聴者の QOL を大きく損なうもう一つの要因となっている。耳鳴のメカニズムには不明な点が多く、決定的な治療方法は存在しない。しかしながら、耳鳴を少なくとも一時的に低減させる有効な手段として、強大雑音を一時的に、もしくは微小雑音を継続的に聴取させることで耳鳴を抑えるマスキング法がある。しかし、通常の補聴器を使用しても聴覚が得られないほどの重度感音性難聴者(日本国内に約 85,000 人)にはマスキング法が使用できない。難聴が重篤になるほど耳鳴症状も悪化するため、重度難聴者のための有効な耳鳴低減法が求められている。</p> <p>一方、骨導(振動子を頸部・頭部に接触させて音を聞く方法)で呈示された周波数 20,000 Hz 以上の超音波であれば、聴覚健常者はもとより、重度難聴者であっても知覚することができる。1999 年、我々は、骨導超音波が重度難聴者にも聴覚として知覚可能であることを世界で初めて客観的に証明した。また、聴覚心理学的手法、生理学的手法、および工学的手法を用いた骨導超音波の知覚特性および知覚メカニズムの解明と、これらの研究成果を生かした重度難聴者のための新型補聴器(骨導超音波補聴器)の実用化開発に取り組んできた。これまでに、骨導超音波知覚の特性、メカニズムに関する数々の重要な知見を見いだしている。また、現在のところ、開発された骨導超音波補聴器を用いて、重度難聴者の半数が何らかの音声を知覚可能、3 割が簡単な単語の理解が可能という画期的な成果をあげている(Nakagawa et al., 2006)。</p> <p>骨導超音波であれば重度感音性難聴者にも容易に知覚されることがあるため、重度難聴者の耳鳴治療に有効であると考えられる。本研究提案では、申請者がこれまで行ってきた骨導超音波知覚研究の成果を生かした骨導超音波耳鳴マスキング装置の開発を最終目的とし、そのための基礎的検討および耳鳴マスキング装置の試作を行った。</p>		

研究内容	<ol style="list-style-type: none">1. 骨導超音波の知覚特性の研究 聴覚心理学的手法および神経心理学手法(脳磁界計測)を用いて重度難聴者の耳鳴の特性(ピッチ(主観的な音の高さ), ラウドネス(主観的な音の大きさ), 持続時間など)を調べた。なお, 実験にあたっては, 市立吹田市民病院の協力があった。2. 骨導超音波耳鳴マスキングの試作 1, 2 のデータをもとに最適化された骨導超音波耳鳴マスキングの試作を行った。試作にあたっては, 申請者らが既に関与した携帯型骨導超音波補聴器(Nakagawa et al., 2006)のハードウェアを利用し, ソフトウェアを書き換えることで耳鳴マスキングとしての最適化を行った。3. 骨導超音波耳鳴マスキングの評価 重度感音性難聴者3名(男性1名, 女性2名, 42-59歳, 聴力は全員が両側で90dB以上)を対象とした評価試験を行った。被験者には骨導超音波耳鳴マスキングを60日間貸与し, 30日ごとの主観的症狀の変化をアンケート, Visual Analogue Scale (VAS) およびTinnitus Handicap Inventory (THI)で評価した。
------	---

研究概要報告書

(3/3)

<p>研究のポイント</p>	<p>骨導超音波知覚現象そのものに関しては、いくつかの先行研究例がある。1980年代には米国、日本などのいくつかの機関が研究を行っており、その知覚メカニズムに関するいくつかの仮説が提案された。1990年代末からは、申請者らにより、聴覚心理学的手法、神経生理学的手法、工学的手法を統合的・相補的に駆使した研究が行われており、その知覚特性やメカニズムが明らかにされつつある。しかしながら、継続的に研究を行っている機関は申請者の以外には存在しない。</p> <p>また、申請者らは、骨導超音波を利用した重度難聴者用の新型補聴器(骨導超音波補聴器)の開発を進めてきた。その過程で、被験者として参加した重度難聴者の方々から、“骨導超音波補聴器による聴取後は耳鳴りが収まる”という声が多く聞かれていた。本研究では、これまでの申請者らの骨導超音波知覚研究で得られたノウハウを生かして、耳鳴りマスキングの開発を行うものである。</p>
<p>研究結果</p>	<p>耳鳴りマスキングを設計するうえで不可欠な骨導超音波の基礎的知覚特性(ピッチ、ラウドネスバランス、ダイナミックレンジ)を調べた。また、これらの結果を参考にして、耳鳴りマスキングを開発した。開発にあたっては、既に申請者らが試作していた骨導超音波補聴器のハードウェアを利用した。さらに、耳鳴りを訴える重度難聴者を対象とした評価実験の結果、比較的短期間の使用にも関わらず、有意な耳鳴り低減効果が見られた。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>評価実験では有意な耳鳴り低減効果が見られているものの、確固たる効果を証明するためには、より多数の被験者を用いた長期間にわたる実験が不可欠である。また、骨導超音波知覚は、末梢機構において通常の聴覚とはやや異なるメカニズムを有すると考えられる。今回の実験で見られた耳鳴り低減効果が、気導音による従来の手法によるものと同様のメカニズムに由来するものなのかは不明である。今後の継続的な検証が不可欠であると考えられる。</p>

(1) 骨導超音波のピッチ

骨導超音波の聞こえの基本的特性を知るために、骨導超音波のピッチを推定した。

方法:

20 kHz から 36 kHz までの正弦波骨導音について、ピッチが等しくなる気導音周波数を推定した。周波数を固定した骨導音 (duration 250 ms, rise/fall 10ms), 比較刺激となる気導音 (duration 250 ms, rise/fall 10ms) を交互に呈示し、両者のピッチが等しくなるように被験者自らに気導音周波数を調整させた (このときの気導音同音周波数を骨導超音波のピッチを定義することにする)。被験者は聴覚健常者 10 名で、実験は無響室内で行われた。骨導音は圧電セラミック振動子を介して左右どちらかの側の乳様突起部に、気導音はヘッドホンで骨導音と同側に呈示された。

結果:

下図に結果 (各被験者の値, および平均値) を示す。各図の横軸は骨導音の周波数、縦軸は刺激の出力レベルを表す。超音波周波数領域では、ピッチは周波数によらずほぼ一定値をとることがわかる。平均値は 13.52 kHz であった。



Fig. 1-1 骨導音の呈示

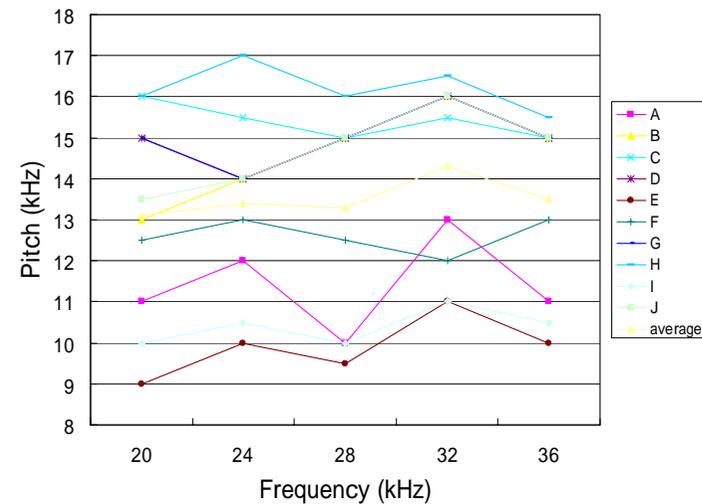


Fig. 1-2 骨導超音波のピッチ

(2) 骨導超音波のラウドネスバランス

骨導超音波の聞こえの基本的特性を知るために、骨導可聴音とのラウドネスバランス検査を行った。

方法：

13 kHz から 30 kHz までの 1 kHz 毎の正弦波骨導音について、最小可聴値と、30 kHz の骨導超音波の 5 dBSL と 10 dBSL の感覚レベルに等しいラウドネスレベルを測定した。最小可聴値は、刺激レベルを 3 down 1 up 変形上下法により適応的に変化させ、二つの無音区間と一つの目的音で構成された三区間三肢強制選択により求められた。ラウドネスレベルの測定は、基準となる 30 kHz の骨導超音波と、目標となる骨導音とを交互に聴かせ、被験者自らが目標音のレベルを調整して等しいラウドネスレベルに合わせる調整法を用いた。被験者は正常な聴力を有する男性 3 名で、実験は無響室内で行われた。骨導音はいずれも圧セラミック振動子を介して、左右どちらかの側の乳様突起部に提示された。振動子の出力レベルはアッテネータ(Tucker Davis Technologies PA5)により制御された。骨導超音波の感覚レベルは、振動子の提示場所や押し付け圧力の僅かな違いによって影響を受けるため、実験の度に 30 kHz の骨導超音波の最小可聴値を測定し、日時を換えて行われた測定値間の整合をとるための基準とした。

結果：

被験者 A, B, C の測定結果を示す。各図の横軸は骨導音の周波数、縦軸は刺激の出力レベルを表す。0 dBSL と明記されたグラフは各骨導音の最小可聴値を実線で結んだものである。5 dBSL および 10 dBSL のグラフはそれぞれ、30 kHz の骨導超音波をその最小可聴値から 5 dB および 10 dB 上げた時のラウドネスと同等に知覚される各骨導音の刺激レベルを実線で結んだものである。被験者 A は 3 回、被験者 B と C は 2 回の測定を平均した。なお、振動子の共振特性に応じた補正を施すことで出力レベルを推定している。骨導超音波における 5 dB のラウドネス上昇は、骨導可聴音においては 15 dB 程度になることがわかる。

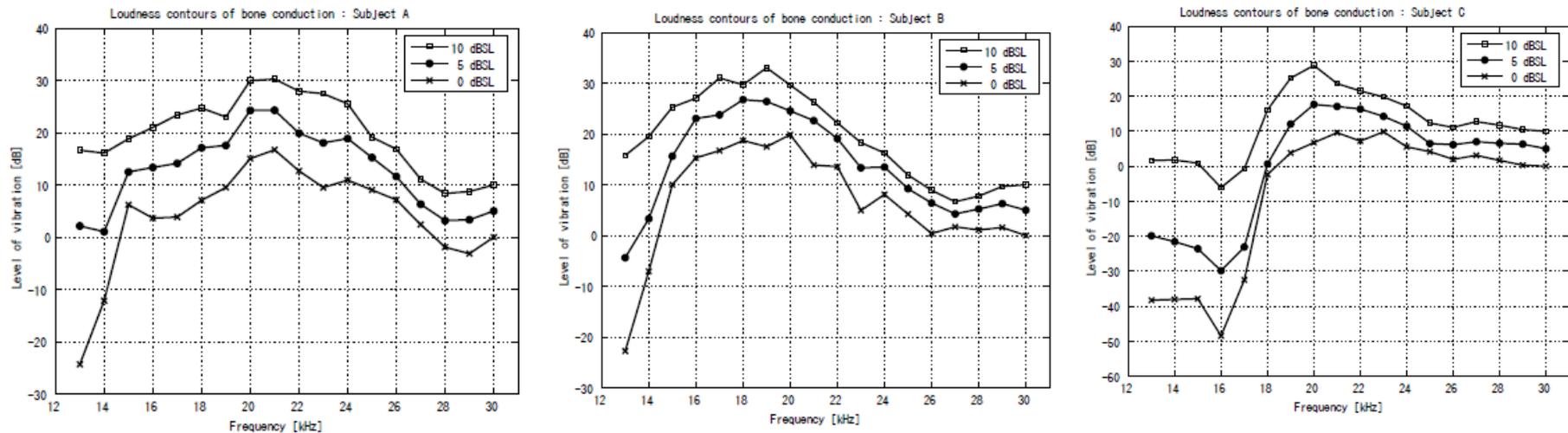


Fig. 2-1 骨導音の等ラウドネス曲線

(3) 骨導超音波耳鳴マスキングの試作と評価

これまでの知見を踏まえて、骨導超音波耳鳴マスキングを試作し、その性能を評価した。

• ハードウェア

申請者らが既に関与した携帯型骨導超音波補聴器 (Nakagawa et al., 2006) のソフトウェアを書き換えることで、骨導超音波耳鳴マスキングを開発した。装置の外観、内部回路図を下に示す。本体サイズは 64 * 118 * 24 mm, 重量は 178 g である。

• マスキング出力

以下の信号出力が可能である。

- ✓ 22-37kHz の正弦波骨導音
- ✓ 22-37kHz に中心周波数を持つ 1/3 オクターブバンドノイズ
- ✓ 被験者の耳鳴等価周波数を持つ正弦波によって、22-37 kHz の正弦波骨導音を振幅変調したもの。

• 出力制限

誤って過剰な強大音の呈示を避けるため、22-37 kHz 骨導音の刺激閾音圧の 10 倍 (20 dB)の値に出力制限を施した。



Fig.3-1 骨導音の等ラウドネス曲線

• 評価試験

重度感音性難聴者3名(男性1名,女性2名,42-59歳,聴力は全員が両側で90dB以上)を対象とした評価試験を行った。

方法:

被験者には骨導超音波耳鳴マスキングを60日間貸与し、30日ごとの主観的症候の変化を評価した。最初の10日間は30分/日程度、徐々に使用時間を延ばして、最終的には一日6時間程度の使用を目標とするように教示してある。

なお、実験開始前に、各被験者が最も知覚しやすい(刺激閾が小さい)骨導超音波正弦波の周波数を選択させたうえで、その中心周波数を持つ1/3オクターブバンドノイズをマスキング音として使用した。

以前の研究から、骨導超音波のダイナミックレンジは20dB程度とかなり小さく、小さな音圧上昇が大きなラウドネス変化を生じさせることがわかっている(参考資料のP4を参照)。そのため、マスキング音圧は 1 dB SL を目安に、被験者が不快に感じない程度に設定した。

被験者の耳鳴改善度は、アンケート、Visual Analogue Scale (VAS)およびTinnitus Handicap Inventory (THI)で評価した。アンケートでは5段階評価で主観的改善度を評価させた。

結果:

アンケート、Visual Analogue Scale (VAS)およびTinnitus Handicap Inventory (THI)とも、有意な耳鳴改善効果を示した。

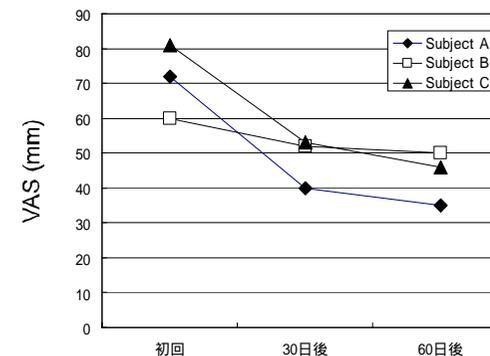


Fig.3-2 VASの経時変化。値が大きいほど不快度が高いことを示す

骨導超音波とは

骨伝導で呈示された周波数 20kHz 以上の超音波のこと。一部の重度感音性難聴者にも知覚される (Lenhardt et al., 1991)。申請者らは、脳磁界計測を用いて、骨導超音波知覚時に重度感音性難聴者であっても聴覚野が活動することなどを示した(図 2, Hosoi et al., 1998, Nakagawa et al., 1999)。

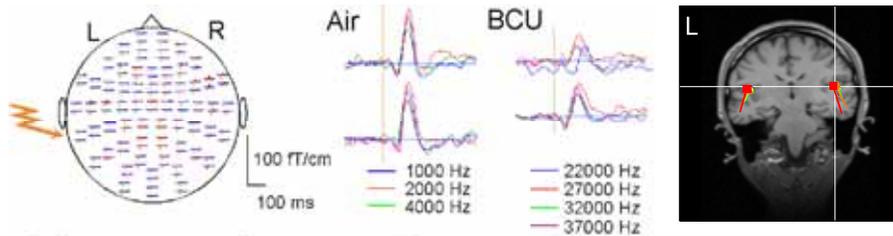


図 4-1 骨導超音波(BCU)および気導音(Air)による誘発脳磁界計測の結果。その活動源は共に横側頭回(聴覚野)に推定された。

骨導超音波の知覚特性とメカニズム

骨導超音波は、気導音には見られない特異な知覚特性を有している。以下に代表的なものを示す。

- 骨導超音波の聴覚ダイナミックレンジは 20 dB 程度しかなく、高周波可聴音のそれとくらべても極端に小さい(図 3, Nakagawa et al., 2002, Nishimura and Nakagawa, 2003)。
- 骨導超音波は 10-15 kHz の気導可聴音をマスクする(図 4, Nishimura and Nakagawa, 2003)。しかし、骨導超音波は気導音によってはほとんどマスクされない(藤坂, 中川ら, 2004)。
- 骨導超音波の音像は、刺激呈示の対側に定位されることもある(Nakagawa et al., 1999, Sakaguchi et al., 2002)。
- 骨導超音波によって重度難聴者でも聴性脳幹反応, 聴性中間潜時反応が記録される(中川ら, 2004)。

骨導超音波補聴器

申請者らが開発した携帯型骨導超音波補聴器。音声で振幅変調された約 30kHz の超音波が骨導で呈示される。音声信号処理, 変調方式に、骨導超音波知覚特性に基づいた最適化が施されている。開発された骨導超音波補聴器を用いて、重度難聴者の半数が何らかの音声を知覚可能, 3 割が簡単な単語の理解が可能であった(中川, 今泉, 2003)。



図 4-2 携帯型骨導超音波補聴器

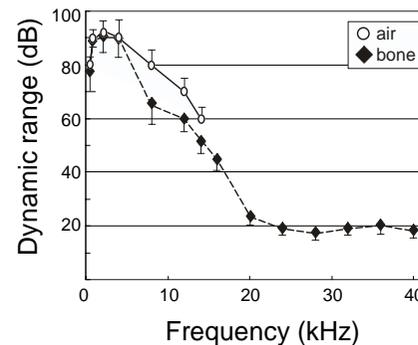


図 4-3 骨導音()と気導音()の周波数と聴覚ダイナミックレンジの関係。

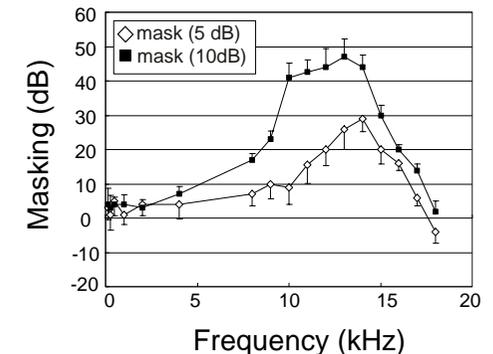


図 4-4 30 kHz 骨導超音波(5 および 10 dB SL)が気導音に及ぼすマスクング効果。