



骨導超音波知覚の解明と 新型補聴器への 応用に関する研究

骨伝導と超音波を利用した重度難聴者用補聴器

中川 誠司

独立行政法人産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門
主任研究員

研究の背景

通常の補聴器を使用しても聴覚が得られない重度感音性難聴者は日本国内に約85,000人存在する。重度難聴者に残された聴力回復のための唯一の手段は人工内耳であるが、必ずしも満足できる性能を有しているとは言えない。その上、皮下への埋め込み手術を必要とするため、その使用を躊躇する難聴者も多い。重度難聴者の聴力回復を可能にする、より簡易な手段が求められている。

一方、骨伝導(骨導)で呈示された周波数20,000Hz以上の高周波(骨導超音波)であれば、聴覚健全者はもとより[1]、重度感音性難聴者であっても知覚することができる[2]ことが報告されている。しかしながら、その知覚メカニズム、つまりは“聞こえないはずの超音波が聞こえる理由”、“重度難聴者でも聞こえる理由”が全くと言っていいほど解明されていなかったため、その

存在自体に否定的な見解を示す研究者も多かった[3]。さらに、骨導超音波知覚を聴覚ではなく振動覚とする意見も根強く存在していた。

研究の成果

我々はまず、客観的指標を用いた骨導超音波知覚の証明に取り組んだ。その後は、心理指標の観察が可能なヒトを対象とした実験を研究の中心に据え、心理現象と非侵襲的計測(脳磁界計測、脳波計測、末梢神経電位計測、PETなど)によって得られた神経生理データとの対比によってそのメカニズムに取り組んできた。また、この現象を応用した重度難聴者のための補聴器(骨導超音波補聴器)の開発を行っている。研究開発の概要は以下ようになる。

1. 骨導超音波知覚現象の証明

脳磁界計測を用いて、重度感音性難聴者であっても骨導超音波聴取によって大

脳皮質聴覚野が活動すること、すなわち骨導超音波知覚が聴覚の一種であることを世界で初めて確認した(図1)[4,5]。また、重度難聴者であっても異なる音声で振幅変調した骨導超音波を区別できることを客観的に証明した[5]。このことは、骨導超音波を利用した重度難聴者用の補聴器(骨導超音波補聴器[6,7]、図2)の開発の可能性を示す成果となった。

2. 骨導超音波知覚特性の検討

骨導超音波は通常の空気の振動として知覚される音(気導音)とは異なる知覚特性を有しており、それらの解明は骨導超音波補聴器の最適化に必須である。心理計測によって、種々の骨導超音波の知覚特性を明らかにしてきた[5,8,9]。また、コンピュータ・シミュレーションやファントム計測によって骨導超音波の頭部内伝搬過程を解明した[10,11]。

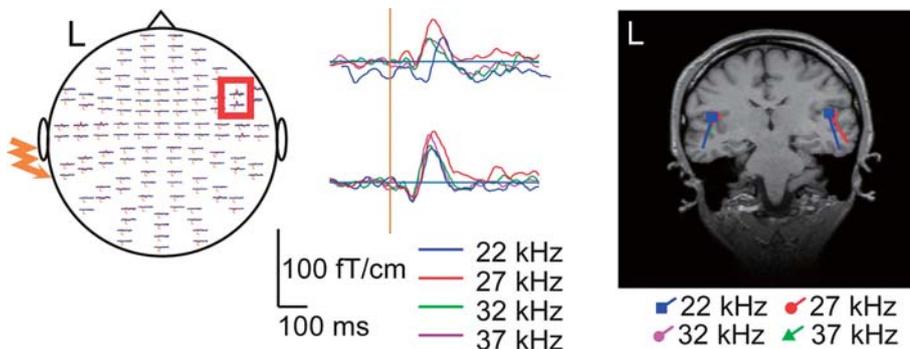


図1 骨導超音波知覚に伴って観察された聴覚誘発脳磁界反応(左)と大脳聴覚野活動(右)。骨導超音波に対しても、通常の音(気導音)と同様の聴覚野の活動が観察された。

3. 骨導超音波知覚の 神経生理メカニズムの検討

神経生理メカニズムの解明は骨導超音波知覚の理解という点において、骨導超音波補聴器の適用基準(どのようなタイプの難聴の補聴が可能なのか)の決定にも不可欠である。脳磁界計測や脳波計測を用いて、骨導超音波知覚に対する聴覚中枢神経系の関与を明らかにした[4, 5, 12, 13]。さらに、末梢電気生理計測や音響生理計測と心理計測を併用することによって、骨導超音波知覚には蝸牛が明確に関与しているもの、蝸牛内に生じる基底膜振動や有毛細胞興奮の様式には、気導音との差異が存在することを世界で初めて示した[14]。

4. 骨導超音波知覚を利用した 新型補聴器の開発

骨導超音波の知覚特性や神経生理メカニズムに関する研究成果を利用して、骨導超音波補聴器の開発に取り組んでいる[6, 7]。これまでに明らかにされた骨導超音波知覚特性に即した、独特な音声信号変換機能(音程変換、周波数圧縮など)が搭載されている。試作器を用いた聴取試験では、重度難聴者の約半数が音声を知覚可能、約2割が簡単な単語の同定可能



図2 試作された骨導超音波補聴器。音声で振幅変調された超音波が骨導呈示される。フルデジタル方式による柔軟かつ高度な信号処理機能と、胸ポケットに収まる程度の実用的な小型化を実現している。

という画期的な成果を得ることができている[7, 15]。なお、骨導超音波知覚の研究成果は、耳鳴遮蔽器、骨伝導方式の対騒音特性の高さを生かしたインターフェース、歯科治療時の切削音の低減装置などへも応用が図られている。

研究開発の意義と今後の展望

骨導超音波補聴器の実用化によって、重度難聴者のQOL向上や社会進出促進が期待される。重度難聴者にとっては、人工内耳にならぶ選択肢となると思われる、関連研究者や難聴者からの注目も大きい。

また、骨導超音波補聴器の普及は、国内の医療・福祉産業の育成を伴う可能性もある。重度難聴者を対象とした補聴技術産業としては前述の人工内耳が挙げられるが、そのシェアはオーストラリア、米国の2社にほぼ独占されている。重度難聴者を対象とするため市場人口が大きいとは言えないが(全世界で500万人程度)、その費用

の大半が政府、地方公共団体の補助によってまかなわれる可能性が高いことを考慮すると、安定した需要を見込むことができる。今後、我が国が目指すべき高付加価値型のオーダーメイド産業であり、販売後のメンテナンスもが産業となりうることを考慮すると、有望な産業分野であるということができる。現在、補聴器メーカーなどとの提携のもと、ごく近い将来の製品化を目指した開発が進められている。

さらに、骨導超音波知覚メカニズムの研究成果は、一般的な聴覚機構の解明にも有用である。超音波周波数であるのに知覚されている点、重度感音性難聴者にも知覚されるといった点はもとより、骨導超音波知覚は周波数がピッチ(主観的な音の高さの感覚)と一致しないといった点で、極めて特異な聴覚現象である。骨導超音波知覚現象の解明は、ヒト聴覚の持つ知られざる機能そのものの理解につながるものとして、大きな注目を集めている。

References (参考文献)

- [1] Gavreau, Comput. Rendu. (1948)
- [2] Lenhardt et al., Science (1991)
- [3] Dobie and Wiederhold, Science (1992)
- [4] Hosoi et al., The Lancet (1999)
- [5] Nakagawa et al, Tech. Rep. IEICE (1999)
- [6] 中川、今泉、日本音響学会誌 (2003)
- [7] Nakagawa et al., Trans. Jpn. Soc. Med. Biol. Eng. (2006)
- [8] Nishimura, Nakagawa et al, Hearing Res. (2003)
- [9] Nakagawa and Fujimoto, Hearing Res. (2005)
- [10] Sakaguchi et al., Japanese Journal of Applied Physics (2002)
- [11] Fujisaka and Nakagawa, Journal of Computational Acoustics (2006)
- [12] Nakagawa et al., NeuroImage (2000)
- [13] Nakagawa and Tonoike, Unveiling the Mystery of the Brain, ICS1278, Elsevier (2005)
- [14] S. Nakagawa and A. Nakagawa, Proceedings of the Intl. Congress of Acoustics (2007)
- [15] Okamoto, Nakagawa, et al., Hearing Res. (2005)