

機関番号：24601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：平成 20～22 年度

課題番号：20791217

研究課題名（和文） 骨導超音波を用いた補聴器システムの評価と臨床導入

研究課題名（英文） Development of a bone-conducted ultrasonic hearing aid

研究代表者

西村 忠己 (NISHIMURA TADASHI)

奈良県立医科大学・医学部・助教

研究者番号：60364072

研究成果の概要（和文）：最重度難聴者のための骨導超音波補聴器の開発を行うため、骨導超音波の知覚メカニズムの解明と言語音で超音波を変調し骨導で伝えることでどの程度の明瞭度が得られるかを評価した。その結果骨導超音波の末梢の知覚器官は蝸牛であり、骨導超音波そのものが蝸牛の基底回転を刺激することで聞こえていることが分かった。明瞭度については視覚情報を併用することで良好な結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：To develop a bone-conduction ultrasonic hearing aid for profoundly deaf individuals, its perception mechanism was elucidated, and the speech recognition of speech modulated bone-conduction ultrasound was evaluated. The results show that the peripheral region of ultrasonic hearing is in the cochlea and that a direct ultrasonic stimulation in the basal turn provides its sensation. Regarding the speech recognition, good score was observed in the presence of visual information.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
20 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
21 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
22 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：耳鼻咽喉科

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・耳鼻咽喉科学

キーワード：骨導超音波、補聴器、最重度難聴者

## 1. 研究開始当初の背景

超音波が骨導を用いることで聴取できる現象（骨導超音波）について、はじめて報告されたのは 1948 年である。その後この現象についての報告が相次いだ。超音波がなぜ骨導を用いると聴取できるのか、その聴取メカニズムについては半世紀以上経過した現在でも未だに解明されておらず、骨導超音波の臨床応用に関しても当初は注目されることはなかった。しかし 1991 年に骨導超音波が最重度難聴者でも聴取可能であり、周波数

弁別が聴取可能なことが報告されると、通常の補聴器の使用が不可能な最重度難聴者でも使用可能な補聴器の開発について注目されるようになった。

我々の研究グループでは脳磁図を用い、最重度難聴者でも骨導超音波が聴取可能であること、超音波を語音情報で変調し提示したとき語音の弁別可能なことを客観的に証明した。これらの検討結果を踏まえ我々は骨導超音波を用いた重度難聴者用の補聴システムの開発を開始した。

開発を行う上で重要になってくるのがその知覚特性と聴取メカニズムの解明である。また、語音情報を超音波に変換した場合に実際にどの程度伝えることができるかの評価を行う必要がある。これらの結果を踏まえて、補聴器を改良し臨床で使用可能な試作器を作製する必要がある。

## 2. 研究の目的

通常の補聴器が使用できない最重度難聴者であっても骨導超音波の聴取が可能な方がいる。本研究ではまず骨導超音波補聴器の試作器をより臨床で有用なものにするため、骨導超音波の聞こえの程度、知覚特性、語音で偏重した際の異聴などを調べ、健聴者と難聴者の差について評価し、骨導超音波の知覚メカニズムの解明を行う。そして今回の検討で得られたデータを基に補聴器のパラメータを最適化し骨導超音波補聴器の臨床導入を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) 聴覚心理実験

まず聴力正常者を対象に、骨導超音波の知覚に関するマスキングの心理実験を行い骨導超音波の知覚メカニズムの解明を行った。それらの結果を基に、末梢知覚器官が蝸牛であることの特定を行う。さらに蝸牛での知覚部位とそのメカニズムについて解明を行う。

次に難聴者での骨導超音波知覚を測定し、難聴の程度、聴力型と聴取閾値がどのような関係があるかを測定し知覚メカニズムの解明と骨導超音波補聴器の適応となる難聴者の推定を行う。

### (2) 骨導超音波語音の知覚

骨導超音波を語音刺激で変調することでどの程度言語情報が伝えることができるかを測定する。明瞭度、ダイナミックレンジ、異聴を通常の語音聴力検査の結果との比較を行い、骨導超音波補聴器の有効性を評価する。

さらに日常生活のコミュニケーションでは通常聴覚情報だけでなく、視覚情報の役割も重要になってくる。視覚情報を併用することでどの程度言語情報の伝達が上昇するかを評価する。

### (3) 骨導超音波の脳磁界反応

聴覚中枢での知覚メカニズムの解明を行うため脳磁図を用いた検討を行う。聴覚心理実験ではダイナミックレンジが狭いが、これが中枢でも見られる特徴であるかを検討する。

語音弁別を行う上で重要な周波数弁別能の評価をミスマッチフィールドを測定することで行う。可聴音と比較することで骨導超音波補聴器の効果を推測する。

さらに骨導超音波語音の聴覚中枢におけ

る特徴のお客観的な評価はほとんどされていないため、今回刺激持続時間が及ぼす影響について可聴音と比較した。この結果より聴覚中枢における時間積分能の評価をする。

## 4. 研究成果

### (1) 骨導超音波の聴覚心理実験

聴力正常者を対象に、マスキングを用いた聴覚心理実験の結果 10-14 kHz を中心とした高周波音が骨導超音波をマスキングすることが分かった。またマスキングの強さを大きくすることでその中心周波数は低い周波数へと移動することが分かった (図 1)。これまで検討を行った骨導超音波による可聴音のマスキングの結果を合わせて検討すると、骨導超音波の末梢の知覚部位は蝸牛の基底回転にあることが分かった。またマスキングの強さがマスキング量に及ぼす影響からその知覚の主体は超音波自身による内耳の刺激が関与している可能性が高いことが分かった。

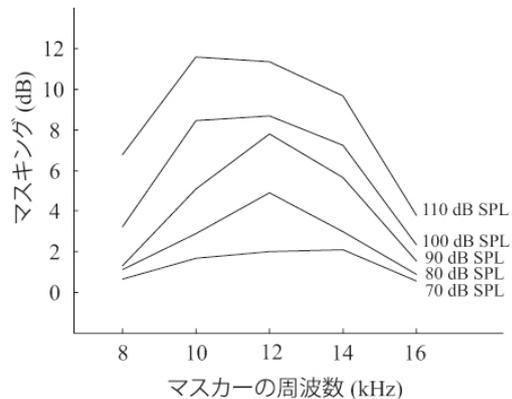


図 1 可聴音による超音波のマスキング

次にこのことをさらに難聴者を用いて検討した。難聴者の聴力と骨導超音波の閾値の関係を検討すると、より高い周波数の聴取閾値がより強く骨導超音波の閾値と相関していた。また聴力型を見ると高音障害急墜型のように高い周波数で閾値が急激に上昇し有毛細胞の障害が予想される症例では、骨導超音波の閾値が高いことが分かった。またほぼ全周波数がスケールアウトに近い重度難聴者であっても骨導超音波が聴取できる症例があるものの、低音域の閾値が低い症例でも 1 kHz 付近で閾値が急激に上昇しそれより高い周波数でスケールアウトする症例では骨導超音波が聴取不可能であった。以上の結果は聴力正常者で推定された聴取メカニズムを支持する内容であった。

これらの結果から推定すると骨導超音波を用いた補聴器の適応は基底回転の有毛細胞が残存する症例でなければならぬと考えられた。また基底回転付近の刺激は、強弱については伝達可能であるが、周波数弁別は

困難であると推測され、現時点では実際の補聴器にする場合は視覚情報などの手助けが必要であると思われた。

### (2) 骨導超音波語音の知覚

健聴者では 80%以上の良好な明瞭度を得られ、ほぼ弁別可能であることが判った(図2)。また骨導超音波の音圧の変化と正答率の関係についても検討してみると可聴音と比べてかなり低い 15dB SL 程度で明瞭度の上昇でほぼ飽和しており、ダイナミックレンジが狭いことがわかった。語音の異聴傾向について検討してみると、通常の気導音の場合と異なり、母音の異聴が起きる場合が多いことが分かった。

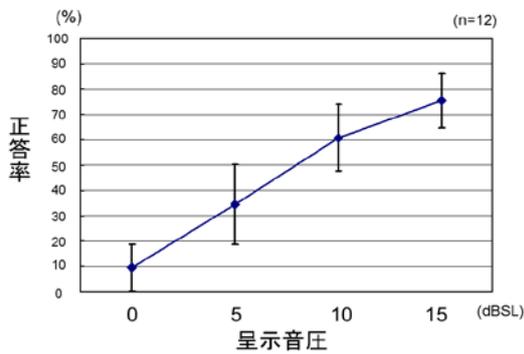


図2 骨導超音波の語音明瞭度曲線

視覚情報が明瞭度に与える影響について検討を行うと、視覚情報があることで明瞭度を有意に改善させることがわかった(図3)。現時点では難聴者では聴覚刺激だけでは聴力正常者のように十分な明瞭度を得ることは難しい。今回の検討では視覚情報を併用することで、明瞭度を上昇させ、難聴者であっても実用に耐える効果を得ることができる可能性を示した。

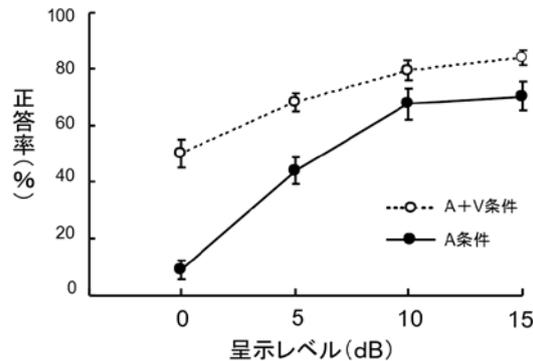


図3 視覚情報を併用した場合の明瞭度

### (3) 骨導超音波の脳磁界反応

脳磁図を用い骨導超音波の音圧と脳の反応を測定し、骨導超音波刺激に対する脳磁界

反応のダイナミックレンジが狭いことが客観的にも評価可能であった(図4)。

さらに骨導超音波の周波数の弁別能力について脳磁図を用いて検討すると、周波数を10%変化させることで mismatches field が測定可能であった。この結果は可聴音と比較すると弁別能力が劣っているものの骨導超音波でも周波数の弁別が可能であることを示していると思われる。

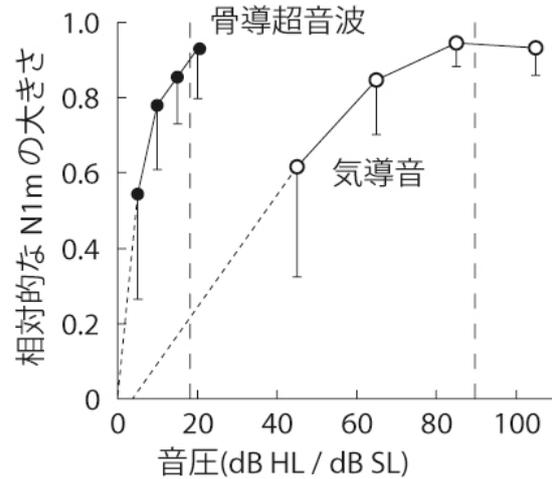


図4 脳磁界反応のダイナミックレンジ

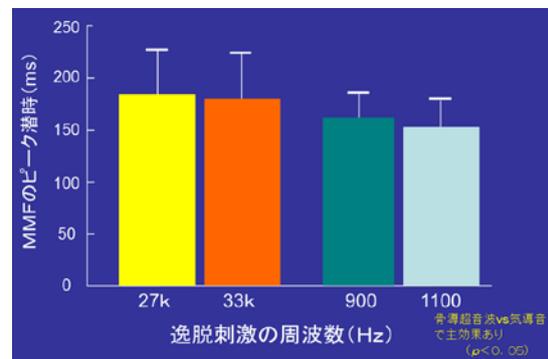
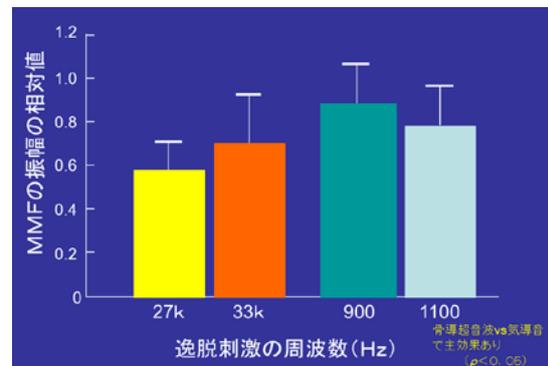


図5 周波数の違いによるMMF  
上の図はMMFの大きさ、下の図は潜時を示す。

言語音で変調した骨導超音波の刺激持続時間が聴覚野の反応に及ぼす影響について

測定すると刺激持続時間が延長するごとに反応の大きさが有意に上昇することがわかった。その効果は刺激持続時間が 40ms でほぼ飽和することがわかった (図 6)。可聴音と比較すると、飽和する刺激持続時間は延長することが分かった。このことは同じ言語情報でも可聴音と骨導超音波を用いて伝えた場合にその信号処理に違いがあることを示しているものと考えられた。

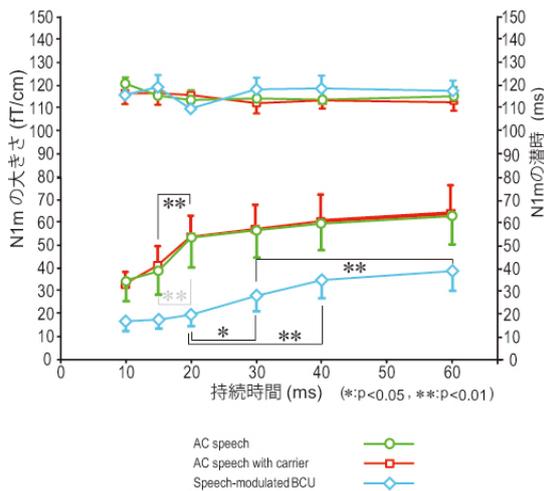


図 6 持続時間が N1m の大きさに与える影響

以上のことから骨導超音波を用いた補聴システムについては、語音を用いて変調するタイプの補聴器あるいは周波数変調を用いて語音情報を超音波の周波数帯域へと変調させるタイプの補聴器の開発の可能性が示された。骨導超音波にダイナミックレンジが狭いことから、この狭いダイナミックレンジに対応するためには、ノンリニア増幅システムを組み込んだ伝達システムの開発の重要性が示された。

##### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 17 件)

- ①Yamashita A., Nishimura T, Nakagawa S, et al. Assessment of ability to discriminate frequency of bone-conducted ultrasound by mismatch fields. Neuroscience Letters, 査読有, 438, 2008, 260-262
- ②A Yamashita, T Nishimura, Y Nagatani et al, Comparison between bone-conducted ultrasound and audible sound in speech recognition, Acta Otolaryngol Suppl, 査読有, 562, 2009, 34-39
- ③T Koizumi, T Nishimura, T Sakaguchi et

al, Estimation of factors influencing the results of tinnitus retraining therapy, Acta Otolaryngol Suppl, 査読有, 562, 2009, 40-45

④T Nishimura, S Nakagawa, A Yamashita et al, N1m amplitude growth function for bone-conducted ultrasound, Acta Otolaryngol Suppl, 査読有, 562, 2009, 28-33

⑤A Yamashita, T Nishimura, Y Nagatani et al, The effect of visual information in speech signals by bone-conducted ultrasound, Neuroreport, 査読有, 21, 2010, 119-122

⑥H Hosoi, S Yanai, T Nishimura et al, Development of cartilage conduction hearing aid, Archives of Materials Science and Engineering, 査読有, 42, 2010, 104-110

⑦T Nishimura, T Okayasu, Y Uratani et al, Peripheral perception mechanism of ultrasonic hearing, Hearing Research, 査読有, 2011, in press

⑧T Okayasu, T Nishimura, A Yamashita et al, Duration-dependent growth of N1m for speech-modulated bone-conducted ultrasound, Neuroscience Letters, 査読有, 2011, in press

[学会発表] (計 28 件)

①西村忠己、穴川美美、斉藤 修他、補聴器装用が難聴者の裸耳の自己評価に与える影響、第 54 回日本聴覚医学会学術講演会、2008 年 10 月 2-3 日、東京

②山下哲範、西村忠己、長谷芳樹他、視覚情報が骨導超音波の語音聴力に与える影響、第 54 回日本聴覚医学会学術講演会、2008 年 10 月 2-3 日、東京

③山下哲範、西村忠己、長谷芳樹他、骨導超音波の母音弁別能、第 54 回日本聴覚医学会学術講演会、2009 年 10 月 22-23 日、横浜プリンスホテル (神奈川県)

④岡安唯、西村忠己、山下哲範他、骨導超音波語音の母音の長さに対する脳磁界反応、第 54 回日本聴覚医学会学術講演会、2009 年 10 月 22-23 日、横浜プリンスホテル (神奈川県)

⑤T Okayasu, T Nishimura, A Yamashita et al, Temporal-Integration Mechanism of Bone-Conducted Ultrasonic Speech Sound, ARO 33rd MidWinter Meeting, 2010 年 2 月 6-10 日、Disney land hotel (CA, USA)

⑥A Yamashita, T Nishimura, Y Nagatani et al, Speech Recognition for Bone-Conducted Ultrasound, ARO 33rd MidWinter Meeting, 2010 年 2 月 6-10 日、Disney land hotel (CA, USA)

⑦A Yamashita, T Nishimura, Y Nagatani et al, Differences between bone-conducted

ultrasound and audible sound in speech recognition、The 13th JAPAN-KOREA Joint Meeting of Otolaryngology-Head and Neck、2010年9月9-11日、Grand Hyatt Seoul (Korea)

⑧T Okayasu, T Nishimura, A Yamashita et al、Growth of N1m for stimulus duration through bone-conducted ultrasound modulated by Japanese vowel sound、The 13th JAPAN-KOREA Joint Meeting of Otolaryngology-Head and Neck、2010年9月9-11日、Grand Hyatt Seoul (Korea)

⑨岡安唯, 西村忠己, 山下哲範他、骨導超音波語音の母音刺激長に対するミスマッチフィールド、第55回日本聴覚医学会学術講演会、2010年11月11-12日、奈良県新公会堂 (奈良県)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西村忠己 (NISHIMURA TADASHI)

奈良県立医科大学・医学部・助教

研究者番号：60364072