

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：24601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23791923

研究課題名(和文)骨導超音波補聴器の実用化に向けた語音聴力の検討

研究課題名(英文) Study of intelligibility for practical application of bone-conducted ultrasonic hearing aids

研究代表者

山下 哲範 (Yamashita, Akinori)

奈良県立医科大学・医学部・助教

研究者番号：50588522

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：骨導超音波補聴器の実用化に向けた語音聴力の検討を行った。健聴者34名の中で、超音波の音は認知するが言葉を理解できない被験者が3名いた。ダイナミックレンジは17.5 dBで過去の報告と矛盾しない結果であった。年齢別に明瞭度を検討すると、聴覚正常でも高齢になると明瞭度が低いことが分かった。この結果は骨導超音波の聴取メカニズムの仮説として挙げられている蝸牛基底回転での聴取説を支持するものであると考えられた。聴覚正常者におけるリハビリテーションの効果も得られた。難聴者においては聞こえ・弁別にばらつきが生じ、一定の結果は得られなかった。今後、骨導超音波聴取メカニズムの詳細な解明が期待される。

研究成果の概要(英文)：We investigated the ability to recognize speech delivered by bone-conducted ultrasound (BCU) to develop bone-conducted ultrasonic hearing aids (BCUHA). Three individuals with normal hearings could not perceive any speech information from ultrasonic signals among 34 tests. The average dynamic range was  $18.1 \pm 3.2$  dB SL. This finding is consistent with previous reports. A comparison of speech discrimination tests of bone-conducted ultrasound in individuals of different ages found that the tests for BCU were less intelligible in older persons. This finding supported the hypothesis that BCU can be perceived in the cochlear basal turn. In addition, we examined the effects of rehabilitation in individuals with normal hearing. The intelligibility of the speech discrimination test with BCU was inconsistent in the hearing-impaired. Our findings provide important clues for the development of BCUHA. The perception mechanisms of BCU should be fully elucidated in future studies.

研究分野：聴覚

キーワード：骨導超音波 補聴器 語音

### 1. 研究開始当初の背景

1948年 Gavreau により初めて骨導を用いることで超音波が聴取できることが報告された[1]。その後、この現象についての多くの研究がなされたにも関わらず、その聴取メカニズムは未だ明らかにされておらず、当初この現象を利用した臨床応用に関しては注目されていなかった。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、周波数弁別が可能であることが報告され[2]、通常型補聴器では言語によるコミュニケーションが不可能な最重度難聴者用の骨導超音波補聴器の開発が期待されるようになった。

我々のグループでは、脳磁図を用いて、超音波を語音情報で振幅変調することにより、最重度難聴者でも語音の弁別が可能であることを客観的に証明した[3]。これらの研究結果から最重度難聴者用の骨導超音波補聴器の開発を目指し、聴取方法の仮説を打ち立て、さまざまな知覚特性について報告してきた。一連の研究結果を踏まえて、骨導超音波補聴器の試作器を作成することになったが補聴器の実用化には多くの課題があると考えられていた。



骨導超音波補聴器の試作器

### 2. 研究の目的

骨導超音波補聴器の実用化には多くの難題が残っていると考えられる。まず、第一に骨導超音波の知覚メカニズムが解明されていない事が問題となる。我々のグループでも蝸牛の有毛細胞が関与する説をうちたてたが[4]、その他にも、生体組織の非線形性により可聴周波数成分が生成され、聴取している説や、蝸牛以外の部位が聴取に関与する説などが提唱されているがいまだ定説となるものはない。

また、われわれも骨導超音波の知覚特性につき多くの報告を行ってきたが[4・5]、明らかになった知覚特性は少なく、被験者の人数も少ないため、いまだ知覚特性を十分に集積できたとは言いがたい。

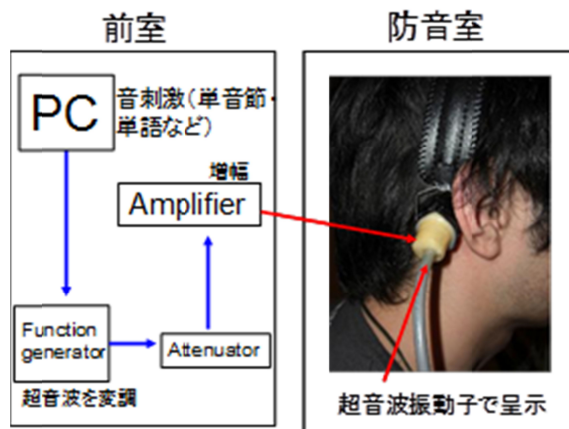
健聴者における語音弁別検査や知覚検査

は行われてきたが、語音の異聴に一定の傾向が得られず、骨導超音波補聴器の最適化が進んでいない。聴力正常者における被験者を増やし、骨導超音波語音の知覚特性を再検討し、それにより現在の試作器の問題点を整理し試作機の改良を行う。

また、難聴者において同様な検査を行うことで健聴者との相違を検討する。得られた知見を利用して、最重度難聴者における最適な変調方法や変調度・呈示方法などの最適化をはかる。また、一連の実験で得られた結果から超音波知覚メカニズムの解明を行うことを目的とした。

### 3. 研究の方法

健聴者・難聴者に対して実験を行う。既存の難聴者用補聴器における異聴や了解度と比較するために、日本国内で難聴者の聴力評価に最も用いられている日本聴覚医学会の67-S語表CDを用いて実験を行う。音刺激をPCより提示し超音波を振幅変調することで超音波語音を被験者に提示する(図1)。一定音圧間隔で語音を提示しその明瞭度を測定する。



(図1)

健聴者における明瞭度や異聴を集積し、難聴者と比較検討する。また、呈示方法を変化させることで明瞭に聴取できる変調度、最適な搬送波の超音波周波数などの求め最良化を目指す。年齢別や男女別などの因子での違いの有無などを検討した。

### 4. 研究成果

本研究には被験者36名が参加した。男性22名女性14名、平均年齢は36.0歳であった。検査前に純音聴力検査を行い健聴者と確認した被験者は33名・中等度難聴者が2名・高度難聴者が1名であった。

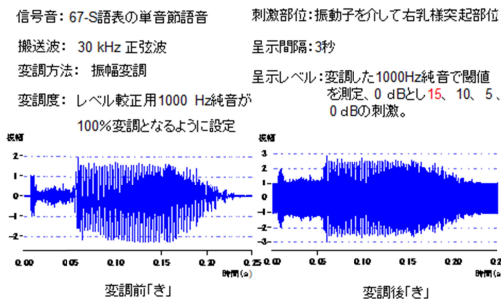
試作器にて被験者全員が骨導呈示では超音波音が聴取可能であったことから、被験者のダイナミックレンジを確認した。健聴者33名のダイナミックレンジの平均は  $18.1 \pm 3.1$

dBであった。20～33歳の若年聴力正常者(26名)と50～67歳の高齢聴力正常者(10名)のダイナミックレンジを比較すると、若年者は $18.1 \pm 3.7$  dB、高齢者は $18.3 \pm 1.6$  dBで有意な差は認めなかった。この結果は過去に西村らが報告している骨導超音波のダイナミックレンジが可聴音に比べて非常に狭いことに矛盾しなかった。

各被験者に対して骨導超音波の搬送周波数と変調を変化させて聞こえに関してどのように変化するかを調べたが、一定の結果は得られなかった。しかし、現行試作機でも使用できる30 kHz周囲の周波数で変調100%の時に1番聞こえの明瞭度が高いとする被験者がほとんどであり、試作機の大幅な改良は必要ないと考えられた。

日本聴覚医学会の67-S語表を用いて、骨導超音波語音聴力検査を行った。刺激音の設定と呈示方法は下記に示す。

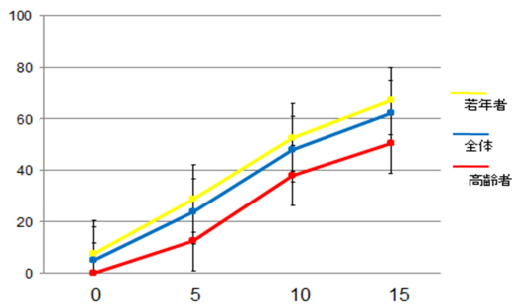
### 刺激音の設定と呈示方法



聴力正常者33名と、難聴者3名に実験を行ったところ、若年聴力正常者に1名、高齢聴力正常者に1名、高度難聴者に1名に音は聞こえるが言葉としては全く理解できない被験者がおり除外した。

(1) 高齢健聴者と若年健聴者の比較  
最大呈示音圧である15 dBでは33人平均で62.1%、若年者では67.2%、高齢者では50.5%であった。若年者と高齢者を分散分析で比較すると、両者に有意な差が認められた。ダイナミックレンジは高齢健聴者と若年健聴者には差がなく、語音弁別能では有意な差が生じたことは、高齢者の時間分解能が若年者に比べて劣っていることや、我々が仮説と

### 健聴者の語音弁別検査結果



して提唱している骨導超音波の聴取メカニズム(蝸牛の基底回転で聴取される)説を支

持するものであると考えられた。

### (2) 若年健聴者の異聴

若年健聴者で骨導超音波語音を弁別可能であった23名の異聴を検討した。最大呈示音圧である15 dB呈示時の異聴内容を下記に示す。呈示母音が/e/の時に特に誤答率が高くなることが分かった。呈示母音/e/の時には同一母音内で誤答する割合も低く他の母音との違いが示された。

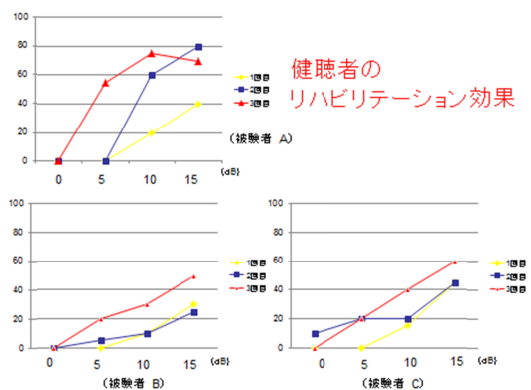
### 母音(後続母音含む)別の誤答総数と異聴内容

母音	誤答数/総数	誤答率 (%)	異聴先の母音					
			/a/	/i/	/u/	/e/	/o/	その他
/a/ (6語)	53/138	38	29	4	5	1	11	3
/i/ (5語)	31/115	27		21	4	3	3	
/u/ (3語)	20/69	28	5	11			3	1
/e/ (2語)	26/46	57	5	1	1	8	11	
/o/ (4語)	21/92	22	6	1	1	3	10	
計	151/460	33	45	38	11	15	38	4

### (3) 健聴者のリハビリテーション効果

初回検査時に若年健聴者の中で語音弁別能悪かった3名について1か月ごとに連続3回検査を繰り返し、リハビリテーション効果があるかどうか検討した。被験者3人共検査の回数を重ねるにつれて正答率が上昇していた。

健聴者では骨同超音波の聞き取りを増やすことで正答率が上昇することがわかり、初めて骨導超音波を聞いた時に言葉をうまく理解できない難聴者でもリハビリテーションを行うことで語音弁別能が改善される可能性が示唆された。

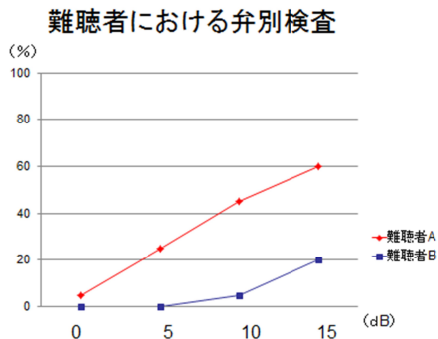


### (4) 難聴者の弁別検査

中等度難聴者2名に対して弁別検査を行った。残念ながら高度難聴者では超音波語音を弁別できる被験者はいなかった。

難聴者2名のダイナミックレンジは18.8と21.5 dBで健聴者とほぼ同程度であった。

難聴2名の検査結果をいかに示す。一人の難聴者は呈示音圧を上昇させると同時に正答率も上昇していた。難聴者でも骨導超音波語音を弁別し音圧の上昇とともに正答率が高くなることが示唆された。



#### <引用文献>

- [1]V.Gavreau, "Audibility of sounds of high frequency," *Compt Rendu*, vol.226,pp.2053-2054(1948).
- [2]M.L.Lenhardt, R.Skellett, P.Wang and A.M. Clarke, "Human ultrasonic speech perception," *Science*, vol.253,pp82-85(1991)
- [3]H.Hosoi, S.Imaizumi, T.Sakaguchi, M.Tonoike and K Murata "Activation of the auditory cortex by ultrasound," *The Lancet*,vol.351,pp.496-497(1998)
- [4]T.Nishimura,S.Nakagawa, T.Sakaguchi, H,Hosoi "Ultrasonic masker clarifies ultrasonic perception in man" *Hear Res* 2003;175:171-177
- [5]A.Yamashita, T,Nishimura, Y.Nagatani, T.Okayasu, T.Koizumi, T,Sakaguchi, H.Hosoi "Comparison between bone-conducted ultrasound and audible sound in speech recognition," *Acta Oto-Laryngologica*, 2009 : 129,34-3

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Tadao Okayasu, Tadashi Nishimura, Akinori Yamashita, Osamu Saito, Shuichi Yanai, Hiroshi Hosoi "Human Ultrasonic hearing is induced by a direct ultrasonic stimulation of the cochlea" *Neuroscience Letters*.2013 539 71-76

Tadao Okayasu, Tadashi Nishimura, Seiji Nakagawa, Akinori Yamashita, Yoshiki Nagatani, Yuka Uratani, Toshiaki Yamanaka, Hiroshi Hosoi "Evaluation of prosodic and segmental change on speech-modulated bone-conducted ultrasound by mismatch fields" *Human Neuroscience Letters*.2014 559 117-121

Toshizo Koizumi, Tadashi Nishimura, Akinori Yamashita, Tomoaki Imamura, Toshiaki Yamanaka, Hiroshi Hosoi "Residual inhibition of tinnitus induced 30-kHz bone-conducted ultrasound" *Hearing Reserch* 2014,310 48-53

Tadashi Nishimura, Tadao Okayasu, Osamu Saito, Ryota Shimokura, Akinori Yamashita, Toshiaki Yamanaka, Hiroshi Hosoi "An Examination of effects of broadband air-conducted masker on the speech intelligibility of speech-modulated bone-conducted ultrasound" *Hearing Reserch* 2014,317 41-49

〔学会発表〕(計 6 件)

岡安唯、西村忠己、山下哲範、中川誠司、吉田悠加、柳井修一、長谷芳樹、細井祐司「骨導超音波のプロソディの変化に対するミスマッチ反応」日本聴覚医学会 2011年

Akinori Yamashita, Tadashi Nishimura, Yoshiki Nagatani, Hiroshi Hosoi "The Effect of Visual Information on intelligibility in Bone-conducted Ultrasound Perception" 36th ARO MIDWINTER MEETING 2013

岡安唯、中川誠司、西村忠己、山下哲範、吉田悠加、細井祐司「刺激の周波数構造が聴覚野の時間分析に与える影響について」日本聴覚医学会 2012年

Akinori Yamashita, Tadao Okayasu, Tadashi Nishimura, Hiroshi Hosoi "Difference for bone-conducted ultrasound and air-conducted audible sound in speech recognition" 20<sup>th</sup> IFOS World Congress

Akinori Yamashita, Tadao Okayasu, Tadashi Nishimura, Yoshiki Nagatani Hiroshi Hosoi "The Difference between bone-conducted Ultrasound and audible sound in Japanese Monosyllable" 37<sup>th</sup> ARO MIDWINTER MEETINGS

岡安唯、浦谷悠加、西村忠己、中川誠司、山下哲範、細井祐司「骨導超音波のtemporal window of integrationについて」日本聴覚医学会 2014年

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

山下 哲範 (YAMASHITA, Akinori)  
奈良県立医科大学耳鼻咽喉・頭頸部外科・助教

研究者番号 : 50588522