

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：14701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25861583

研究課題名(和文)骨導超音波補聴リハビリテーションにおける多感覚統合の有用性に関する基礎的研究

研究課題名(英文)Basic research on the usefulness of multi-sensory integration in the bone-conducted ultrasonic hearing rehabilitation

研究代表者

松井 淑恵 (MATSUI, Toshie)

和歌山大学・システム工学部・助教

研究者番号：10510034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：骨導超音波補聴器は、手術することなく重度難聴者に聞こえをもたらすことのできる、現在唯一のデバイスである。本研究では、最重度難聴者2名を対象に骨導超音波補聴の長期トレーニングを実施した。その結果、聴覚と視覚の両方を利用することで、トレーニングの経過日数にしたがって単音節の同定率が向上することが確認された。さらに、ユーザが発話者のほうを向くことを利用して、マイクロホンアレイによるSN比の向上を試みた。聞き取りの精度向上が見こめる結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：The bone-conducted ultrasonic hearing aid (BCUHA) is the unique device for providing auditory sensation to profoundly hearing-impaired patients, without any surgery. To investigate the effects of long-term BCUHA training, two deaf patients were trained for over 10 months with the device. Both patients could recognize words with accuracy greater than chance using a BCUHA, if alternatives or context were presented to them during the trials. Monosyllabic intelligibility scores with audio-visual cues also increased substantially after training. Furthermore, by using the fact that hearing aid users face towards the speaker, we tried to improve the SN ratio by a microphone array. The results suggest that the array will help to improve the listening accuracy even for BCUHA.

研究分野：心理物理学

キーワード：骨導超音波補聴器 最重度難聴者 補聴リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

骨導であればヒトが超音波を聴取できることが1948年に初めて報告され[1]、1991年には重度難聴者でも骨導超音波が聴取可能であり、周波数弁別も可能であることが報告された[2]。さらに、超音波を語音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、この骨導超音波語音の処理が聴覚野で行われていることが、脳磁図(MEG)を用いた脳機能計測実験により証明された[3]。これらの研究結果に基づいて、奈良県立医科大学と産業総合研究所を中心とした研究チームは、最重度難聴者用の骨導超音波補聴器の開発をめざし、骨導超音波の知覚特性や、知覚メカニズムについての報告を行ってきた。骨導超音波補聴器の実用化に向けた第1段階として、人工内耳の適用が難しい最重度難聴者に協力を仰ぎ、補聴器を装着しての単語了解度テストや語音弁別能の測定を行った。その結果、選択肢形式の単語了解度テストでは概ねチャンスレベル以上の正答率が得られた。一方、語音明瞭度テストでは、芳しい効果は得られていない。

補聴器の実用化には、補聴器装着によって音声認識の精度が上がる、という客観的データが必要である。聴覚のみによる音声認識の精度が十分に高いことが理想であるが、通常の音声コミュニケーションにおいては、音声による聴覚情報に加えて、読唇による視覚情報などの各種感覚からのフィードバックが存在する。これら複数の感覚器官からの情報は、音声認識の精度を上げる重要な情報であることが知られている。たとえば、音声認識における聴覚と視覚の統合に関する先行研究では、聴力正常者でも、視覚の情報が子音の知覚を助けるという実験結果が報告されている[4]。骨導超音波補聴器を用いた音声コミュニケーションにおいても、これら聴覚以外の感覚が音声の認識の精度の向上に役立つ可能性がある。

2. 研究の目的

上述の研究背景に基づいた本研究の目的は、骨導超音波補聴器が実際に使用される状況を想定して、どのような感覚入力が音声認識の精度を上げるかを明らかにすることで、補聴リハビリテーションのプログラム開発に貢献することである。以下のような2段階に分けることができる。

- (1) 骨導超音波補聴器を長期間使用した場合の音声同定の学習における、各感覚の統合の効果の測定
- (2) 骨導超音波補聴器を用いた場合の語音弁別において聴覚以外の感覚入力を利用する方法の考案

(1)では、比較的長期間にわたる学習過程において、聴覚、視覚、聴覚と視覚のそれぞれの感覚入力が利用できるときの語音明瞭

度がどのように変化するかを調査する。

(2)では、(1)で得られたデータをもとに、語音弁別において各感覚の寄与度合いを考察し、骨導超音波音声の語音明瞭度を上げる方策を練る。

3. 研究の方法

(1) 最重度難聴者による骨導超音波補聴トレーニング

2名の最重度難聴者(両耳ともスケールアウト)が1年近くにわたる長期補聴トレーニングに参加した。トレーニングでは定期的に単語再認テストと単音節同定テストを行い、トレーニングの効果を測定した。その他にオープンテストによる単語再認、文章トラッキング、会話、歌唱などを参加者の状態にあわせて適宜実施した。

単語再認テストは対面で行われた。あらかじめ視覚的・聴覚的に呈示した選択肢のうちの一つを、言語聴覚士が口元を隠して発話し、参加者が口頭で回答した。各試行後に正解をフィードバックした。課題は以下の最大3条件から構成された。

- ・選択肢間のモーラ数の違いが正答率に与える影響を観察するための条件(2肢強制選択)
- ・選択肢間の母音の違いが正答率に与える影響をみるための条件(3肢強制選択)
- ・選択肢間の違いが子音のみである条件(4肢強制選択)

もう一方の指標である単音節同定テストは、日本語50音の単音節に対して、以下の最大3条件で測定した。

- ・補聴器からの音声のみで単音節を同定する聴覚(A)条件
- ・読唇のみによって単音節を同定する視覚(V)条件
- ・補聴器からの音声と読唇の両方を用いて単音節を同定する視聴覚(A+V)条件

(2) マイクロホンアレイを利用した骨導超音波補聴器の語音明瞭度の改善

(1)の長期間にわたる骨導超音波補聴トレーニングの結果から、骨導超音波音声の同定には視覚が重要であることが明らかになった。しかしながら、視覚の手がかりが使えたととしても、骨導超音波による音声の聴取は、静かな環境でもSN比が低いという問題が指摘されている。この問題は長期トレーニングでも克服が難しいものであった。

ところで通常、対面での音声対話時には相手の方向を向くのが自然である。補聴器で音声聞き取りにくければ、視覚の手がかりを使うために音源である相手の顔が自分の正面になるよう移動や向きの調整をすることが予想される。聞き取りたいターゲット音声は正面にあり、それ以外の音が正面以外の方向に存在する、ということを利用すると、ターゲット音声だけを強調することで補聴器

の SN 比を向上させられる可能性がある。

補聴器としての可搬性を保ちつつ SN 比を改善する案として、小型のマイクロホンアレイを使用し遅延和による音声強調を行う案が先行研究で提案された[6]。全長 15 cm のマイクロホンアレイ使用で 3 dB から 6 dB の SN 比改善に相当することが報告されている。ただし先行研究では、正面から到来するターゲット音声と正面以外の方向から到来する雑音はシミュレーションで作成されており、マイクの特性や部屋の残響などは加味されていなかった。

そこで、補聴器使用時に視覚が重要であることを利用して SN 比を向上させる試みとして、先行研究のシミュレーションを実際に配置した音源とマイクロホンアレイで実現した。無響室ではない一般的な防音室に、ターゲット音声を想定したスピーカと騒音源を測定したスピーカ複数、4 チャンネルの MEMS マイクによる幅 15 cm のマイクロホンアレイを設置し、各スピーカから音響信号を出力したときのインパルス応答を測定した(図 1)。マルチトーカーバブルと単音節音声にそれぞれの音源方向に対応するインパルス応答をたたみこんだ音響信号を用意した。この音響信号は、単一マイクロホンのインパルス応答をたたみこんだ音響信号と、4 つのマイクロホンのインパルス応答をたたみこんだ 4 つの音響信号を加算平均することで正面からの信号を強調した音響信号の 2 種類である。これらを変調波として 30kHz の超音波の搬送波を振幅変調させ、骨導超音波として聴取した。

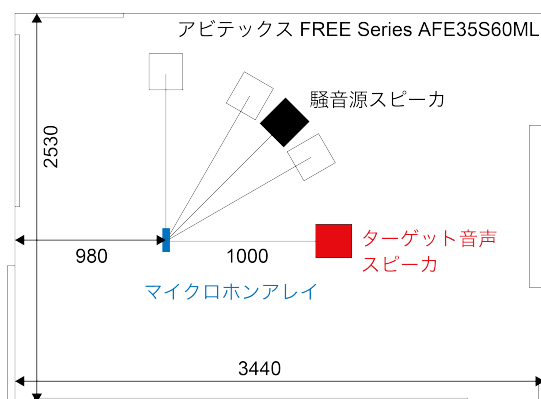


図 1 マイクロホンアレイ (青) に対するスピーカの配置。数値の単位は mm。

4. 研究成果

(1) 最重度難聴者による骨導超音波補聴トレーニング

単語了解度テストの結果、参加した難聴者 2 名のどちらも正答率がチャンスレベルを超えた。事前に選択肢が呈示されていれば、骨導超音波補聴器からの聴覚手がかりのみによって、問題なく単語の違いが弁別できることを示している。その一方、選択肢間のモーラ数の違いや母音パタンの違いが、単語の弁

別に寄与しないことも明らかになった。難聴者が骨導超音波を介した音声を聞くと、もとの音声とはまったく異なるものを聞いており、比較する特徴が多いほど、もともとの単語と同定できなくなるのかもしれないという仮説が考えられる。

単音節同定テストの結果とその推移を図 2 に示す。いずれの参加者も視聴覚手がかりによる単音節の同定はトレーニングによって精度が向上する結果となった。なお、音節同定の成績を子音と母音に分けると、母音は視覚によってほとんど同定されていた。3 条件全てでテストを実施した難聴者 2 の結果を分析すると、聴覚上の違いが弁別に有効な子音と、視覚上の違いが弁別に有効な子音に分けられる可能性が考えられる。

人工内耳ユーザを対象とした複数の先行研究が示してきたように(たとえば[5])、聴覚だけでなく視覚も同時に利用することで音声の聞き取りがより向上するという点は、骨導超音波補聴器の長期使用でもみられた。しかしながら、その正答率は人工内耳ユーザには及ばなかった。骨導超音波補聴のパフォーマンスを最大限に上げるには効果的なトレーニング法の開発が必要かもしれない。また、取り外せない人工内耳とは異なり骨導超音波補聴器は使用のつど振動子を固定しなくてはならない。振動子の固定の強さや方向によって聞こえが大きく異なることがあり、安定した刺激を呈示できたかどうかとい点にも再検討の余地がある。

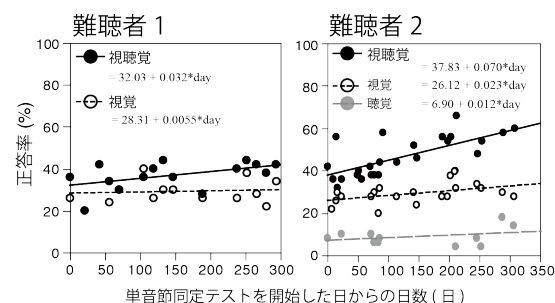


図 2 トレーニング日数による単音節同定テストの正答率 (音節単位) の推移。

(2) マイクロホンアレイを利用した骨導超音波補聴器の語音明瞭度の改善

単一マイクロホン条件ではマルチトーカーバブルと音声の SN 比が -6, 0, 6, 12, 18, dB、4 チャンネルマイクロホンアレイ条件では -12, -6, 0, 6, 12 dB の計 11 条件で日本語単音節 67 音の語音明瞭度テストを行った。ただし、現在得られている結果が限定的であるため、ここでは傾向を述べるにとどめる。

先行研究[6]に比べると全体的に語音明瞭度が 10%ほど低い(図 3)。部屋の残響によって、騒音として使用したマルチトーカーバブルがターゲットの音声よりも増幅されたためと考えられる。また、使用した MEMS マイク

口ホン自体のノイズがインパルス応答に影響した可能性も考えられる。しかしながら、SN比 0 dB から 12 dB の範囲では、単一マイクロホン条件に比べてアレイ条件で 3% から 6% の語音明瞭度の改善がみられた。この結果を一般化できるかどうかについては、MEMS マイクロホンやスピーカの特性の再確認や実験参加者の増加によって検証を続ける予定である。

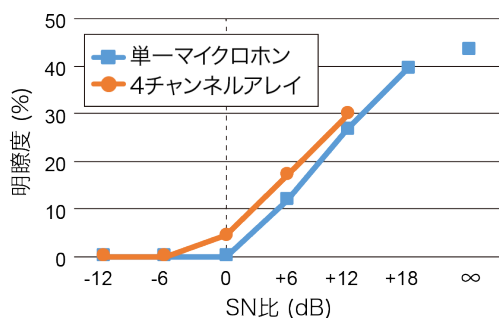


図 3 単一マイクロホン条件とマイクロホンアレイ条件による骨導超音波音声の語音明瞭度。一名分の実験参加者のデータ。

<引用文献>

- [1] Gavreau, V., (1948). Compt Rendu, 226, 2053-2054.
- [2] Lenhardt, M. L. et al., (1991). Science, 253, 82-85.
- [3] Hosoi, H. et al., (1998). Lancet, 351, 496-497.
- [4] Desai et al., (2008). JASA, 123(1), 428-440.
- [5] Rouger et al., (2007). PNAS, 104, 7295-7300.
- [6] 山本, 長谷, (2012). 聴覚研究会資料, 42, 537-542.

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(査読有)](計2件)

[1] Toshie Matsui, Shuichi Yanai, Ryota Shimokura, and Hiroshi Hosoi (2014), "Evaluation of a short reverberant sound field using syllable intelligibility and listening difficulty under multitalker babble," Acoustical Science and Technology, Vol. 35, No. 5, pp. 279-281. DOI: 10.1250/ast.35.279

[2] Toshie Matsui and Minoru Tsuzaki (2013), "Independence of mental representations for tonotopic and periodic scales in perceptual judgment of vowel-like sounds," Acoustical Science and Technology, Vol. 34, No. 6, pp.

436-439.

DOI: 10.1250/ast.34.436

[学会発表](計4件)

[1] Minoru Tsuzaki, Toshie Matsui, Toshio Irino, and Chihiro Takeshima (2014), "Age Related Shifts Of Absolute Pitch Judgment And Their Relation To The Hearing Impairment," Proceedings of 37th ARO MidWinter Meeting, p. 508 (San Diego, CA, USA, 21-26th, Feb, 2014).

[2] Toshie Matsui and Minoru Tsuzaki (2013), "Interaction between resonant scaling and fundamental frequency on codings in auditory system," Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 19, Article ID: 050107 (ICA2013, Montreal, Canada, 5th, Jun, 2013).

DOI: 10.1121/1.4800162

[3] Toshie Matsui, Ryota Shimokura, Tadashi Nishimura, Hiroshi Hosoi, and Seiji Nakagawa (2013), "Speech intelligibility of hearing impaired participants in long-term training of bone-conducted ultrasonic hearing aid," Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 19, Article ID: 050088 (ICA2013, Montreal, Canada, 5th, Jun, 2013).

DOI: 10.1121/1.4799193

[4] 松井淑恵, 下倉良太, 西村忠己, 細井裕司 (2013), "最重度難聴者の骨導超音波補聴器リハビリテーションによる語音明瞭度の向上," 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol. 116, No. 4, p. 450 (ロイトン札幌, 北海道, 17th, May, 2013).

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

[その他]
特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

松井 淑恵 (MATSUI, Toshie)

和歌山大学・システム工学部・助教

研究者番号: 10510034