

重度難聴者用の聴覚コミュニケーションツールの開発のための 骨導超音波知覚現象の解明 (062107002)

Elucidation of bone-conducted ultrasonic perception for developments of
auditory-communication tools for the profoundly deaf

研究代表者

中川誠司 独立行政法人産業技術総合研究所

Seiji Nakagawa National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

研究分担者

藤坂洋一 保手浜拓也 藤崎恵美子 籠宮隆之

Yoh-ichi Fujisaka, Takuya Hotehama, Emiko Fujisaki, Takayuki Kagomiya

独立行政法人産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

研究期間 平成 18 年度～平成 20 年度

概要

骨導超音波（骨伝導で呈示された周波数 20kHz 以上の高周波音）は、重度感音性難聴者でも知覚される。この現象を利用した重度難聴者用の聴覚コミュニケーション・ツールの開発が試みられているが、そもそもの知覚メカニズムは全く言っていいほど未解明のままとなっている。本課題では、開発における理論的基盤の確立を目的として、ヒトを対象とした聴覚心理学計測、神経生理学的計測、音響物理計測、さらにはコンピュータシミュレーションなどを統合的・相補的に駆使して骨導超音波知覚メカニズムの解明に取り組んだ。その結果、骨導超音波知覚と通常の聴覚の異同を明らかにし、応用機器開発に有用な知見を得ることができた。

Abstract

Bone-conducted ultrasound (BCU) is even perceived by sensorineural profoundly deaf subjects. A novel hearing-aid for the profoundly deaf (BCU hearing-aid: BCUHA) has indeed been developed, however, the neurophysiological mechanisms underlying BCU perception remain unclear. In the present study, phycoacoustical, neurophysiological and physioacoustical measurements in humans, and computer-simulation were carried out complementary and integratively to clarify the mechanisms of BCU perception. The results obtained are useful to optimize the BCUHA and determine criteria for its indication.

1. まえがき

骨伝導（骨導）にて呈示された周波数 20kHz 以上の高周波音（骨導超音波）であれば、聴覚健全者のもとより、重度感音性難聴者であっても知覚することができることが知られている。申請者らは、この現象を利用した重度難聴者にも使用可能な“骨導超音波補聴器”の開発を試みているが（図 1）、骨導超音波の知覚メカニズムには不明の点が多く残されている。補聴器の最適化指また、知覚メカニズムの解明は、骨導超音波補聴器の適用範囲（どういうタイプの難聴に有効であるのか）を決定するためにも不可欠である。本課題では、ヒトを対象とした聴覚心理学計測、神経生理学的計測、頭部表面・周囲における音場計測、さらにはコンピュータシミュレーションによる頭部内音場推定などの手法を多角的・相補的に駆使して、骨導超音波の神経生理学的知覚メカニズムの解明を図る。

2. 研究内容及び成果

2.1 可聴音の発生の有無の検証

骨導超音波知覚に対する基本的な疑問の一つとして、“超音波そのものが受容されているのか”ということがあげられる。”本課題を始めるに当たり、骨導超音波呈示に伴う可聴音発生の有無を頭部表面・周囲・鼓膜表面における音響物理計測・光学的計測により検証した。その結果、いずれの計測においても、被験者のピッチ感に相当する十数 kHz の帯域を含めて、有意な可聴音の出現は認められなかった。この結果は、骨導超音波知覚では超音波そのものが知覚されている可能性が高いことを示している。

2.2 知覚メカニズムを反映する基礎的知覚特性の検討

聴覚特性は、聴覚の神経生理学的機能を如実に反映し、メカニズム解明に有用な知見を与えてくれる。例えば、ラウドネスのダイナミックレンジは受容器細胞、特に外有毛細胞の寄与を反映し、外有毛細胞の寄与がない場合は著しく減少する。また、等ラウドネス曲線の形状からは有毛細胞の活動量の変化が把握できる。聴覚健全者や重度難聴者を対象として、骨導超音波知覚時の知覚特性を評価した。

一例として、推定した骨導音の等ラウドネス曲線を図 2 に示す。15～18 kHz での曲線の急激な上昇や、超音波帯域では曲線間の幅が 5dB とかなり狭くなっていることがわかる。これらの結果は、可聴音知覚から骨導超音波知覚へのメカニズムの転換点の存在や、骨導超音波知覚におけるダイナミックレンジが小さいことを意味する。骨導超音波には外有毛細胞の寄与が小さい可能性が示唆される。なお、得られたデータは近年中に実施を目指す骨導超音波知



図 1 申請者らが開発した骨導超音波補聴器

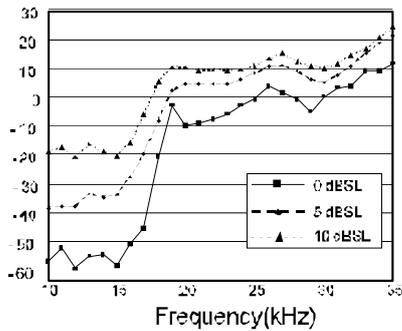


図2 推定された骨導音の等ラウドネス曲線

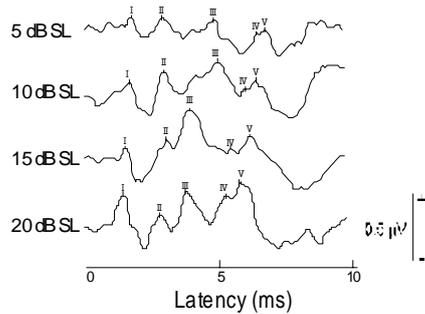


図3 骨導超音波に対する聴性脳幹反応

覚の工業標準の策定においても有用である。

2.3 神経生理学的計測による聴覚路メカニズムの検討

非侵襲的な神経生理計測によって、末梢から中枢にいたるまでの聴覚神経系の骨導超音波知覚への関与を評価した。骨導超音波においても気導音と同様の聴性脳幹反応（音聴取に伴って脳幹の聴覚路各部から出現する脳波反応、図3）等が観測された。また、脳磁界計測によって聴覚皮質活動を評価したところ、皮質内での処理に依存する部分には通常の聴覚との差異はないものの、末梢機構に依存するトノトピシティ（周波数局在性）には特異性が認められた。聴覚末梢器官の活動を反映する蝸電図計測では、明瞭な蝸牛神経複合活動電位が出現したが、外有毛細胞の活動を反映する蝸牛マイクロホン電位や加重電位と思われる反応を観察することはできなかった。これらの結果は、骨導超音波であっても、蝸牛神経から聴覚皮質に至る通常の聴覚神経伝導路を通過していること、蝸牛におけるメカニズムはやや特殊なものであることを示している。

2.4 コンピュータ・シミュレーションによる骨導音の頭部内伝搬過程の推定

骨導超音波知覚におけるピッチなどの主観的現象や基底膜振動の解明を目指して、頭部に生じる振動モードの推定を試みた。CT スキャン画像を基に作成したヒト頭部モデル内に生じる音場を時間領域有限差分法によって推定した（図4）。その結果、骨導超音波呈示部位に応じて頭部内音場分布が大きく変動すること、骨導音の頭部内伝達関数には、頭部による共振に起因する複数のピークが認められることが明らかになった。

2.5 骨導超音波知覚モデルの提案

本課題で得られた成果から、骨導超音波知覚について以下が結論づけられる。

- 受容器細胞によって超音波そのものが知覚される
- 蝸牛神経以降の神経伝導路は気導可聴音と同様
- 蝸牛も関与するが、その振る舞いには気導可聴音との差異が存在。特に外有毛細胞の寄与が小さい

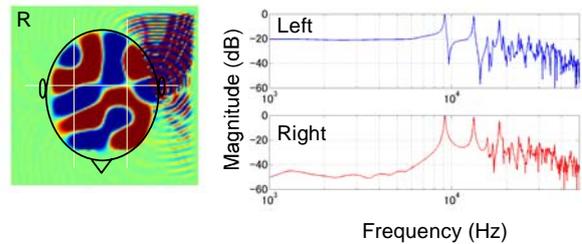


図4 骨導音の頭部内伝達過程（左：骨導超音波によって生成される音場，右：乳様突起-蝸牛間の伝達関数

まとめると、骨導超音波知覚は特異的な蝸牛内処理を伴う聴覚であると結論づけることができる。骨導超音波知覚には、蝸牛内の基底膜や有毛細胞に特殊な振動モードが発生している可能性があり、重度感音性難聴者であってもいくらか有毛細胞機能が残存している場合は、そのモードによって知覚に至るような神経活動が生じていると考えることができる。

3. むすび

骨導超音波知覚の詳細について通常の聴覚の異同を明らかにすることができた。また、応用開発に必要な適用基準についても目安を示すことができた。

【誌上发表リスト】

- [1] Nakagawa Seiji, Nakagawa Aya, “Mechanisms of bone-conducted ultrasonic perception assessed by electrophysiological measurements in human”, Journal of the Acoustical Society of America, Vol.120 No.5 p3123 (2006)
- [2] Nakagawa Seiji, “Objective assessment of bone-conducted ultrasonic perception using magnetoencephalography”, Transactions of the Japanese Society for Medical and Biological Engineering Vol.45 No.1 pp129-133 (2007)
- [3] Nakagawa Seiji, “Effects of stimulus rise-time on auditory N1m to air-conducted, bone-conducted audible and bone-conducted ultrasonic sounds”, Biomagnetism: Transdisciplinary Research and Exploration pp 98-100 (2008)

【申請特許リスト】

- [1] 中川、保手浜、外部音知覚装置、日本、2007/4/13
- [2] 中川、保手浜、外部音知覚装置、日本、2007/8/23
- [3] 中川、神原、動物侵入防止方法、日本、2008/8/27

【受賞リスト】

- [1] 中川誠司、複合医工学インスティテュート優秀論文賞、”Objective Assessments of Bone-conducted Ultrasonic Hearing-aid (BCUHA) by Magnetoencephalography”、2007/6/12
- [2] 中川誠司、(財)丸文研究交流財団・丸文研究奨励賞、”重度難聴者のための骨導超音波補聴器の開発に関する研究”、2008/3/4
- [3] 中川誠司、科学技術分野の文部科学大臣表彰（若手科学者賞）、”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”、2009/4/15

【報道発表リスト】

- [1] “Development of a novel hearing-aid for the profoundly deaf using bone-conducted ultrasonic perception”, Nature Medicine,12(7), pp718, 2006/7/1
- [2] “医新薬新「生活の質」高める 手術せず聴力回復”、日経産業新聞、2008/9/4

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://staff.aist.go.jp/s-nakagawa/>