

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 11 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350540

研究課題名(和文)聴覚検査への適用を目的とした聴覚の定常的応答による検討

研究課題名(英文)An application of auditory steady-state response to objective audiometry test

研究代表者

田中 慶太(Tanaka, Keita)

東京電機大学・理工学部・准教授

研究者番号：10366403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、聴覚情報の支援を目的として脳生理学的観点からその基礎的検討を行った。具体的には、律動的な聴覚野の脳反応(聴性定常応答)の特性を利用することで他覚的な聴力検査システムの構築を目指した。まず脳磁図を利用して、短時間の振幅変聴音を用いて、1kHz以下の6つの周波数に対する聴性定常応答の周波数特性を示した結果、ラウドネス曲線と一致した。更に刺激中の被験者の覚醒状態を保つため無声音のアニメーションを呈示した場合としない場合では振幅の差異は見られなかった。これらの結果から聴性定常応答は、聴覚検査に有効であることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：Auditory Steady-State Response (ASSR) is response of auditory cortex evoked by AM tone. Recently, ASSR is being used to establish a new hearing test. However, few studies on about ASSR when stimulus condition was changed less than 1 second. Therefore, We measured ASSR when carrier frequency of AM tone was changed less than 1 second. In this experiment used six carrier frequencies (440, 550, 660, 770, 880, 990 Hz). The sound pressure level (SPL) was amplified low frequency band based on the equal loudness curve. Result, Amplitude characteristic of ASSR showed high correlation with SPL. We also examined the effect of presentation of silent animation movie on ASSR to keep the wakefulness. The amplitude did not depend on the presence of the animation. This study shows that ASSR might be useful tool for audiometry.

研究分野：人間医工学

キーワード：聴覚検査 脳波 脳磁図

1. 研究開始当初の背景

現在 1000 人に 6 人の割合で、乳幼児における先天性の聴覚異常が見ついている。これらの乳幼児は日本では 1 歳 6 ヶ月までに人工内耳や補聴器を使用すれば、発語に影響なしとされており、生後すぐの乳児に対して聴覚スクリーニング検査は、ほとんど行われていない。一方で、欧米各国では、乳児の聴覚検査が義務付けられ、異常が発見されると、早急に人工内耳などの処置が行われ聴覚疾患患者の発語率も日本に比べて高い。日本において乳児の聴覚検査が普及するためには、簡便で正確な聴覚検査を必要とする。一般に、聴覚障害の疑いがある乳児の聴覚検査は、脳波の聴性脳幹反応を指標として、行われている。しかし、聴性脳幹反応は、非常に微弱な信号であるため計測時間も長く、乳児にとって負担である。そこで、本研究では、聴力レベルの他覚的な指標として聴性定常応答を用いる。聴性定常応答は、聴性脳幹反応に比べて SN が良いため、加算回数も減少できる。そのため計測時間も短縮できる。更に聴性脳幹反応 (ABR) に比べて周波数の依存が少なく (ABR は 1kHz 以下の検査が困難である)、ほぼラウドネス曲線に対応した反応が得られるため、正確な診断が可能となる。

2. 研究の目的

本研究は、乳幼児における聴覚検査の普及を目指して、聴性定常応答を指標とした聴覚検査の精度の向上と検査時間短縮に取り組む。具体的には、聴性定常応答の短時間の刺激音呈示やそれに伴う聴性定常応答の振幅特性を詳細に理解することを目的とする。

近年、乳幼児を対象に聴性定常応答を指標とした新たな他覚的聴力検査を確立する試みが、海外を中心としてある。しかし多くの場合、10 秒以上持続する振幅変調音を呈示したときの平均的な振幅に関して評価しており、短時間で変化させた時の研究報告は、我々の知る限りない。将来、聴性定常応答を医学的及び工学的な応用を考えた場合、短時間の刺激音呈示やそれに伴う聴性定常応答の振幅特性を詳細に理解する必要がある。そこで短時間呈示 (1 秒) で振幅変調音のキャリア周波数、音圧を変化させた時の聴性定常応答の振幅の特性を詳細に検討する。

3. 研究の方法

高精度で簡便な聴覚検査の技術開発を目的として、以下の項目について研究を進める。

(1) 健常者における聴性定常応答の聴覚周波数特性 (440Hz ~ 1kHz) を明らかにする基礎的研究

脳磁図を用いて、短時間呈示 (1 秒) として、振幅変調音のキャリア周波数、音圧を変化させた時の聴性定常応答の振幅の特性を検討する。聴性定常応答における 440Hz 以上 1kHz 以下の周波数特性を検討する。

(2) 聴性定常応答 (40Hz) を高振幅で誘起する刺激法と刺激技術の開発

聴性定常応答の振幅は、個人差による影響が大きい。正確な診断を実現するため、聴性定常応答を高振幅で誘起する手法を検索する。そこで刺激条件 (刺激音の種類 (チャープ音など)、刺激音の呈示方法など) を変え、繰り返し実験する。そして高振幅を誘起しやすい条件を特定する。

(3) 脳波による汎用性の検討

これまでは脳磁図を用いて、ヒトの聴覚野の活動に対して高精度な計測を行い、その特性を明確にすることに主眼を置いてきたが、これ以降は、より簡便な聴覚検査に重点を置く。そのため汎用性の高い脳波による検討を行う。更により実用的な聴覚検査を検討するため、聴覚刺激時に被験者に同時にアニメーションを呈示した。アニメーション呈示の有無による周波数特性の結果の違いを明確にする。もしアニメーションの呈示の有無により、その周波数特性に変化がないようであれば、アニメーションを呈示することで被験者の覚醒度低下を防ぐことが可能となる。

4. 研究成果

(1) 本研究では、等ラウドネス曲線を基準に低音域を増幅させた 6 種類のキャリア周波数 (440, 550, 660, 770, 880, 990Hz) を、1s 以下の短時間 (780ms) で変化させる聴覚刺激を行い、脳磁界を計測した。その時の刺激音圧と等ラウドネス曲線の関係を図 1 に示す。その結果として、聴性定常応答の振幅は、与えた音圧に応じた振幅特性となった (図 2)。このことから聴性定常応答は、聴覚機能にお

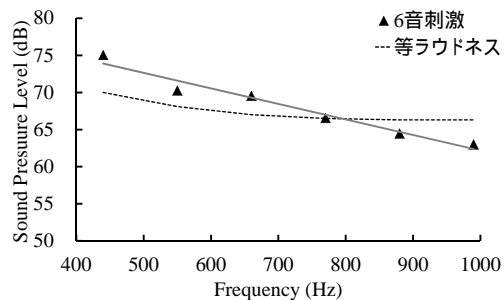


図 1. 刺激音圧と等ラウドネス曲線

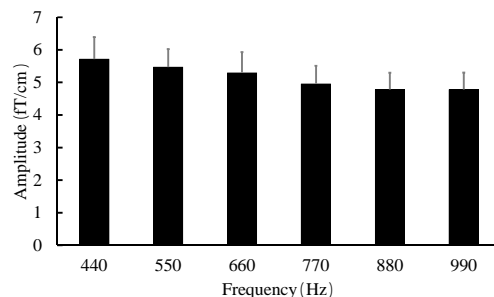


図 2. 聴性定常応答の振幅特性

いて低次処理を反映している可能性がある。将来、聴力検査への応用を考えた場合、依存するパラメータが少ない聴性定常応答は検査環境や誤診防止の観点から有効であることが示唆される。

(2) 聴性定常応答をより大きな振幅を得るために刺激音として、最適チャープ音を使用した。最適チャープ音とは、クリック音は、すべての周波数を含んでいるが、実際に基底膜の振動は、鼓膜側の高音部分と蝸牛頂点の低音部分で時間差が生じる。そこで、この波動の伝搬速度を考慮して周波数を変化させた音を作成し、刺激音として用いた。これにより振幅変調音に比べ、聴性定常応答の振幅が、平均で約 50% 向上するのを確認した。加えて、このチャープ音の周波数帯域を変化させて呈示することにより、現在の検査のように、ある特定の周波数(500Hz, 1kHz など)の音に対する聴力レベルだけでなく、幅広い周波数帯域の検査が可能となる。更に外界の音は、ある程度の周波数帯域を含んでいるため、人の「聞こえ」の検査に繋がる。この技術を応用すると、自分自身で客観的な補聴器の調整が可能なヘッドフォンと脳波電極を一体としたシステムが構築できると考えている。

(3) 脳波による汎用性を目的として、脳波による聴性定常応答を用いた定量的な聴力の評価を行った。具体的にはラウドネスを一定とした時の聴性定常応答の周波数依存性を検討した。具体的には、変調周波数 41Hz で変調した正弦波振幅変調音を刺激音として聴性定常応答を脳波により計測し、音圧を等ラウドネスとした時の正弦波周波数による振幅の変化を 240-3840Hz の範囲で調べた。その結果、刺激音のラウドネスを統一したが、各周波数の聴性定常応答の振幅は一定にならず、特に 1kHz 以上の高周波において減衰している。また、低周波の 240Hz でもわずかな振幅の減少が見られた。統計解析では、搬送周波数の有意な主効果が認められた

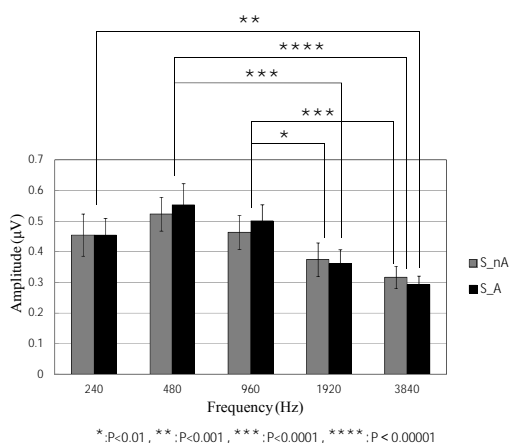


図 3. アニメーション呈示あり(S_A)と呈示なし(S_nA)条件による聴性定常応答の周波数特性の比較

($p < 0.001$)。このことから、聴性定常応答の周波数依存性が確認された。更に搬送周波数の主効果に関して多重比較を行った。240Hz, 480Hz, 960Hz の3つの搬送周波数が、1920Hz, 3840Hz のどちらか、または両方に対して有意な差を持つ結果となった。従って、聴性定常応答は 250Hz から 1kHz 程度まではあまり振幅に変化は見られないが、搬送周波数の増加で振幅が減衰するという周波数特性をもつものと考えられる。また、刺激中の被験者の覚醒状態を保つため無声音のアニメーションを呈示した場合としない場合では振幅の差異は見られなかった(図3)。このことから聴覚検査時においてアニメーションの呈示は影響がなく、特に子供の検査などには有効であるかもしれない。

本研究により、短時間で複数の搬送周波数に関して検査を行うことができる可能性が示唆された。例えば、今回得られた周波数特性を用いて図4の様に、聴力を定量的に示すことが可能になると考えられる。測定値が、基準値の聴性定常応答の特性に近い形であれば聴力正常と判断でき、破線のように基準値から大きくずれたものはその周波数で聴覚異常があると判断できる。また、補聴器などで聴力を補う際にも、基準値を目安に調整を行えるという利点がある。今後は、これらの特性を利用して、難聴者へも適応可能な聴覚検査システムを詳細に検討する予定であ

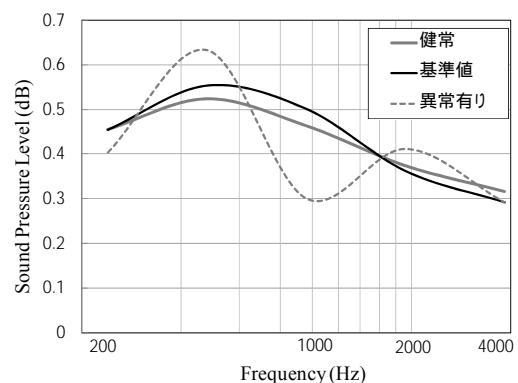


図 4. 聴性定常応答の周波数特性を利用した仮定の聴覚検査

る。

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4件)

倉崎大樹, 沼尾亮佑, 根本幾, 田中慶太, 栗城真也: オクターブ錯聴および不完全・非錯聴の脳活動の比較, 電気学会研究会資料, 査読無, MBE-16-009, 2016, pp.37-40.

K.Tanaka, S.Kuriki, I.Nemoto,

Y.Uchikawa: Auditory Steady-State Responses in Magnetoencephalogram and Electroencephalogram: Phenomena, Mechanisms, and Applications, Advanced Biomedical Engineering, 査読有, 2, 2013, pp.55-62. DOI: <http://doi.org/10.14326/abe.2.55>. S.Kuriki, Y.Kobayashi, T.Kobayashi, K.Tanaka, Y.Uchikawa: Steady-state MEG responses elicited by a sequence of amplitude-modulated short tones of different carrier frequencies, Hear Res., 査読有, 296, 2013 pp.25-35. DOI: 10.1016/j.heares.2012.11.002. 車谷春香, 田中慶太, 栗城眞也, 内川義則: 左右耳に入力された刺激音による聴性誘発反応の解析: 競合的刺激音の相互作用, 信学技報, 査読無, 113(314), 2013, pp.19-24.

〔学会発表〕(計 12 件)

倉崎大樹, 田中慶太, 小淵千絵, 原島恒夫: 人工内耳装用時の脳波計測におけるノイズ除去の検討, 第 54 回日本生体医工学会大会, 名古屋国際会議場, 愛知県, 名古屋市, 2015 年 5 月 7 日~9 日.

田中慶太, 小林孝成, 栗城眞也, 内川義則: 脳磁界聴性定常応答によるオクターブ錯聴の研究, 第 54 回日本生体医工学会大会, 名古屋国際会議場, 愛知県, 名古屋市, 2015 年 5 月 7 日~9 日.

松井洸貴, 荒木亮, 田中慶太, 栗城眞也, 内川義則: 情動画像呈示による聴性定常応答の変化, 第 30 回日本生体磁気学会大会, 旭川市大雪クリスタルホール, 北海道, 旭川市, 2015 年 6 月 5 日~6 日. 倉崎大樹, 沼尾亮佑, 根本幾, 田中慶太, 栗城眞也: オクターブ錯聴および完全・非錯聴の脳活動の比較, 電気学会 医用・生体工学研究会, 鹿児島大学稲盛会館, 鹿児島県, 鹿児島市, 2016 年 1 月 21 日.

車谷春香, 田中慶太, 栗城眞也, 内川義則: 両耳刺激による聴性誘発反応の解析, 第 29 回日本生体磁気学会大会, 大阪大学吹田キャンパス コンベンションセンター, 大阪府, 吹田市, 2014 年 5 月 29 日~30 日.

H.Kurumaya, K.Tanaka, S.Kuriki, Y.Uchikawa: Auditory neural activities elicited by binaural stimuli, The 19th International Conference on Biomagnetism, World Trade & Convention Centre, Canada, Halifax, 2014 年 8 月 24 日~28 日.

田中慶太, 小林孝成, 栗城眞也, 内川義則: オクターブ錯聴音刺激による聴性定常応答の変化, 平成 26 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 島根大学松江キャンパス, 島根県, 松江市, 2014

年 9 月 3 日~6 日.

田中慶太, 小林孝成, 栗城眞也, 内川義則: オクターブ錯聴に関連した聴性定常応答の検討, 第 31 回日本脳電図トポグラフィ研究会, ラフォーレ修善寺, 静岡県, 伊豆市, 2014 年 9 月 18 日~20 日. K. Tanaka, F. Kudo, S. Kuriki, Y. Uchikawa : Carrier frequency Specificity of Short-Sound Elicited Auditory Steady-State Response and Effect of Animation Presentation, NEUROTECHNIX 2013, Vilamoura, Portugal, 2013 年 9 月 18 日~20 日.

車谷春香, 田中慶太, 栗城眞也, 内川義則: ヒトの聴覚野における音声情報処理機構-左右の耳から入力された音情報の弁別について-, 第 28 回日本生体磁気学会大会, 朱鷺メッセ, 新潟県, 新潟市, 2013 年 6 月 7 日~8 日.

車谷春香, 田中慶太, 栗城眞也, 内川義則: 左右の耳から入力された音情報の区別と処理機構の解明, 平成 25 年電気学会電子・情報・システム部門大会, 北見工業大学, 北海道, 北見市, 2013 年 9 月 4 日~7 日.

車谷春香, 田中慶太, 栗城眞也, 内川義則: 左右耳に入力された刺激音による聴性誘発反応の解析-競合的刺激音の相互作用, ME とサイベネティックス研究会, 東北大学, 宮城県, 仙台市, 2013 年 11 月 22 日~23 日.

〔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〕

ホームページ等

<http://ra-data.dendai.ac.jp/tduhp/KgApp?kyoinId=yimdegeobggg>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 慶太 (TANAKA, Keita)
東京電機大学・理工学部・准教授
研究者番号: 10366403

(2) 研究分担者

原島 恒雄 (HARASHIMA, Tsuneo)
筑波大学・人間総合科学研究科・教授
研究者番号: 70262219

湯ノ口 万友 (YUNOKUCHI, Kazutomo)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：10094187
(平成27年度より研究分担者)

(3)連携研究者

小淵 千絵 (OBUCHI Chie)
国際医療福祉大学・保健医療学部・准教授
研究者番号：30348099