

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300169

研究課題名(和文) 固有脳リズム反応の検出と感性やストレスに関わる内的状態の抽出

研究課題名(英文) Detection of the response of cortical rhythmic activities and extraction of the internal state such as affection and stress

研究代表者

栗城 眞也 (KURIKI, Shinya)

東京電機大学・付置研究所・教授

研究者番号：30002108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円、(間接経費) 3,840,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの内的な状態の変化を脳のリズム的活動の計測により調べる研究を行った。好き嫌いの情動値が確立した画像を被験者に見せ、その間、光(明暗)や音刺激を各々の感覚皮質のもつ活動リズムに合わせた繰り返し周期で与え、誘起される定常反応を脳磁図計測により観察した。その結果、いずれの感覚刺激とも負の情動画像が正のものより有意に定常反応を増加させることを確認した。以上から、情動や認知的負荷が脳のリズム的活動に影響を与えること、リズム的反応の計測が内的状態の客観的な推定に役立つ可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We have conducted MEG (magnetoencephalography) measurements while normal subjects were watching a set of selected pictures for which affection values were established. During the measurement, either flicker-light stimulation at the frame of pictures or repetitive sound stimuli was delivered to the subjects at a stimulation rate that (or its harmonic) was matched to the frequency of visual or auditory rhythmic activity. Results of the steady state response indicated augmentation of the response-amplitude for negative than positive affective pictures. We suggest that the rhythmic neural activities could serve as objective measures of internal condition such as affection or cognitive load.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学

キーワード：脳機能計測 脳リズム 定常反応 情動 ストレス

1. 研究開始当初の背景

(1)我々が対象物を認識し意志決定する際には、意識的、意図的な過程の他に潜在的、無意識的な内的状態が大きな影響を与える。例えばプライミングと呼ばれる操作では、意識に上らない程度の短時間に呈示された画像(例えば飲料品)が、その後の検査(2種類の飲料品の選択)では高い確率で選ばれることが知られている。本研究で対象とする内的状態は、心地よさや楽しさ、好き嫌いなどの感性や、緊張、リラックスなどの精神状態、期待、意欲などで表される気持ちの状態を含む幅広い概念である。これらは定量化が困難で個人多様性を持つため、長いあいだ自然科学や工学の対象にされて来なかった。

(2)近年、無侵襲ニューロイメージング技術が発達し、fMRI(機能的磁気共鳴イメージング)やMEG(脳磁図)、EEG(脳波)、光トポグラフィなどの脳機能画像化法により、認知や運動に関係したヒトの脳の活動が個人レベルで検出できるようになっている。国内外で研究の盛んなBMI(Brain Machine Interface)では運動野や視覚野などの脳活動をニューロイメージングにより検出し、それらの情報から個々人の意識的内部状態(運動や文字表出の意図)を抽出している。しかし、多くの工学的BMI研究では、脳の神経活動の探索には踏み込まずに、多数の検出信号から少数の状態出力を推定する計算技術(機械学習など)に重点が置かれている。これに対し、ニューロイメージングにより無意識的な内部状態を抽出するためには、大脳皮質だけでなく視床や辺縁系などの大脳皮質下の神経活動の理解が必要である。

(3)視床は視聴覚などの感覚情報が集結/相互作用する中継核であり、また、情動(快・不快)を支配する扁桃体などの辺縁系と前頭葉や帯状回を介して結合している。さらに、脳幹からは覚醒を調節する情報が視床に投射されており、興奮/ストレスや活性化信号を中継して大脳に伝達している。視床-皮質相互作用が反映される聴覚誘発P1応答では、ストレスによる応答性の変化が知られている。これらの知見は、刺激により誘発される過渡応答だけではなく、視床や脳幹などの神経活動を反映する定常応答が感性状態やストレス状態により変化する可能性を示唆する。

2. 研究の目的

本研究では視聴覚系、運動感覚系を対象として固有脳リズム応答を連続刺激による定常応答として検出し、通常的环境下で生じる情動(快・不快感情)や知的作業による認知ストレスなどの内的状態を推定する技術を開発することを目的とする。すなわち、固有リズムに同調した感覚刺激により高振幅の定常応答を生成する方法と、感性やストレス状態による定常応答の変調を高感度に検出す

る技術の確立を目指す。そのために、情動環境のもとでの視覚や聴覚の定常応答や、運動感覚系の固有リズムの変調を、時間空間分解能に優れたMEG(脳磁図)計測により調べ、快・不快感情や認知的作業時の緊張を推定する刺激条件やMEG信号の解析方法を確立する。同時に、聴性40Hz応答や10Hzミューリズムを誘起する有効な刺激法を検討する。また、fMRIを用いた基礎的実験により固有脳リズムの変調と視床や辺縁系などの皮質下の活動の関連について検討する。

3. 研究の方法

(1) 画像刺激と呈示法

好き嫌いや心地よさなどの好悪感情が統制された条件で実験を行うため、情動価が定量的に評価されているIAPS画像(International Affective Picture System)を刺激として採用した。ここでIAPS画像の情動価の幅は広く、日常生活ではほとんど遭遇しない残酷な画像などが含まれるため、通常環境の刺激に入る画像のみを選択した(情動価1~9の範囲のうちで4.3~5.3までのもの)。さらに、情動価と独立な特性である覚醒価を一定とするため、全画像の平均値4.8に対して ± 0.5 の範囲になるよう200枚の画像を選択した。また、画像の輝度は全画像を同じになるよう補正した。

プロジェクタによりスクリーンに2秒間画像を投影し、情動価が正(快)、中性、負(不快)の刺激をランダムに提示した。可能な場合は、実験終了後に再度画像を呈示して測定を受けた被験者が再認するかたちで、正、中性、負の評価を行った。

(2) 刺激方法と定常応答計測

視覚定常応答は、視覚固有リズムであるアルファ波の周波数で呈示画像の周囲に付加したフレームの輝度を变化させることで誘起した。試行実験の結果、繰り返し周波数は最終的に15Hzとした。聴覚系は40Hz定常応答が皮質-視床回路のリズムとして考えられており、40Hz付近で最大強度となる。試行実験を経て、40Hzが倍音高調波となる20Hz周期でチャープ音を呈示する刺激とした。体性感覚刺激は、ピエゾ振動子により人差し指に与える触覚刺激とし、運動感覚系の固有リズムである10Hzの周期とした。これらの感覚刺激の長さは、画像呈示時間に合わせて2秒とした。

MEG装置により定常応答を磁気信号として計測し、標準的な信号処理・解析手段により振幅情報を得た。視覚系と聴覚系においては、比較的SN比の高い信号が得られたので信号源(電流ダイポール)推定を行い、得られた信号源位置を固定してダイポール強度の時間波形を求めた。体性感覚応答のようにSN比が高くない場合には信号源推定は行わずに、センサチャンネルの計測波形から振幅を評価した。

体性感覚刺激による fMRI 計測では、MEG と同様な触覚刺激を与えて 1 次(SI)、2 次(SII) 体性感覚野の賦活を観察した。N バック課題 (N = 1、3) を被験者に課し(連続して次々に呈示される数字が、N 個前に呈示された数字と同じかどうかをボタン押し回答する課題)、N により作業記憶負荷を変化させて SI、SII の賦活強度を解析ソフトの SPM により調べた。

(3) 仮説検証実験

本研究における基礎的検討として、「視床を介して大脳感覚野に投射される感覚情報が、情動や認知ストレスなどの内部状態によりゲーティング作用を受けることで定常応答が変化する」という仮説を立てた。視床関与の可能性を検証するひとつの方法として、左右の耳に与える競合的音刺激による生じる錯聴を取り上げ、fMRI 計測を行う基礎実験を行った。検討した錯聴は、ピッチが時間的に変化する左右音列が相互作用して原音と異なる音列が知覚される現象である。fMRI のスキャンノイズの影響を減少させるプロトコルを組み立てて実験を行い、グルーブ解析から視床核の賦活の確認を試みた。また、以前に行った MEG 実験で測定した聴性定常応答データを用いて時間特性の定量的解析を行い、視床からの最初の投射先である一次聴覚野の応答を詳細に検討した。

4. 研究成果

(1) 視覚定常応答

情動画像の周辺視野に与えた 15 Hz フリッカ刺激による視覚定常応答は、後頭葉においてダイポール性の磁界分布を示し、一次視覚野近傍に信号源が推定された。信号源位置は、正、中性、負の画像による違いは認められなかった。信号源位置にダイポールを固定して得られた信号源の強度波形は刺激画像の情動価により明瞭な振幅の違いを示した(図 1)。被験者の注意を保つために、中性画像に対してはボタン押しを教示しているため、中性画像に対する応答を除外して正と負の画像の反応で評価を行った。その結果、画像呈示期間にわたって時間平均した被験者(n = 10) の総平均振幅値は、有意に負の情動画像が正よりも大きかった($p < 0.05$, t-検定)。この結果から、不快感情により視覚定常応答が増高することが明らかとなった。

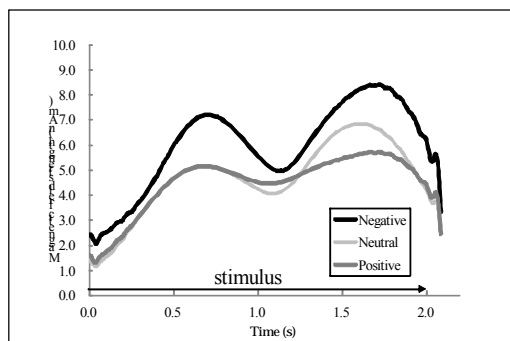


図 1. 視覚定常応答時間特性

負の情動により視覚反応が大きくなった原因としては、不快画像に対する注意効果(注意した左ないし右視野刺激の定常応答の増大が報告されている)が推察された。

(2) 聴性定常応答

20 Hz チャープ音刺激による定常応答から、視覚定常応答と同様に信号源推定により信号強度波形を求め、刺激呈示期間にわたる強度の平均値を求めた。10 名の被験者についてのデータの解析から、不快画像呈示時の聴覚定常応答の強度は快画像呈示時の定常応答より有意に高い($p < 0.05$, 図 2)ことが認められた。情動刺激が視覚呈示によるものであるのに対し、計測した感覚反応は聴覚であることから、内的な情動が感覚様式を超えて神経活動に影響を与えることが明らかになった。

定常応答の変調の機序については、視覚応答と同様な注意効果を考えると、視覚刺激に注意を向けたことで聴覚反応が増高する現象は考えにくい。本研究の提案時に仮定したような、ボトムアップ的な効果であるゲーティング作用などが考えられる。すなわち、繰り返し与えられる感覚刺激によりゲーティング作用で減衰(順応)した定常反応が、ストレスや負の情動により順応作用が減弱するというスキームが示唆される。

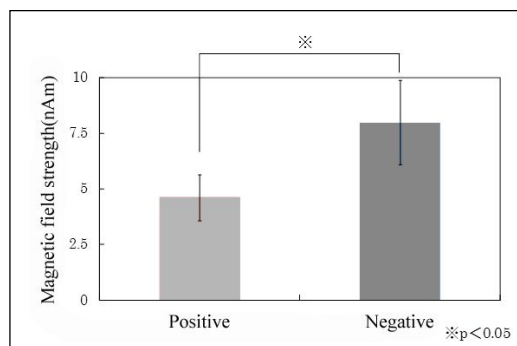


図 2. 聴性定常応答の振幅と刺激特性の関係

(3) 体性感覚定常応答

情動画像呈示に対して行った指先の触覚刺激(10 Hz)による定常応答の実験では、応答波形振幅の時間平均値について解析を行った。その結果、被験者総平均の振幅値は、SI からの反応では情動価による差異は認められなかったが、SII の反応において、有意差はないものの 10 名中 8 名の被験者で負の画像振幅が正のものより高い結果となった。視覚、聴覚定常応答と定性的に一致する変化である。

一方、fMRI 実験では作業記憶課題である 1-back、3-back 課題遂行時に与えた触覚刺激による賦活を SI の部位で観察した。その結果、課題なしの条件で[数字刺激 + ボタン押し]状態の信号では SI での賦活がスポット的に観測されたのに対し、課題時の[数字刺激 + 回答ボタン押し]信号では、課題による賦活が脳の広範囲で見られたものの SI からの反応は消

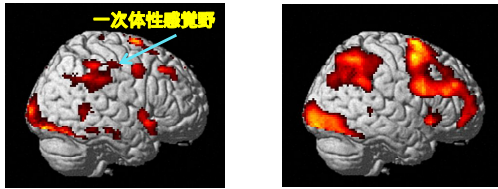


図 3. 左:課題なし, 右:3-back 課題 . $p < 0.005$

失した(図3)この結果から,情動だけではなく,認知的負荷によっても感覚定常応答が変調を受けることが明らかとなった.

(4)仮説検証実験

錯聴時に計測した MEG 信号を解析した結果では,一次聴覚野からの反応が主である 40 Hz 定常応答が,錯聴知覚と同じピッチ対時間特性を示すことが分かった.fMRI 実験からは,聴覚野の賦活が主に観察され, top down 機構を示唆する他の領野(例えば前頭前野)の活動は観測されなかった.また,視床(核)の賦活を示す反応は認められなかった.これらの結果は,おそらく賦活領域が小さいため視床の活動が見られなかったものの,聴覚野のリズムの活動が bottom up 的な機構で変調される可能性を示唆している.

(5)まとめ

本研究で得られた実験結果をまとめると,情動や認知的ストレスによる内的な状態の変化が大脳皮質のリズムの活動に影響を与えること(少なくとも一部の感覚反応において)が示された.感覚反応が変化を受ける機序の解明にはまだ多くの実験が必要であると思われるが,感覚定常応答を指標として客観的な快・不快感情や課題作業のストレスを推定することが可能と思われる.

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 14 件)

K. Tanaka, T. Araki, S. Kuriki, Y. Uchikawa, Steady-State Visually Evoked Fields (SSVEF) Associated with Affective Emotions, Engineering in Medicine and Biology Society, 35th Annual International Conference of the IEEE, 査読有, 2013, pp.4422-4425, 10.1109/EMBC.2013.66.10527

田中慶太, 荒木亮, 片山翔太, 栗城真也, 内川義則, 情動に伴う脳磁界視覚誘発応答の変調, 生体医工学, 査読有, 2013, Vol.51, pp.285-291

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, 2013, Vol. 2, pp.55-62

S. Kuriki, K. Yokosawa, M. Takahashi, Neural representation of scale illusion: Magnetoencephalographic study on the auditory illusion induced by distinctive tone sequences in the two ears. Plos One, 査読有, 2013. Vol.8, pp.e75990, <http://dx.doi.org/10.14326/abe.2.55>

Kuriki S., Kobayashi Y, Kobayashi T, Tanaka K., Uchikawa Y, Steady-state MEG responses elicited by a sequence of amplitude-modulated short tones of different carrier frequencies. Hearing Research, 査読有, 2013, Vol.296, pp.25-35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.heares.1012.11.002>

工藤文恵, 栗城真也, 田中慶太, 内川義則: 聴覚定常応答の搬送周波数依存性とアニメーション呈示効果, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, 2012, Vol. MBE 2012-71, pp.45-50

田中慶太, 栗城真也, 内川義則: 情動画像呈示時における視覚誘発定常応答. 電気学会研究会資料, 査読無, 2012, Vol. MAG12-135, pp.23-26

LQ. Wang, S. Kuriki, Functional cortical mapping of auditory illusion, A fMRI investigation of "scale Illusion", Proceedings of 5th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, 査読無, 2012, pp. 119-122

A. Toyomura, M. Yuasa, S. Kuriki, Experimental design for face-to-face vocal communication in MRI/MEG environments, Proceedings of SICE Annual Conferenc, 査読有, 2011, pp.1608-1609

宮村昂宏, 栗城真也, 田中慶太, 内川義則, 好悪画像呈示時における MEG の位相解析, Journal of the Magnetics Society of Japan, 査読有, 2011, Vol.12, pp.319-324

[学会発表](計 28 件)

上田達彌 (栗城真也), fMRI を用いたストレス度合いによる触覚ゲーティングに関わる脳内過程の変化の解析, 第 43 回日本臨床神経生理学会学術大会, 2013.11.9, 高知

王力群 (栗城真也), fMRI を用いた音階錯聴現象における脳内過程の特定, ヒト脳機能マッピング学会, 2013.7.5, 東京

安田誠次郎 (栗城真也), 情動画像呈示における視覚及び体性感覚誘発定常応答の検討, 日本生体磁気学会大会, 2013.6.7, 新潟
荒木亮 (栗城真也), 情動画像に関連する脳磁界視覚誘発定常応答, 日本生体磁気学会大会, 2013.6.7, 新潟

K. Tanaka (栗城真也), Steady-state visually evoked fields to positive and negative impression stimuli. 18th International Conference on Biomagnetism, 2012.8.28, Paris, France

Kuriki (栗城真也), Auditory steady state

responses elicited by a sequence of amplitude-modulated tones, 18th International Conference on Biomagnetism. 2012.8.27, Paris, France

S. Kuriki (栗城真也), MEG study of steady state response to a sequence of amplitude-modulated (AM) tones of different carrier frequencies. World Congress on Medical Physics and Biological Engineering, 2012.5.31, Beijing, China

豊村 暁 (栗城真也), Brain measurement under face-to-face stress communication, 第 51 回日本生体医工学大会, 2012.05.10, 福岡.

小林勇介(栗城真也), 短時間刺激による聴覚定常応答の遷移状態の検討, 第 51 回日本生体医工学大会, 2012.05.12, 福岡.

S. Kuriki (栗城真也), MEG Studies on the Rhythmic Brain Activities, 2011 Asia Symposium on Brain Science, 2011.05.9, Taipei, Taiwan

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗城 真也 (KURIKI, Shinya)
東京電機大学・総合研究所・教授
研究者番号：30002108

(2) 研究分担者

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

豊村 暁 (TOYOMURA, Akira)
群馬大学・保健学研究科・講師
研究者番号：90421990