

[研究助成 (A)]

脳波と自律神経機能の4次元の相互作用解析による ストレスの定量的診断システムの開発

Development of stress diagnosis system using four-dimensional interactive analysis of
EEG and the autonomic nervous system

2181029



研究代表者

兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科

教授 水野(松本) 由子

[研究の目的]

本研究では、人間のストレスを、機械で簡単に測定・解析できるストレス診断システムを開発し、簡便にかつ早期にストレスを発見することを、目的とする。それにより、人間をストレスから解放し、ストレスに起因する心身の疾患や自殺を予防・防止することに寄与する。

厚生労働省の調査では、仕事や職業生活でストレスを感じると回答した労働者は59.5%を占めている。ストレスが生じると、視床下部が反応し自律神経の乱れを引き起こす。その結果、循環器疾患等の身体症状や、うつ病等の精神疾患を生じる。よって、ストレスの定量的評価をシステム化することにより、職場や家庭などにおいて、疾病予測を行うことが可能となり、社会的意義が高い。

本研究では、上記で示した目的達成に向けて、脳機能と自律神経機能に着目し、それらの非定常状態と相互作用を捉える解析手法を開発することを目標とした。

脳活動の特徴として、同時に複数の部位が異なった活動を行い、その活動が時々刻々に変化することがあげられる。また、情動反応には、動悸、冷感、顔面蒼白などの自律神経反応による身体随伴現象を伴う。言い換えると、ストレスにより精神不安定を示す者は、しばしば身体

的不調を訴え、心氣的となる。脳中枢神経と末梢神経は、生体機能調整における上位と下位の関係にあり、情動に関連して連動する。しかし、生体機能調整の起源となる脳領域の機能が、どの程度変化することで、末梢機能に影響するかなど、定量的関係性については十分に分かっていない。

よって、ストレス診断システム開発に向けての解決に必要な技術的課題は、次の通りとなる。第1に、脳機能の時間的空間的变化を捉える非定常解析手法の開発、第2に、自律神経機能の神経活動バランスを捉える非定常解析手法の開発、第3に、脳と自律神経機能の相互影響性を調べるための関連性解析手法の開発である。第4に、これらの開発した解析手法を用いて、精神的ストレス負荷に対する脳機能と自律神経機能の経時的相互作用の特徴抽出を行う。以上により、ストレス診断システム開発の基礎となる技術的課題の解決、および解析結果の抽出が可能となる。

[研究の内容、成果]

第1に、本研究は、従来、「心の問題」とされてきたストレスによる精神状態を、脳・自律神経機能変化の観点から客観的に定量化することを可能にする。つまり、家庭や職場でのスト

レスに関して、本人の意識下にある問題点を明らかにすることが可能となる。カウンセリングは、自己分析が可能な能力や状態でなければ行えないために、精神医学的治療は多くの場合、対症的に対応してきた。しかし、本研究により、ストレスによる心のつまずきや抑うつ状態などの情動変化を早期に捉え、身体疾患や精神疾患を未然に防ぐことが期待できる。

第2に、本研究は、末梢神経の変化を測定することで、脳機能の状態や精神安定度を推定する研究に将来繋がり得るものである。つまり、家庭や職場で、簡便な機器を用いて末梢より自律神経機能を測定することで、ヒトのストレス状態を定量的に評価することを可能にするものである。

[研究の方法]

ストレス診断システムの概要は、図1に示す通りである。ヒトの生体内で、脳と自律神経間では情報の相互伝播が存在すると考えられるが、外部からは分からない。ストレス診断システムの測定パートにおいて、脳から脳波を測定し、自律神経から心電図と脈波を測定した。解析パートにおいて、各々の経時変化を非定常解析で抽出し、それらの結果の相互影響性を関連性解析で求めた。診断パートにおいて、脳と自律神経の相互作用の定量的指標よりストレス評価を行った。

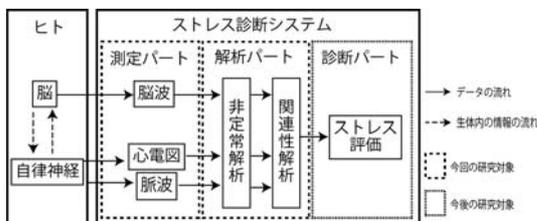


図1 脳・自律神経解析を用いたストレス診断システム

(1) 脳波の時間的空間的变化を捉える非定常解析手法の開発

脳機能活動の時間的空間的变化を調べるために、脳波を用いた。脳波による脳機能活動の経時変化および部位間の情報伝播を調べるために、非定常解析手法を採用した。これは、申請者が皮質脳波および脳磁図用を開発済みのウェーブレット相互相関解析を応用し、頭皮上脳波用を開発した。本手法を用いることで、複数の部位で同時に発生する異なった周波数の時間変化を抽出することができ、さらに、部位間での情報伝播を知ることが可能となった。

(2) 自律神経機能データの神経活動バランスを捉える非定常解析手法の開発

自律神経機能を捉えるために、心電図、指尖容積脈波を用いた。心電図による体幹中心部の自律神経機能変化、および指尖容積脈波による末梢の自律神経機能変化を評価することで、交感神経・副交感神経機能活動のバランスを捉えることが可能である。心電図および脈波は、現在開発中の時間周波数解析および波形解析手法を完成し、統合的に自律神経機能変化を捉えた。

(3) 脳機能と自律神経機能の相互影響性を調べるための関連性解析手法の開発

上記(1)、(2)で評価した脳機能の経時変化および空間的信息伝播、自律神経機能変化について、関連性解析を行うことで、精神的ストレス状態における脳皮質-体幹中心部-末梢の脳・自律神経機能の経時的相互影響性を求めるための関連性解析手法を開発した。

(4) 精神的ストレス負荷時における生体信号測定

視聴覚刺激を用いた精神的ストレス負荷時の脳波、心電図、指尖容積脈波を、兵庫県立大学に設置済みの測定装置を用いて、健常成人を対象に測定した。測定した生体情報を、上記(1)-(3)で開発した解析手法で解析し、ストレス状態における脳機能と自律神経機能の経時的

相互作用の特徴抽出を行った。

(5) ストレス診断システム開発の検討

解析結果の妥当性を評価して、次のステップであるストレス診断システム装置の開発に向けて課題を抽出・整理した。ストレス診断システム装置は、本申請研究で開発する測定パート、解析パートを含み、新たに開発する診断パートを統合したシステムである。

[本研究の結果]

本研究では、「安静刺激」と「不快刺激」を用いて、情動ストレス負荷時の脳波 $\alpha 1$ 帯域及び心電図 LF/HF の経時的相関解析によって、脳機能と自律神経機能の時間差解析を行った。被験者は、健常成人 22 名とした。被験者に、情動ストレス負荷として視聴覚刺激を呈示し、刺激直後の想起閉眼時 180 秒間における脳波及び心拍変動を解析した。解析には、高速フーリエ変換 (FFT) を用いて、パワースペクトル値を経時的に求め、次に、ウェーブレット相互相関解析を用いて、脳波 $\alpha 3$ 帯域 (12-14 Hz 未満) と心電図 LF/HF のスペクトル値変化の時間差を算出した。

その結果、初めての刺激に対しては、安静刺激、不快刺激共に、脳活動が自律神経活動の反応に先行したが (図 2)、予測できる刺激に対しては、安静刺激では、脳活動が自律神経活動

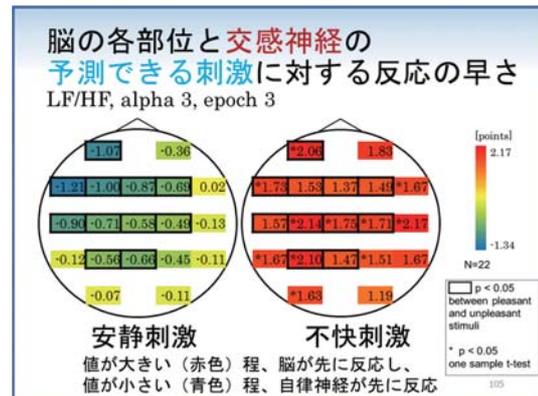


図 3 予測できる刺激に対する脳と交感神経反応

より遅れて反応するが、不快刺激では、脳活動が自律神経活動よりも先行して反応した (図 3)。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究により、情動刺激による脳活動と、末梢の自律神経活動の関連性を直接的に捉えることが可能となったことが有意義な点である。

本研究を発展させることで、脳機能データ、自律神経機能データを含めた全身の生体情報を解析し、生体全体で生じる現象とそれらの関連性を同時に捉えることが可能となる。さらに、人のストレス度や快適度を、リアルタイムに分析し、フィードバックすることで、人の精神の健康状態を改善するシステムに発展させる予定である。

[成果の発表, 論文等]

1. Yuko Mizuno-Matsumoto, Yuji Inoguchi, Steven M. A. Carpels, Ayumi Muramatsu, Yusuke Yamamoto. Cerebral cortex and autonomic nervous system responses during emotional memory processing. PLOS ONE, pp. 1-15, DOI.org/10.1371/journal.pone.0229890, Mar. 5, 2020
2. Steven MA Carpels, Yuji Inoguchi, Shohei Kobayashi, Ayumi Muramatsu, Yusuke Yamamoto, Masato Ito, Yuko Mizuno-Matsumoto. Comparing the features of the diffuse alpha pattern with the normal alpha pattern using wavelet-crosscorrelation analysis. International Journal of Affective

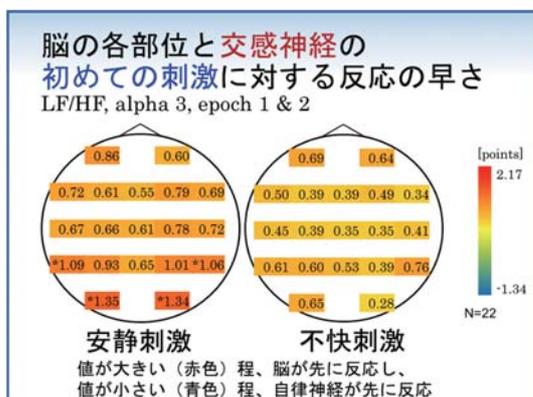


図 2 初めての刺激に対する脳と交感神経反応

- Engineering (IJAE), vol. 19, no. 1, pp. 21-30, DOI. org/10.5057/ijae.IJAE-D-18-00034, Jan. 31, 2020
3. Yuko Mizuno-Matsumoto, Yuji Inoguchi, Shohei Kobayashi, Steven M. A. Carpels, Ayumi Muramatsu. How do the Parasympathetic Nervous System and EEG Respond to Emotional Memory Recall? IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, vol. 14, pp. 1082-1090, DOI.org/10.1002/tee.22903, Mar. 14, 2019
 4. Shinichi Tamura, Yoshi Nishitani, Chie Hosokawa, Yuko Mizuno-Matsumoto. Asynchronous multiplex communication channels in 2D neural network with fluctuating characteristics, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol. 30, No. 8, pp. 2336-2345, DOI. org/10. 1109/TNNLS. 2018. 2880565, Dec. 14, 2018, Aug. 1, 2019
 5. Yoshihiro Tsuji, Naoki Suzuki, Yusuke Sakai, Yasumasa Hitomi, Toshiko Tokoro, Masato Nishimura, Yuko Mizuno-Matsumoto. Relationship between dream anxiety in recurrent nightmare and indefinite complaints in patients undergoing maintenance hemodialysis: a cross-sectional study. International Journal of Affective Engineering (IJAE), Vol. 17, No. 3, pp. 213-220, DOI. org/10. 5057/ijae.IJAE-D-18-00004, Jun 29, 2018
 6. 藤後栄一, 新田幸子, 水野(松本)由子, 石垣恭子. 精神疾患患者のための在宅療養支援システムの開発. 日本感性工学会論文誌, vol. 18, no. 4, pp. 331-341, doi: 10.5057/jjske.TJSKE-D-18-00066, 8月30日, 2019
 7. 村松 歩, 小林昌平, 水野(松本)由子. スマートフォンを用いた情動刺激による脳波の複雑ネットワーク解析. 日本感性工学会論文誌, vol. 18, no. 4, pp. 263-271, https://doi.org/10.5057/jjske.TJSKE-D-18-00080, 8月30日, 2019
 8. 猪口祐次, 小林昌平, カーペルス M. A. ステイブン, 水野(松本)由子. 情動刺激直後の脳波と心拍変動の時間差解析. 電子情報通信学会和文論文誌, Vol. J102-D, No. 4, pp. 350-358, Apr. 1, 2019
 9. 奥谷研, 丸野美佐, 濱崎光弘, 安福ひとみ, 山田大豪, 水野(松本)由子. 地域在住の精神障害者に対する作業療法プログラムの介入方法の違いが精神機能や自律神経機能に与える変化. 日本作業療法研究学会雑誌, Vol. 21, No. 2, pp. 1-7, 12月1日, 2018
 10. 山口 梢, 猪口祐次, 佐久間 俊, Steven M. A. CARPELS, 水野(松本)由子. てんかん性異常波の持続時間の違いにおけるウェーブレット相互相関解析を用いた脳波の部位間関連性及び情報伝播の可視化. 電気学会論文誌 C, Vol. 138, No. 8, pp. 1045-1053, 8月1日, 2018