

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K20324

研究課題名（和文）注意散漫状態の時系列解析と閾下刺激を用いた注意喚起システムについて

研究課題名（英文）Time series analysis of distractor states, and alerting systems using subthreshold stimuli

研究代表者

伊東 嗣功 (Ito, Hidekatsu)

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教

研究者番号：30757282

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：課題失敗直前の酸素化ヘモグロビン信号の傾向から、課題失敗をする前にその予兆を検出することが可能か検討した。その結果、課題失敗直前において酸素化ヘモグロビン信号が増加する傾向を確認した。その酸素化ヘモグロビン信号が増加しているタイミングで閾下刺激を提示することで、課題正答率を制御可能か検討したが有効な結果は得られなかった。採用した課題の刺激提示間隔とfNIRSの時間分解能の関係から、刺激に依存した酸素化ヘモグロビン信号の変化をとらえきれない可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ドライバーの注意散漫な状態を背景とした漫然運転は人的事故要因の約半数を占めていると考えられており、注意散漫状態を正確かつ高速に検出することは交通事故の予防やQOLの向上につながる。一般生活中においても、注意散漫状態における課題への失敗など、何かしらのタスクエラーを起こす前にその予兆を検出することが可能になれば、間違える前に注意喚起をするシステムについても検討が可能になる。また注意喚起を閾下で提示可能になれば、いわゆる意識に上らないような注意喚起システムが提案できると考えた。本研究において課題失敗の予兆検出には成功したが、閾下刺激を用いた注意喚起システムとして有効な結果は得られなかった。

研究成果の概要（英文）：We investigated whether it is possible to detect signs of task failure based on the trend of the oxygenated haemoglobin signal immediately before task failure. The results showed that the oxygenated haemoglobin signal tended to increase immediately before task failure. When the signal related to the task failure was detected, a subthreshold stimulus was presented and the effect on the task correct response rate was examined. However, no effect of the subthreshold stimuli on the correct response rate was found. The stimulus interval of the sustained attention task was short compared to the temporal resolution of NIRS, suggesting that stimulus-dependent changes in the signal may not be captured.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：機能的近赤外線分光法 注意 持続的注意課題

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

注意散漫状態は覚醒時間のおよそ半分程度で生起していると報告されており、そういった注意散漫状態を背景とした漫然運転は人的事故要因の約半数を占めていると考えられている[1]。注意散漫状態を正確かつ高速に検出することは交通事故の予防や QOL の向上につながる。近年では注意散漫状態を高速に検出するため、カメラや生体計測を用いて「覚醒度」、「わき見」、「意識のわき見」の解析が行われている。「覚醒度」や「わき見」はカメラや眼電位計測で目の動きを解析することで、開瞼度や視線からリアルタイムに検出可能である。「意識のわき見」は視線が注意を向ける対象に向いていても意識は他に向いている状態であり、カメラによるサッケードの解析、脳血流計測による酸素化ヘモグロビンや脳波による検出が試みられている。こういった背景から、漫然運転による事故予防や自動運転のためのドライバーの状態検知技術の開発が進められている。

機能的近赤外線分光法(functional Near Infrared Spectroscopy, fNIRS)を用いた先行研究では、持続的注意課題に失敗する直前の酸素化ヘモグロビン信号が賦活すると報告している[2]。その成果を応用して課題失敗直前に、被験者に警告刺激などを与えるようなシステムを構築できれば、ドライバーの注意散漫な状態を解消可能になると考えた。そのため本研究では、被験者に取り組みせる課題を先行研究に合わせた持続的注意課題を採用し、被験者の注意状態を計測する方法として fNIRS、眼球運動を選択した。当初、酸素化ヘモグロビン信号が計測可能な fNIRS を持ち合わせていなかったため von Lümann らが開発した fNIRS[3]を参考に開発を行い、各データの時系列情報の解析、注意散漫な状態において閾下刺激を与えることで課題正答率に影響があるか検討した。

2. 研究の目的

本研究では眼球運動や脳血流計測を組み合わせ、その時系列データから注意散漫状態を検出可能か検討し、さらに無意識下の注意喚起システムについても検討することを目的とした。

3. 研究の方法

目的を達成するには、システムの実現には覚醒状態から注意散漫状態に至るまでの時系列データを解析しながら、注意散漫状態のタイミングで閾下刺激を行う必要がある。リアルタイムに脳活動計測を行い被験者に閾下刺激を加えるため、眼球運動計測システムと脳血流計測システムを開発した。眼球運動計測システムはカメラと OpenCV を用いて開瞼度を計測し、脳血流計測システムに関して von Lümann らが開発した fNIRS を参考に開発した。被験者には開発した各計測システムを用いて計測を行いながら持続的注意課題に取り組んでもらった。

先行研究の報告にある課題失敗直前の酸素化ヘモグロビン信号の増加が確認されるか検証する。その酸素化ヘモグロビン信号が閾値以上に増加した際に、持続的注意課題のターゲットを提示するプログラムを開発した。

各信号の時系列データを取得しながら自己組織化マップを用いてデータを分類し、課題に間違いやすい傾向について解析を行う。また、間違いそうな信号検出後に閾下刺激を加えることで、意識下の刺激により正答率を変化させられるか検討した。持続的注意課題遂行中における閾下刺激の挿入方法については、視覚の閾下刺激が成立するように課題のターゲットを 10 ミリ秒提示されるように制御した。本研究に採用した持続的注意課題の詳細は引用文献[4]に記載した。

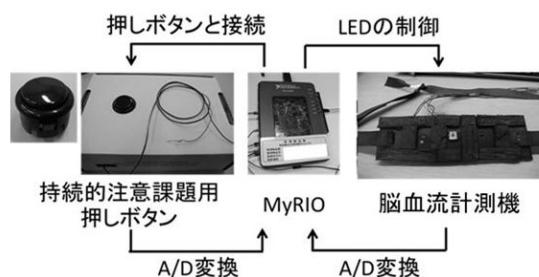


図1. 脳血流計測システム(1chの例)と持続的注意課題用の押しボタンの概要図

[4] Fig. 2より引用

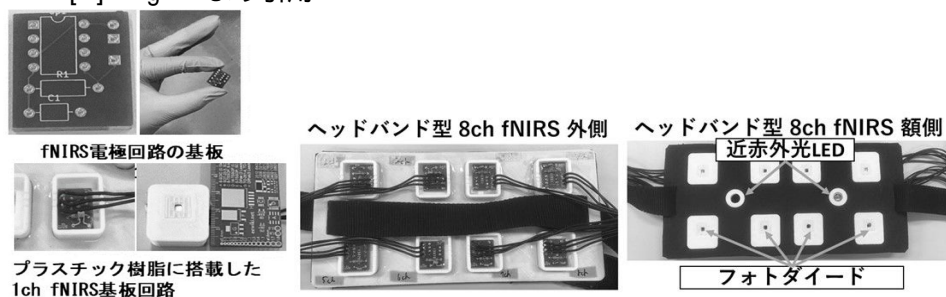


図2. 開発した8ch脳血流計測システム

4. 研究成果

開発した脳血流計測機を用いて、先行研究の報告にある課題失敗前に酸素化ヘモグロビン信号の増加が確認されるか検証した。国際 10-20 法の Fp2 の位置に fNIRS 電極が配置されるように調整して持続的注意課題を遂行した。持続的注意課題のターゲット提示回数をランダムとしているため、本報告では被験者 1 名の持続的注意課題の結果を掲載する[4]。その被験者の実験時において非ターゲットは 185 試行提示され、ターゲットは 15 試行提示された。ターゲットへの反応抑制に失敗した試行を SART Error、反応抑制に成功した試行を SART No Error としてまとめた(図 3)。ターゲットへの反応抑制に成功もしくは失敗したタイミングを 0 秒とし、ターゲット提示直前の 10 秒間の脳血流信号を解析したところ、課題失敗 1 秒前において SART Error と SART No Error の酸素化ヘモグロビン信号に有意差が確認された。その他、複数の被験者において課題失敗 1 秒前に酸素化ヘモグロビン信号が増加する傾向があることを確認した。この結果は先行研究の再現実験に一部成功したと言える。しかしながら、眼球運動計測の結果については持続的注意課題の成否との関係性を確認することができなかった。これは、持続的注意課題の 1 試行が注視点提示 1 秒、数字提示 0.5 秒で構成されているため、開眼率の傾向には影響を与えなかった可能性がある。持続的注意課題遂行中に視線計測も実施したが、持続的注意課題の注視点付近に視線が集まっており、眼球運動から課題失敗の予兆を検出することはできなかった。

当初は自己組織化マップにて時系列の因果関係を解析する予定であったが、本実験系において課題失敗の予兆検出に有効なのは酸素化ヘモグロビン信号のみとなった。そのため、当初予定していた各信号の時系列の因果関係をもとに閾下刺激を提示する実験を、酸素化ヘモグロビン信号が賦活して閾値を超えた段階で閾下刺激を加える実験に変更した。

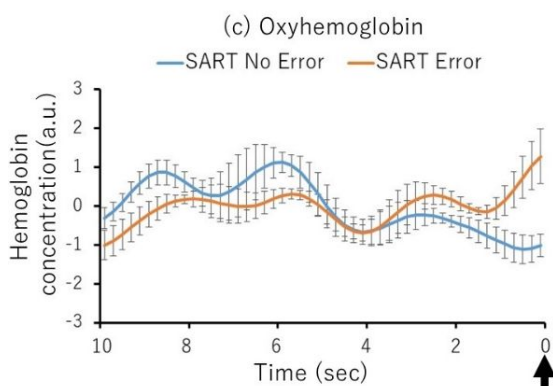


図 3. SART No Error 時と SART Error 時の酸素化ヘモグロビン信号
[4]Fig.3 C より引用

閾下刺激を用いた無意識下の注意喚起システムについても検討を行った。図 3 のように酸素化ヘモグロビン信号が閾値を超えた段階で、閾下刺激を提示することで持続的注意課題の正答率に影響を与えるか確かめた。持続的注意課題遂行中に閾下刺激により警告を与えた被験者群と閾下刺激をしなかった被験者群の課題正答率を比較したところ、閾下刺激により警告を与えた被験者群が数 %~10 %ほど正答率が上昇するものの、上記被験者群に有意差は確認されなかった。

この背景として、研究に採用した持続的注意課題の刺激間隔は注視点提示 1 秒、数字提示 0.5 秒で構成されているため、1.5 秒間隔で被験者は提示された数字に対して適切な応答をしなければいけない。fNIRS の装置としての時間分解能は 10 Hz ほどとされているが計測法の時間分解能はそこまで高くないと報告されている。そのため 1.5 秒間隔の刺激に対して、刺激に対応した酸素化ヘモグロビン信号の変化をとらえきれない可能性がある。それを背景とした実験構成と fNIRS の分解能の関係から、有効な閾値パラメータや閾下刺激になっていなかったと考えられる。

引用文献

- [1] 交通事故総合分析センター，交通事故総合分析センター交通事故分析レポート，No.103，(2004).
- [2] Durantin, G., Dehais, F., Delorme, A. : Characterization of mind wandering using fNIRS, Front Syst Neurosci., Vol.9, No.45, (2015).
- [3] von Luhmann, A., Wabnitz, H., Sander, T., Muller, K.R. : M3BA: A Mobile, Modular, Multimodal Biosignal Acquisition Architecture for Miniaturized EEG-NIRS-Based Hybrid BCI and Monitoring. ; IEEE Trans Biomed Eng., Vol.64, No.6, pp.1199-1210 (2017).
- [4] 伊東嗣功, 石井雅樹, 堂坂浩二. :持続的注意課題遂行中の脳血流信号の動態. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.21, No.2, pp.11-14 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 伊東嗣功, 石井雅樹, 堂坂浩二 | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 持続的注意課題遂行中の脳血流信号の動態 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ヒューマンインタフェース学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 151-154 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11184/his.21.2_151 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 伊東 嗣功, 鈴木 亜暉仁, 石井 雅樹, 堂坂 浩二 | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 ウェアラブル脳波計測器を用いた 波の事象関連脱同期とデフォルトモードネットワークの解析 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 知能と情報 | 6. 最初と最後の頁 663-667 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3156/jssoft.32.2_663 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|---------------------------------------------|
| 1. 発表者名 伊東嗣功, 石井雅樹, 堂坂浩二 |
| 2. 発表標題 EEG-fNIRS計測器を用いた持続的注意課題遂行中の脳信号計測 |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 伊東嗣功, 石井雅樹, 堂坂浩二 |
| 2. 発表標題 持続的注意課題遂行中のEEG-fNIRS信号 |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会 ライフエンジニアリング部門 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 宮原あずさ, 伊東嗣功, 石井雅樹, 堂坂浩二 |
| 2. 発表標題 持続的注意課題遂行中の事象関連電位計測 |
| 3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Akihito Suzuki, Hidekatsu Ito, Masaki Ishii, Kohji Dohsaka |
| 2. 発表標題 Emotional recognition with wearable EEG device. |
| 3. 学会等名 IEEE 1st Global Conference on Life Sciences and Technologies(LifeTech) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 鈴木亜暉仁, 伊東嗣功, 石井雅樹, 堂坂浩二 |
| 2. 発表標題 ウェアラブル脳測定器による感情推定に関する研究 |
| 3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 佐藤哲也, 船瀬新王, 伊東嗣功 |
| 2. 発表標題 マインドワンダリング検出を目的とする低コストwearable 化NIRSデバイスの開発 |
| 3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-------------------------------------------|
| 1. 発表者名 鈴木 亜暉仁, 伊東 嗣功, 石井 雅樹, 堂坂 浩二 |
| 2. 発表標題 ウェアラブル脳波計測器を用いた快-不快画像提示中の脳活動計測 |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |