

令和元年5月31日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00375

研究課題名(和文) 各種生体信号と各種感覚刺激を組み合わせた眠気マネジメント

研究課題名(英文) Drowsiness management combining various physiological signals and sensory stimuli

研究代表者

伊賀崎 伴彦 (Igasaki, Tomohiko)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：70315282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：カロリンスカ眠気尺度により評価された眠気について、そのときの脳波、心拍変動、注視・瞬目時間によって3段階(眠気なし/弱い眠気なし/強い眠気あり)を検知できることを見出した。また、回帰型サポートベクター回帰モデルを開発し、脳波による9段階の眠気推定や、過去5分間の脳波から30秒未来の眠気予測ができることも発見した。さらに、4・64%のグレープフルーツ・ラベンダー香嗅覚刺激による眠気減少/眠気維持を、カロリンスカ眠気尺度、脳波、心拍変動で認めた。以上より、嗅覚刺激の種類や濃度を変化させることで眠気に対する覚醒効果をマネジメントし、それを脳波や心拍変動解析でモニタリングすることの可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生体信号による眠気の客観的評価に関する研究の多くは、ある一つの生体信号に対してある一つの解析方法を適用した場合について報告されることが多い。これに対して本研究課題では、同時に計測された複数の生体信号を多次的に解析することにより、信頼性の高い眠気の予測の可能性を示唆した。本研究課題の遂行により、眠気を適切にコントロールできるようになり、結果として生産効率の向上や事故の防止に貢献できる。また、「眠気」から「睡眠」へと展開することで「睡眠時無呼吸症候群」や「乳幼児突然死症候群」の予知も期待されることから、その足掛かりとして意義がある。

研究成果の概要(英文)：We could detect drowsiness in 3-level (awake/weak drowsiness/strong drowsiness, evaluated by Karolinska sleepiness scale (KSS)) with an electroencephalogram (EEG), heart rate variability (HRV) or gaze/blink time. Also, we developed a recurrent support vector regression model and made it possible to estimate 9-level drowsiness using EEG. Further, we could predict drowsiness of 30 seconds ahead from EEG of 5 minutes ago. On the other hand, drowsiness reduction/awakening maintenance due to 4 or 64% grapefruit or lavender scent stimulation was observed in KSS, EEG, and HRV. From the above, the possibility to manage the awakening effect on drowsiness by changing type or concentration of olfactory stimulation, and to monitor it by EEG or HRV analysis was suggested.

研究分野：感性情報学

キーワード：感性計測評価 モニタリング マネジメント 生体信号 嗅覚刺激 眠気

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

当初の眠気評価については、アンケートやポリグラフによりなされていた。しかし、現在もしくは過去の眠気の評価できるものの、未来の眠気を予測することはできなかった。眠気解消については、昼寝やカフェイン摂取などの方法が挙げられるが、仮眠や運動が許されない場合は困難であった。

2. 研究の目的

まず、ポリグラフから生体信号に対して各種解析を行い、得られる定量値により近未来の眠気の予測を第一の目的とした。さらに、眠気解消の方法として感覚刺激を採用し、強度、タイミング、持続時間を明らかにすることを第二の目的とした。

(1) 生体信号から近未来の眠気を客観的、定量的に予測することが可能か

ポリグラフから得られた生体信号に対して各種解析を行い、得られる定量値により近未来の眠気の予測を試みた。また、どの生体信号にどのような解析を適用すると良い予測が得られるかを明らかにすることにより、信頼性の向上を図ろうとした。

(2) 眠気を減少させる(増加させない)感覚刺激を効果的に与えることが可能か

どの感覚刺激をどれくらいの強度で、いつ、どれくらいの時間与えるかはまったく不明であるため、本応募研究課題においては、嗅覚刺激を候補として、これらを明らかにしようとした。

3. 研究の方法

被験者に模擬運転を行ってもらい、そのときの眠気を9段階で評価する主観的眠気アンケート(カロリンスカ眠気尺度=KSS)により評価してもらった(心理学的指標)。同時にポリグラフにより脳波、心電図、眼球運動などの生体信号を計測、解析し、帯域パワー(脳波)、心拍変動(心電図)、注視・瞬目時間(眼球・眼瞼運動)の生理学的指標を得た。そして、生理学的指標から被験者の近未来の眠気を予測し、とくに強い眠気を予知する手法の確立を目指した。

つぎに、被験者に感覚刺激(嗅覚刺激)を与え、眠気を減少させる(増加させない)効果的な刺激の種類や方法を検討した。

(1) 生体信号から近未来の眠気を客観的、定量的に予測することが可能か

19~35歳の健常男性16名を被験者とし、8~10および13~15時の間にドライビングシミュレータに搭乗してもらい、障害物のない全長2.4kmの楕円形のサーキットを100km/hで50分間継続運転するという実験を4回課した。このとき、被験者の脳波、心電図、眼球運動を計測するとともに顔表情を録画した。実験終了後、録画した顔表情を再生し、被験者にそれを見てもらいながら30秒ごとにKSSに回答してもらった。そして、1)後頭部(O1)脳波を解析して得られた5パラメータ、2)心電図(心拍変動)を解析して得られた16パラメータ、3)眼球・眼瞼運動(注視・瞬目時間)などを解析して得られた9パラメータ、とKSSの関係を検討し、眠気の検知、推定、近未来の予測を試みた。

(2) 眠気を減少させる(増加させない)感覚刺激を効果的に与えることが可能か

22~24歳の健常男性4名を被験者とし、8~10および13~15時の間に実験室内の椅子に座ってもらい、開始5分から30秒間の嗅覚刺激(グレープフルーツ香)を行い、10分間の刺激間隔をとり、合計5回嗅覚刺激を行うという実験を4回課した。このとき、模擬運転実験と同様の計測(除、眼球運動)を行った。これを1回の実験とし、被験者に日を改め合計4日行った。そして、1)脳波パラメータ、2)心拍変動パラメータ、とKSSの関係を検討し、嗅覚刺激が眠気に与える影響を明らかにしようとした。また、3)効果的な刺激の種類や方法の検討として、23歳の健常男性1名を被験者とし、8~10および13~15時の間に実験室内の椅子に座ってもらい、開始5分から30秒間の嗅覚刺激を行った。嗅覚刺激では無香(水)と濃度4%および64%のグレープフルーツ香(アロマオイル)、濃度4%および64%のラベンダー香(アロマオイル)の5種類をランダムに提示した。5分間の刺激間隔をとり、各香2回(合計10回)の嗅覚刺激を行うという実験を午前と午後の2回課した。これを1回の実験とし、日を改め2回の実験を行った。

4. 研究成果

(1) 生体信号から近未来の眠気を客観的、定量的に予測することが可能か

1) 脳波

KSSが高値を示すほど絶対帯域パワー、(+) / 帯域パワー比、Hjorth's Activityは低値となり、 / 帯域パワー比、Hjorth's Mobilityは低値となることが観察された。そこで、KSSが5以下を「眠気なし」、6および7を「弱い眠気あり」、8および9を「強い眠気あり」として、サポートベクターマシン(SVM)により5パラメータから3段階の眠気の検知を試みたところ、91.3±3.0%の検知精度を得た。また、5パラメータを説明変数、KSSを目的変数とする回帰型サポートベクター回帰(RSVM)モデルを開発し、9段階の眠気の推定を試みたところ、決定係数0.83、二乗平均平方根誤差0.15の推定精度を得た。さらに、サポートベクター回帰(SVR)モデルにより現在を含めた過去5分間の5パラメータから30秒未来の眠気(KSS)の予測を試みたところ、二乗平均平方根誤差0.52の予測精度を得た。

2) 心電図(心拍変動)

KSSが高値を示すほど、時間領域解析4パラメータ(MeanRR、SDRR、pRR50、RR50)、周波数領域解析5パラメータ(VLF、LF、HF、TP、LF/HF)および非線形解析2パラメータ(pSD2、1)

は高値となる傾向、別の非線形解析 3 パラメータ (SampEn、 α 、slope) は低値となる傾向、さらに別の非線形解析 2 パラメータ (SSD1、SSD2) は増加傾向の被験者と減少傾向の被験者が半数ずつとなることが観察された。そこで、脳波の場合と同様に、SVM により 16 パラメータから 3 段階の眠気の検知を試みたところ、 $85.9 \pm 3.3\%$ の検知精度を得た。

3) 眼球・眼瞼運動 (注視・瞬目時間)

KSS が高値を示すほど、注視時間 (GF)、注視回数 (GC)、注視 1 回あたり時間 (RG)、非注視時間 (NF) および非注視回数 (NC) は低値となり、瞬目時間 (BF)、瞬目回数 (BC)、非注視 1 回あたり時間 (RN) および瞬目 1 回あたり時間 (RB) は高値となることが観察された。そこで、脳波や心電図の場合と同様に、SVM により 9 パラメータから 3 段階の眠気の検知を試みたところ、 $76.3 \pm 8.2\%$ の検知精度を得た。

4) 総括

本研究課題では、脳波、心電図 (心拍変動)、眼球・眼瞼運動 (注視・瞬目時間) から 3 段階の眠気を検知できることが示唆された。また、脳波から 9 段階の眠気を推定できること、過去 5 分間の脳波から 30 秒未来の眠気を予測できることも示唆された。

(2) 眠気を減少させる (増加させない) 感覚刺激を効果的に与えることが可能か

1) 脳波

グレープフルーツ香刺激時に 帯域パワーが減少していることが見られた。このとき、KSS も下がっていたことから、グレープフルーツ香による覚醒効果が示唆された。

2) 心電図 (心拍変動)

MeanRR (平均心拍間隔) の変化率が増加するにつれて KSS の変化量も増加すること (正の相関) が見られたことから、グレープフルーツ香の眠気に対する覚醒効果を心拍変動解析でモニタリングできることが示唆された。

3) 効果的な刺激の種類や方法の検討

無香 (U)、4%グレープフルーツ香 (4%G)、64%グレープフルーツ香 (64%G)、4%ラベンダー香 (4%L) および 64%ラベンダー香 (64%L) による嗅覚刺激前後 30 秒の KSS スコアの平均 \pm 標準偏差 (paired t 検定による p 値) は、U (前) 8.50 ± 0.76 (後) 8.13 ± 1.13 ($p=0.50$)、4%G (前) 8.88 ± 0.35 (後) 8.13 ± 0.83 ($p=0.16$)、64%G (前) 7.88 ± 0.99 (後) 6.88 ± 1.46 ($p=0.09$)、4%L (前) 8.63 ± 0.74 (後) 7.63 ± 1.30 ($p=0.06$) および 64%L (前) 8.13 ± 0.76 (後) 7.13 ± 1.13 ($p=0.19$) であった。無香による嗅覚刺激後と比べて、グレープフルーツ香およびラベンダー香による嗅覚刺激後の KSS スコアが低下する傾向がみられ、特に 64%G と 4%L において有意に準ずる KSS スコアの低下がみられた。加えて、計測した心電図に対して心拍変動解析により 16 指標値を算出し、嗅覚刺激前後 5 分について指標値の変化を検討した。その結果、無香において嗅覚刺激後の MeanRR (平均心拍間隔) (前) 862 ± 77.8 (後) 891 ± 86.4 、VLF (心拍変動の 0.0033 ~ 0.15Hz パワー) (前) 4.67 ± 0.86 ($\times 10^7$) (後) 5.03 ± 1.00 ($\times 10^7$)、TP (心拍変動の 0.0033 ~ 0.04Hz パワー) (前) 4.89 ± 0.95 ($\times 10^7$) (後) 5.25 ± 1.09 ($\times 10^7$) に有意な増加を認め ($p < 0.05$) が、グレープフルーツ香およびラベンダー香による嗅覚刺激後のそれに有意な変化は認めなかった ($p > 0.05$)。

4) 総括

本研究課題では、嗅覚刺激の種類や濃度を変化させることで眠気に対する覚醒効果をマネジメントし、それを脳波や心拍変動解析でモニタリングすることの可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

- [1] Igasaki T, Nagasawa K, Akbar IA, Kubo N : Sleepiness classification by thoracic respiration using support vector machine. Proceedings of the 9th Biomedical International Conference (BMEiCON) : 5 pages, 2016. (査読有)
- [2] 宇都宮光拓, Rumagit AM, Akbar IA, 伊賀崎伴彦 : ドライビングシミュレータ環境における注視時間情報を用いた眠気評価. 電子情報通信学会技術研究報告 116(435) : 47-51, 2017.
- [3] Igasaki T, Shimai S, Kobayashi M : Measuring cardiorespiratory information in sitting position using multiple piezoelectric sensors. Indonesian Journal of Computer Science and Electrical Engineering 6(1) : 132-138, 2017. (査読有)
- [4] Rumagit AM, Akbar IA, Igasaki T : Gazing time analysis for drowsiness assessment using eye gaze tracker. Telkomnika 15(2) : 919-925, 2017. (査読有)
- [5] Igasaki T, Morie T, Akbar IA, Rumagit AM : Drowsiness Estimation by Potentials of Unbalanced Complex Kinetics Analysis for Heart Rate Variability. Proceedings of Life Engineering Symposium : 75-80, 2017.
- [6] Akbar IA, Rumagit AM, Utsunomiya M, Morie T, Igasaki T : Three drowsiness categories assessment by electroencephalogram in driving simulator environment. Proceedings of the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) : 2904-2907, 2017. (査読有)
- [7] Igasaki T, Shimai S, Kobayashi M : Measurement of heartbeat intervals in a sitting

position using multiple piezoelectric sensors with body movement reduction. Proceedings of the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) : 3301-3304, 2017. (査読有)

- [8] Igasaki T, Morie T, Utsunomiya M, Akbar IA, Rumagit AM : Can potentials of unbalanced complex kinetics of heart rate variability estimate drowsiness? Proceedings of the 10th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON) : 5 pages, 2017. (査読有)
- [9] Rumagit AM, Akbar IA, 宇都宮光拓, 森江崇正, 伊賀崎伴彦 : 模擬運転環境における眼電図からの注視・瞬目パラメータによる眠気評価. 電子情報通信学会技術研究報告 117(416) : 7-11, 2018.
- [10] Rumagit AM, Akbar IA, Utsunomiya M, Morie T, Igasaki T : Gazing as actual parameter for drowsiness assessment in driving simulators. Indonesian Journal of Computer Science and Electrical Engineering 13(1) : 170-178, 2019. (査読有)
- [11] 黒木信一郎, 和久屋愛美, 伊賀崎伴彦 : 圧電センサを用いた心拍測定における心拍変動指標の精度評価. 電子情報通信学会技術研究報告 118(436) : 79-83, 2019. [学会発表](計 17 件)
- [1] Akbar IA, Nagasawa K, Kubo N, Igasaki T, Murayama N : EEG analysis for drowsiness estimation on driving simulator environment using Hjorth's parameters. The 10th ICME International Conference on Complex Medical Engineering : Utsunomiya, 2016年8月4~6日.
- [2] Igasaki T, Nagasawa K, Akbar IA, Kubo N, Murayama N : Study on drowsiness classification by thoracic respiration using multinomial logistic regression analysis. The 10th ICME International Conference on Complex Medical Engineering : Utsunomiya, 2016年8月4~6日.
- [3] 宇都宮光拓, 長澤一樹, 伊賀崎伴彦 : 胸郭呼吸曲線による 3 段階眠気分類に関する基礎的研究. 第 69 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 宮崎市, 2016年9月29~30日.
- [4] 島井祥伍, 久保樹生, 伊賀崎伴彦 : 垂直水平眼電図による 3 段階眠気分類に関する基礎的研究. 第 69 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 宮崎市, 2016年9月29~30日.
- [5] 島井祥伍, 伊賀崎伴彦, 小林牧子 : 圧電センサアレイを用いた心拍情報の測定に関する研究~体動の影響によるノイズの低減・除去法についての検討~. 日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 福岡市, 2017年3月4日.
- [6] 宇都宮光拓, Rumagit AM, Akbar IA, 伊賀崎伴彦 : 注視時間情報を用いた模擬運転環境における眠気評価. 日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 福岡市, 2017年3月4日.
- [7] 森本悠介, 森江崇正, 宇都宮光拓, Rumagit AM, Akbar IA, 伊賀崎伴彦 : 呼吸曲線による模擬運転中の欠伸および体動の検出に関する基礎的研究. 第 70 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 那覇市, 2017年9月26日.
- [8] 森江崇正, 宇都宮光拓, Rumagit AM, Akbar IA, 伊賀崎伴彦 : 自己眠気評価と他者眠気評価の差異に関する基礎的研究. 第 70 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 那覇市, 2017年9月26日.
- [9] 宇都宮光拓, 森江崇正, Akbar IA, Rumagit AM, 伊賀崎伴彦 : 模擬運転中の心拍変動解析による眠気予測に関する基礎的研究. 第 70 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 那覇市, 2017年9月26日.
- [10] 澁田新, 宇都宮光拓, 森江崇正, Akbar IA, Rumagit AM, 伊賀崎伴彦 : 脈波伝播時間による模擬運転中の眠気推定に関する基礎的研究. 第 70 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 那覇市, 2017年9月26日.
- [11] 宇都宮光拓, 森江崇正, Rumagit AM, Akbar IA, 伊賀崎伴彦 : 心拍変動解析による模擬運転中の眠気予測可能性. 日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 飯塚市, 2018年3月3日.
- [12] Igasaki T : Toward drowsy driving prevention Detection then prediction of drowsiness by biological signals . The 3rd RSU National and International Research Conference on Science and Technology, Social Sciences, and Humanities (RSUSSH) : Bangkok, 2018. (招待講演)
- [13] 黒木信一郎, 伊賀崎伴彦, 小林牧子 : 圧電センサを用いた心肺情報の測定に関する基礎的研究 センサ数とセンサ配置の再検討 . 第 71 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 大分市, 2018年9月27日.
- [14] 馬場勇太, 伊賀崎伴彦 : 脳波および心拍変動解析を用いた グレープフルーツ香刺激時の眠気評価に関する基礎的研究. 第 71 回電気・情報関係学会九州支部連合大会 : 大分市, 2018年9月27日.
- [15] Kuroki S, Igasaki T, Kobayashi M : Rearrangement of piezoelectric sensor array for measurement of cardio-respiratory signals while seating. The 13th International Student Conference on Applied Science and Technology (ICAST) : Manila, 2018年11月28日. (Best Presentation受賞)

[16] Baba Y, Igasaki T : Pilot study on drowsiness evaluation by grapefruit fragrance using electroencephalogram and heart rate variability. The 13th International Student Conference on Applied Science and Technology (ICAST) : Manila, 2018年11月28日.

[17] 黒木信一郎, 和久屋愛美, 伊賀崎伴彦 : 圧電センサを用いた着座時の心拍・呼吸情報測定と心拍変動指標の精度評価. 日本生体医工学会九州支部学術講演会 : 福岡市, 2019年3月2日.

〔図書〕(計2件)

[1] 林光緒, 伊賀崎伴彦, 他 50名 : ドライバ状態の検出, 推定技術と自動運転, 運転支援システムへの応用. 技術情報協会 : 219 - 233, 2016.

[2] 荒川俊也, 伊賀崎伴彦, 他 56名 : 生体情報センシングとヘルスケアへの最新応用. 技術情報協会 : 9 pages, 2017.

〔その他〕

ウェブサイト

<https://brain.cs.kumamoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。