

心電図および脳波解析による LED 搭載ハンドルを用いた呼吸統制法の提案

神谷 裕作 指導教員：小栗 宏次

1 はじめに

居眠り運転は事故が発生する際に直前の危機回避行動を取ることができないため、重大な事故に繋がりがやすい。居眠り運転防止に向けた取り組みの中でも、本研究では、眠気の進行を遅延させる効果が確認されている「呼吸統制」に着目する [1]。呼吸活動は、意識的にコントロールすることで自律神経系など生体に様々な影響を与えることが知られている。呼吸統制を実施する際、視覚や聴覚に対して、統制したい呼吸リズムの刺激を提示する必要がある。しかし自動車内での呼吸統制を想定した場合、聴覚的に呼吸リズムを提示することは同乗者への影響の点から不向きであると考えられる。そこで本研究では、居眠り運転を防止するための呼吸統制に最適な視覚的呼吸リズムの提示方法を提案する。

2 自動車内での呼吸統制法

運転中に呼吸統制を実施するため、ドライバーの運転を妨げないように呼吸リズムは周辺視に対して提示する。近年、LED を搭載することで視覚的にドライバーに情報を提示することのできる車載機器が増えている。特にハンドルにおいては常にドライバーの正面に位置し、容易に付け替えができることから本研究では図 1 に示す LED を搭載したハンドルを用いてドライバーに視覚的に呼吸のリズムを提示する。

呼吸リズムの視覚的な表現の仕方は主に表 1 に示すような表現方法が考えられる。表 1 の表現方法を用いた 12 種類の点灯パターンを用意した。それぞれの表現方法ごとに Scheffe の一対比較法によって呼吸の合わせやすさを評価する。Scheffe の一対比較法とは、評価対象の順序のだけでなく、尺度まで評定できる方法である。評価者 j による点灯パターン i の評価値の合計を x_{ij} 、評価対象数 t 、評価者数 n とすると、式 1 によって呼吸の合わせやすさ α_i を算出する。

$$\alpha_i = \frac{1}{tn} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (1)$$

図 2 に表現方法ごとに一対比較法によって 18 名の評価者が評価した結果を示す。赤で示したものは他の点灯パターンと比較して有意に呼吸を合わせやすいと判断された点灯パターンである。有意に呼吸をあわせやすいと判断された点灯パターンを用いて、実際にドライビングシミュレータ (DS) を運転しながら呼吸統制を実施した。5 名の被験者の主観評価によって図 1 に示

表 1 光刺激を用いた吸気呼気の表現方法

吸気と呼気の表現方法	備考
光の明暗	明度の上昇および減少
光の点滅速度	速い点滅および遅い点滅
点灯位置の変更	点灯位置の変更方向の切り替え
点灯位置の増減	点灯位置の増減方向の切り替え



図 1 LED 搭載ハンドルの点灯パターン

す「ハンドル上部を起点として、点灯位置を増減させる点灯パターン」がもっとも呼吸を合わせやすいと判断された。

3 眠気進行の遅延効果

眠気進行の遅延効果の評価には、北島らによって提案されている眠気表情評定を用いる [2]。文献 [2] に記述されている基準に従って、熟練の評価者が走行開始から 10 秒ごとに 5 段階の評定を行う。眠気の進行時間は、眠気表情値が 3 に到達してから 4 に到達するまでの時間とし、呼吸統制を実施する場合と実施しない場合の差分値によって眠気進行の遅延時間を算出する。

また、脳波および心電図を用いて呼吸統制によるドライバーの覚醒効果を評価する。脳波は低周波数帯域から、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波と分類される。特に α 波は安静状態で現れるような帯域であり、 β 波は覚醒状態で現れやすい波形であるとされている。そこで本研究では、(Fast Fourier Transform : FFT) を用いて各周波数帯域の 60 秒間のパワースペクトルを算出し、眠気表情値との相関の高い指標でもある、 β 波における α 波の割合 α/β を用いて覚醒効果を評価する。

また、短時間の心拍間隔の変動は主に自律神経によって調節されており、心拍間隔の変動は自律神経中枢の活動を反映している。心電図の R 波ピークの発生時間の差である R-R 間隔 (R-R Interval: RRI) を周波数分解し、低周波数帯域 (0.04Hz~0.15Hz) である LF と、高周波数帯域 (0.15Hz~0.45Hz) である HF の 60

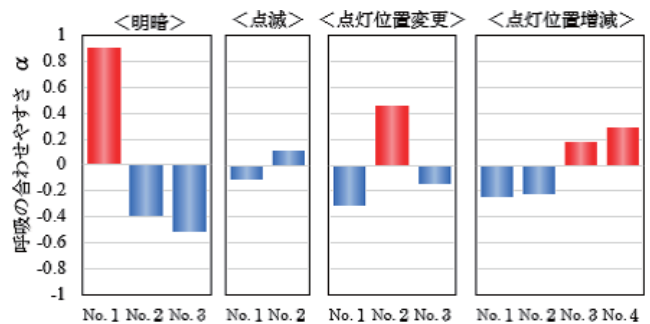


図 2 一対比較法による評価結果

秒間ごとのパワースペクトルを算出し、式 2 および式 3 によって副交感神経活動指標 (Parasympathetic Nerve Activities : PNA) および交感神経活動指標 (Sympathetic Nerve Activities : SNA) を算出する。

$$PNA = \int_{0.15}^{0.45} Power(RRI_{sw})df \quad (2)$$

$$SNA = \frac{\int_{0.04}^{0.15} Power(RRI_{sw})df}{\int_{0.15}^{0.45} Power(RRI_{sw})df} \quad (3)$$

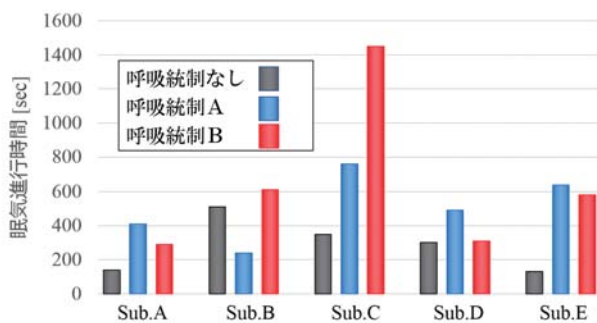
4 提案手法の効果検証

先行研究 [1] に従って、ドライビングシミュレータ (DS) を用いて LED 搭載ハンドルを用いた呼吸統制の効果の検証実験を実施した。まずはじめに脳波および心電図を計測するための電極を装着し、DS 内の座席等の調節を行う。その後 1 分間の練習走行として DS の走行を 1 分間実施する。夜間の高速道路コースを 80km/h で走行し眠気表情値が 4 に達するまで走行を行う。リアルタイムで被験者の眠気表情値を評定し、眠気表情値が 3 に達した時点から 2 分間、練習走行の際の 1 分間の呼吸数をベースに呼吸間隔が-50% となるような呼吸統制を実施する。5 名の被験者に対して、表 2 に示す 3 条件で実験を行った際の眠気進行時間を図 3 に示す。Sub.B の呼吸統制 A を除く全ての条件で通常走行条件と比較して、眠気進行時間が延びていることが確認された。

表 2 実験条件

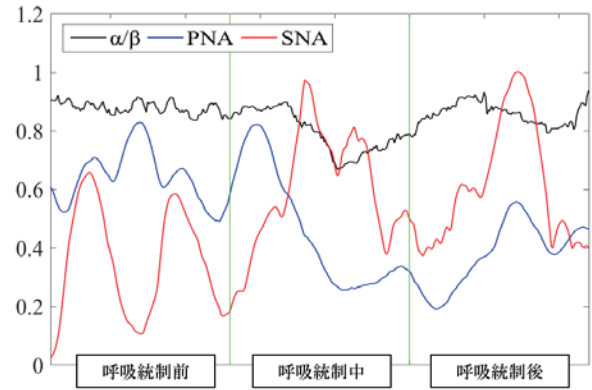
通常走行 (呼吸統制なし)
呼吸統制 A (上側を起点とした点灯範囲の増減)
呼吸統制 B (6 呼吸目からは一定リズムの点滅のみ)

図 3 全被験者の眠気進行時間の比較



また、眠気表情値が 3 に到達した時点に基づき、呼吸統制を実施する前の 120 秒間と比較して呼吸統制中の 120 秒間、呼吸統制後の 120 秒間がそれぞれ上昇または減少しているのかを検証した。呼吸統制を実施することで、図 4 に示すように眠気指標 α/β が減少し、交感神経指標が上昇、副交感神経指標が減少するという覚醒効果を確認することができた。表 3 にそれぞれの指標ごとに覚醒効果が確認された被験者数を示す。 α/β の結

図 4 各種生体信号指標の変化



果より、呼吸統制の途中から煩わしさを抑えた点灯パターンを提示した場合に覚醒効果が持続しないことが確認された。交感神経指標は呼吸統制中および呼吸統制後も変わらず上昇が持続しており、副交感神経指標は呼吸統制後に 5 名の被験者全員で減少が確認された。

表 3 覚醒効果の確認された被験者数

指標	条件	Lv.3	Lv.3+120
α/β	呼吸統制 A	3/5	4/5
	呼吸統制 B	3/5	2/5
交感神経	呼吸統制 A	4/5	4/5
	呼吸統制 B	3/5	5/5
副交感神経	呼吸統制 A	4/5	3/5
	呼吸統制 B	2/5	4/5

5 おわりに

本研究では、居眠り運転の予防に向けて、LED 搭載ハンドルを用いた視覚的な呼吸リズムの提示による呼吸統制法を提案した。呼吸リズムの提示に用いる点灯パターンの検討では、18 名の被験者に対して様々な種類の点灯パターンを提示し、一対比較法によって呼吸を合わせやすいと感じる点灯パターンを確認した。その後、実際に DS を用いて LED 搭載ハンドルを用いた呼吸統制を実施し、眠気進行の遅延効果を検証した。ドライバの顔表情、脳波、心電図を用いて評価を行った結果、呼吸統制中だけでなく、呼吸統制後も覚醒効果が継続されていることが確認され、LED 搭載ハンドルを用いた呼吸統制法が居眠り運転予防に効果的であることが示唆された。

今後の課題として、呼吸統制を行う区間や、呼吸気量の割合などの呼吸法のパラメータを検討する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 伊藤ら, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.35.9, pp.153-158, 2011.
- [2] 北島ら, JSME(C 編), 63 巻, 613 号, No.96-1780, pp.93-100, 1997.