

覚醒水準と瞬目率の関係性仮説

熊谷, 太郎
九州大学大学院システム情報科学府知能システム学専攻 : 修士課程

志堂寺, 和則
九州大学大学院システム情報科学研究院知能システム学部門

山村, 健
川崎医療福祉大学医療福祉学部

<https://doi.org/10.15017/1516217>

出版情報 : 九州大学大学院システム情報科学紀要. 11 (1), pp.17-22, 2006-03-24. 九州大学大学院システム情報科学研究院
バージョン :
権利関係 :

覚醒水準と瞬目率の関係性仮説

熊谷 太郎*・志堂 寺和則**・山村 健***

Hypothesis Relating Arousal Level and Blink Rate

Taro KUMAGAI, Kazunori SHIDOJI and Takeshi YAMAMURA

(Received December 9, 2005)

Abstract: The relation between arousal level and blink rate has not yet been clarified. One of the causes is a difference of the task done by previous study. Visual tasks greatly influence blink rate, therefore, it is necessary to examine the relation between arousal level and blink rate as it pertains to vision. In this study, the relation between arousal level and blink rate was examined through testing the effects that performing visual task and non-visual task (auditory task) had on 12 university students. The index of arousal level was an electroencephalogram (α -index). As a result of the experiment, we proposed hypothesis relating arousal level and blink rate. In this hypothesis, the blink rate decreases as arousal level decreases when arousal level decreases below a certain level. However, with visual tasks, the blink rate tends to temporarily increase as arousal level decrease. And, we also proposed extended hypothesis. In this hypothesis, when arousal level increases markedly, the blink rate also increases.

Keywords: Arousal level, Blink rate, Visual task, Non-visual task, Auditory task, α -index

1. はじめに

眠たそうな眼という言葉があるように、人は他人の眼部を見て眠気を判断することができる。このような主観的な覚醒水準の判断を、客観的に行うための研究が過去多数実施されてきている。

中でもまばたき（瞬目）は、測定が容易で日常場面で応用しやすいと期待できることもあり、覚醒水準を示す末梢神経系の指標として研究例が多い。しかしながら、覚醒水準と瞬目の関係については、先行研究の間で結果が一致していない。例えば、低覚醒水準状態の瞬目率（単位時間あたりの瞬目の回数）については、増加するという研究¹⁾もあるが、減少するという研究^{2) 3)}もある。

このような結果の相違が生じている原因のひとつとして、諸研究で用いられている課題の違いが考えられる。特に、課題を視覚的に提示するか否かで、瞬目生起に影響が表れるのではないかと考えられる。それは、視覚課題を用いた場合、被験者は課題遂行のために開眼していなければならないからである。このため、瞬目が抑制がちに課題が遂行されるであろう。実際、山田⁴⁾は、視覚情報処理課題において、瞬目生起が抑制されることを報告している。このとき、実験後の休憩時間には、実験中の瞬目抑制を補償するかのように瞬目が急に増加した。長時間にわたる実験では、瞬目の抑制や長時間の凝視のた

め、視覚疲労が生じやすい。したがって、視覚課題の場合、瞬目活動の変化は覚醒水準の低下以外の要因が引き起こした可能性もある。

一方、視覚課題以外の課題を用いた実験では、視覚疲労が少なく、視覚課題よりは純粋に覚醒水準と瞬目活動の関係を知ることができると期待できる。しかし、人間の活動のかなりの部分は視覚的に情報処理がなされるため、視覚課題以外の課題遂行時の瞬目活動研究は、現実場面への応用や適用が難しくなる。

過去研究には、このような課題の提示方法が覚醒水準と瞬目活動の関性に影響を及ぼすという考えに基づいた検討はない。そこで本研究では、課題を視覚的に提示するかどうかで、覚醒水準と瞬目率の関係がどう異なるのかを実験的に検討する。そして、本研究での結果をもとに、両者の関係についての仮説を提案する。もし、この仮説で先行研究の結果の違いが説明できるならば、覚醒水準と瞬目率の関係は、課題内容というよりは、課題の提示方法が大きく影響を与えるということが明らかになる。

覚醒水準は仮説的構成概念であるので、本研究では、覚醒水準を示す中枢神経系の指標として脳波の α 指数（単位時間当たりの α 波含有率）を用いる。一般的に覚醒水準が低下するにつれ α 波出現率が増加すると考えられ、 α 指数は多くの研究で覚醒水準の指標として用いられている^{5) 6)}。

平成17年12月9日受付

* 知能システム学専攻修士課程

** 知能システム学部門

*** 川崎医療福祉大学医療福祉学部

2. 実 験

本実験の目的は、覚醒水準と瞬目活動の関係を検討することである。このため、被験者に課題を視覚的に提示した場合とそうでない場合とで、瞬目率と覚醒水準の関係が異なるかどうかを調べる。本実験では、視覚課題以外の課題として聴覚課題を用いる。

2.1 方 法

2.1.1 被 験 者

被験者はK大学の男子学生12名(年齢範囲は19歳~23歳,平均年齢は21.33歳)で,眼科的・聴覚的疾患のない者とした。

2.1.2 課題及び刺激提示装置

課題は,順に提示される1桁の数字を3つ加算し,加算結果の1桁目の数字を答えさせるという暗算課題であった。数字は視覚課題と聴覚課題で同一であった。数字の選出は乱数表を用いて行ったが,選出の際,3つの数字を加算する過程で,1回の繰り上がりを要するよう統制した。

視覚刺激提示の制御はタキストスコープ(岩通アイセック製 IS-703AV タキストスコープ)を用いて行った。視覚刺激提示カラーディスプレイは22 inchであり,ディスプレイの中央に200 mm×200 mmの表示スペースを設けた。表示スペースの背景は白色であり,スペースの中央部に提示した数字の色は黒色であった。

視覚課題は,数字の提示時間が1秒,次の数字までの提示間隔が1秒とした。数字を1つずつ順に3つ提示し,その後に「*」を提示した。1試行は,「*」提示後の1秒のブランク(次の試行との間隔)を含めて8秒であった。

聴覚刺激の提示もタキストスコープを用いて制御した。聴覚刺激はヘッドフォン(パナソニック製 BP-HT95)を用いて被験者に提示した。聴覚課題では,数字の提示時間(0.7秒~0.8秒)と次の数字までの提示間隔とを合わせて2秒になるように設定した。刺激強度は約70 dBであった。3つの数字の提示後,1秒のビーブ音(約70 dB 500 Hz)を提示した。1試行は,ビーブ音後の1秒の無音時間も含めて8秒であった。

視覚刺激は画像編集ソフト(マイクロソフト製 Power Point とアドビシステムズ製 Photoshop5.0)を用いて作成した。聴覚刺激は音声処理ソフト(NEC カスタマックス製 Smart Voice4 XP)を用いて作成した。

2.1.3 生理指標の計測方法

脳波及び瞬目の測定にはポリグラフ装置(日本光電製 RM-600)を用いた。電極は脳波用皿電極(日本光電工業製 NE-155A)であった。また,課題遂行中の被験者の眼部周辺の様子と課題の回答状況を記録するためにビデオ

カメラ(ソニー製 Handycam Video Hi8)を用いた。

瞬目は垂直 EOG 法により右眼窩の上下から記録した。EOG 記録の時定数は2.0秒とし,感度は0.5 mV/mmとした。紙送り速度は25 mm/sであった。

脳波は Cz と Pz の2部位(国際式10-20電極配置法)から,右耳朶を基準電極として単極導出した。アース電極を前頭部の中心部に装着した。脳波記録の時定数は0.3秒で,感度は0.05 mV/mmとした。

2.1.4 質問紙

主観的な視覚疲労を評価するために,城⁷⁾による,自覚症しらのうち,「ぼやけ感」を測定する5項目を実験の前後で調査した。「ぼやけ感」の5項目とは,「目がかわく」,「目がいたい」,「ものがぼやける」,「目がつかれる」,「目がしょぼつく」である。各項目について,被験者に「まったくあてはまらない」~「非常によくあてはまる」の間で5段階評定を行わせた。

2.1.5 手 続 き

実験の実施時間帯は,12:00~17:00であった。実験場所はK大学生理心理学実験室,防音シールドルーム内であった。防音シールドルーム内の環境設定は室温24°Cで,照度は被験者の頭部で80 lxになるよう設定した。また,被験者の着席位置は,視覚刺激提示用カラーディスプレイの中心部が被験者にとって仰角8度で,かつ鼻根からディスプレイ中心部までの距離が1mになる位置であった。

被験者に電極装着後,課題内容についての教示を行い,練習課題を行わせた。その後,被験者の左側50 cmにビデオカメラを設置し,被験者の左眼部分が映るようにした。そして被験者に,課題中は椅子にもたれかかった姿勢でいること,身体を動かさず,目の前にあるディスプレイを見るようにすること,課題は出来るだけ正確に行い,途中で眠らないようにすること,閉眼しながら課題を行ってはならないことを教示した。3分の安静後,前課題(2分,15問)を行わせた。前課題終了後,質問紙に回答させ,本試行では1区間8分の課題を連続的に5区間(計40分,計300問)を行わせた。課題終了後,再度質問紙に回答させた。

実験は,刺激を視覚に提示する視覚条件と聴覚的に提示する聴覚条件の被験者内計画により行った。両条件はカウンターバランスを行った。実験は2日に分けて行い,同一被験者における両実験条件は10日以内に実施した。

2.1.6 結果の処理

アーチファクトにより脳波の解析が困難であった2名を除き,被験者10名を分析対象とした。このうち8名は問題なく課題をすべて遂行したが,2名は聴覚課題の途中で入眠したため,覚醒水準が特に低下したケースとして別途解析した。

瞬目は,瞬目持続時間が200 ms以上,1000 ms以下を

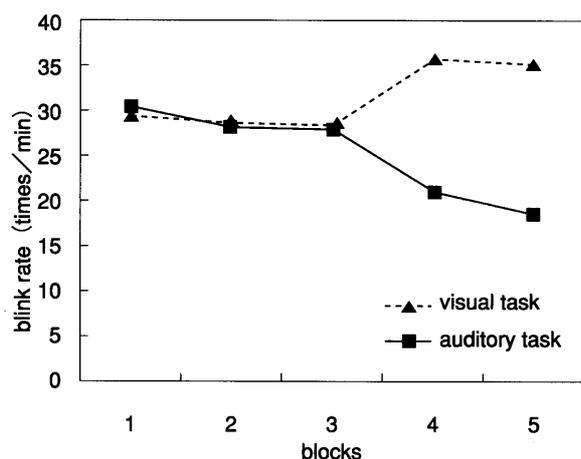


Fig. 1 Mean blink rate as a function of blocks.

満たし、瞬目振幅が $200 \mu V$ 以上のものとした。なお、瞬目以外の閉眼活動も覚醒水準と関係がある可能性が考えられたため、閉眼時間が 10 秒以内で、波形の立下りから立ち上がりまでが、1 秒以上、その波形の最大振幅が $200 \mu V$ 以上のものを短期的閉眼とし、1 分あたりの短期的閉眼数（短期的閉眼率）を算出した。瞬目や短期的閉眼について、記録紙データからは眼球運動と見分けがつきづらい場合は、撮影したビデオテープにより確認した。

脳波は Pz と Cz を分析対象とした。なお Cz は、実験中に入眠した被験者について、睡眠段階 1 の脳波で特徴的な頭蓋頂鋭波⁹⁾の出現を確認するためだけに用いた。8 ~ 13 Hz の波が 0.5 秒以上連続したものを α 波とみなした。 α 指数は各区間で、 α 波が占める割合を算出し、角変換した。

2.2 結果

2.2.1 瞬目率

Fig. 1 に瞬目率の結果を示した。課題の種類(2) × 区間(5)の被験者内分散分析を行ったところ、課題の種類と区間それぞれについては主効果が認められなかったが、交互作用が有意であった ($F_{(4,28)}=4.23, p<.01$)。そこで、各要因水準別の単純主効果を分析した結果、第 4 区間と第 5 区間で差が認められ (各々 $F_{(1,35)}=7.82, p<.01$; $F_{(1,35)}=9.88, p<.01$)、どちらの区間においても聴覚課題より視覚課題の瞬目率が多かった。なお、聴覚課題における区間要因の単純主効果については、Ryan 法による多重比較の結果、第 1 区間と第 5 区間の間で差が認められ ($t=3.01, p<.01$)、第 1 区間より第 5 区間の瞬目率が少なかった。

2.2.2 短期的閉眼率

Fig. 2 に短期的閉眼率の結果を示した。課題の種類(2) × 区間(5)の被験者内分散分析を行ったところ、課題の種類について主効果がある傾向が認められ ($F_{(1,7)}=4.49, p<.10$)、視覚課題より聴覚課題の短期的閉眼率が

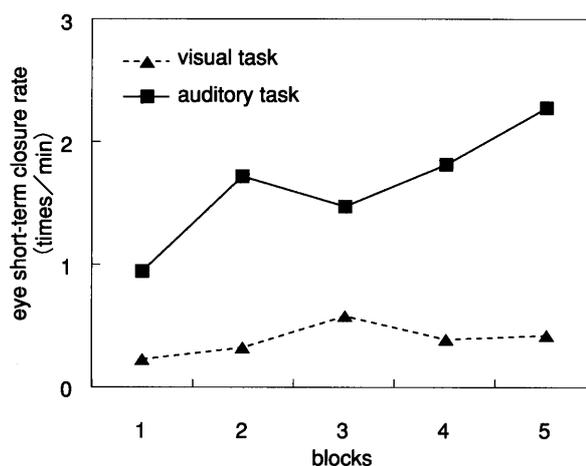


Fig. 2 Mean eye short-term closure rate as a function of blocks.

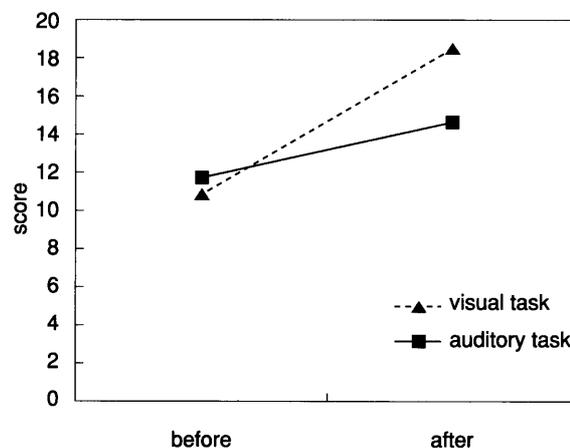


Fig. 3 Visual fatigue.

多かった。また、区間については主効果が認められたため ($F_{(4,28)}=3.36, p<.01$)、Ryan 法による多重比較を行った結果、第 1 区間と第 5 区間の間で差が認められ ($t=3.01, p<.01$)、第 1 区間より第 5 区間の短期的閉眼率が多かった。なお、交互作用は認められなかった。

2.2.3 視覚疲労

Fig. 3 に本試行前後のぼやけ感得点を示した。課題の種類(2) × 課題の前後(2)の被験者内分散分析を行ったところ、課題の前後について主効果が認められ ($F_{(1,7)}=10.46, p<.05$)、課題前より課題後のぼやけ感得点が高かった。なお、交互作用は認められなかった。

2.2.4 α 指数

Fig. 4 に α 指数の結果を示した。課題の種類(2) × 区間(5)の被験者内分散分析を行ったところ、課題の種類と区間それぞれに主効果が認められた (各々 $F_{(1,7)}=8.43, p<.05$; $F_{(4,28)}=7.93, p<.001$)。区間について Ryan 法による多重比較を行った結果、第 1 区間と第 4, 5 区間の α 指数に有意な差が認められ (各々 $t=2.41, p<.05$; $t=3.60, p<.05$)、第 1 区間より第 4, 5 区間

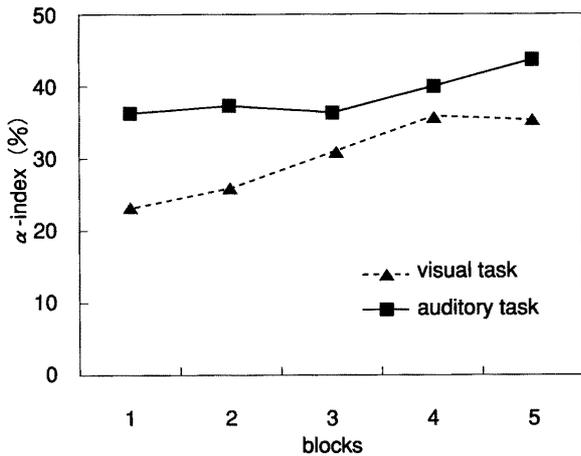


Fig. 4 Mean α -index as a function of blocks.

の α 指数が高かった。第2区間と第5区間にも有意な差が認められ ($t=1.52, p<.05$), 第2区間より第5区間の α 指数が高かった。交互作用は有意ではなかった。

2.2.5 α 指数の変動と瞬目率との関連

Fig. 5 と Fig. 6 には、視覚課題と聴覚課題での α 指数と瞬目率を示した。視覚課題における5区間の α 指数と瞬目率の相関係数は $r=.75$ であったが、有意ではなかった。同様に聴覚課題の α 指数と瞬目率の相関係数を検討したところ、 α 指数と瞬目率の間に有意な負の相関関係が認められた ($r=-.94, p<.05$)。

2.2.6 α 指数と短期的閉眼率の関連

視覚課題における5区間の α 指数と短期的閉眼率について相関関係を検討したところ、 $r=.57$ であったが有意ではなかった。同様に聴覚課題の α 指数と短期的閉眼率について相関関係を検討したところ、相関関係について有意ではないが、有意な傾向が認められた ($r=.86, p<.10$)。

2.2.7 聴覚課題で入眠した事例

著しく覚醒水準が低下したときの瞬目率と短期的閉眼率について調べるために、聴覚課題中に閉眼し、課題の継続が不可能になり、その直後に睡眠段階1の脳波で特徴的な頭蓋頂鋭波⁸⁾が Cz に出現した被験者AとBの課題開始後1分の瞬目率および短期的閉眼率と、閉眼直前1分の瞬目率および短期的閉眼率を個別に検討した。

被験者Aの開始後の瞬目率は16回/分で、閉眼直前は4回/分となり、減少した。また、短期的閉眼率では開始後の短期的閉眼率は0回/分で、閉眼直前は11回/分であり、増加した。

被験者Bの開始後の瞬目率は9回/分で、閉眼直前は5回/分であり、減少した。また、開始後の短期的閉眼率は0回/分で、閉眼直前は8回/分であり、増加した。

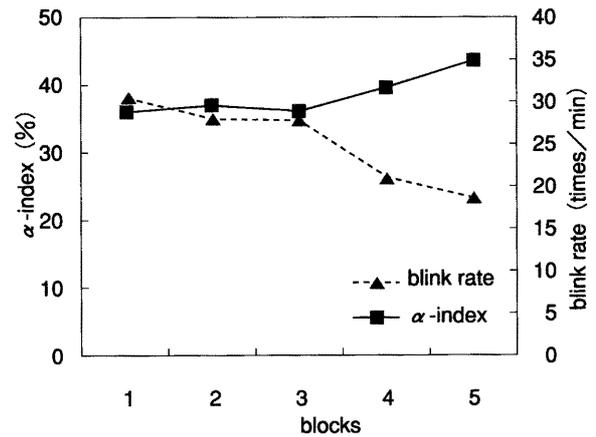


Fig. 5 α -index and blink rate of visual task.

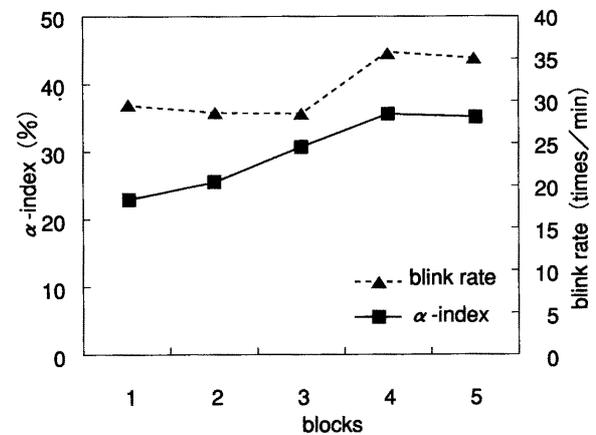


Fig. 6 α -index and blink rate of auditory task.

2.3 考 察

2.3.1 各課題の結果

聴覚課題では、第1区間に比べ第5区間で、瞬目率が減少し短期的閉眼率が増加することから、課題遂行時に次第に瞬目率は減少するが、短時間目をつぶったままでも多くなると考えられる。この原因として、ひとつに疲労の蓄積がある。自覚症調べの視覚疲労項目の調査から、被験者は実験後に視覚的疲労を自覚していることがわかった。聴覚課題では被験者は視覚的な作業を行っていないが、実験中はディスプレイを見続けており、視覚的負担があったと考えられる。もうひとつの原因として、覚醒水準の低下がある。 α 指数は第1区間より第4、5区間の方が高く、覚醒水準の低下が発生したと推測できる。 α 指数と瞬目率とは強い負の相関を示しており、覚醒水準が低下すると瞬目率が減少することが示唆される。

視覚課題においても、自覚症調べの視覚疲労項目の結果や α 指数の結果は、聴覚課題と同様の傾向を示しており、課題遂行中の疲労の蓄積、覚醒水準の低下が推測できる。視覚課題の短期的閉眼率が聴覚課題のそれよりも

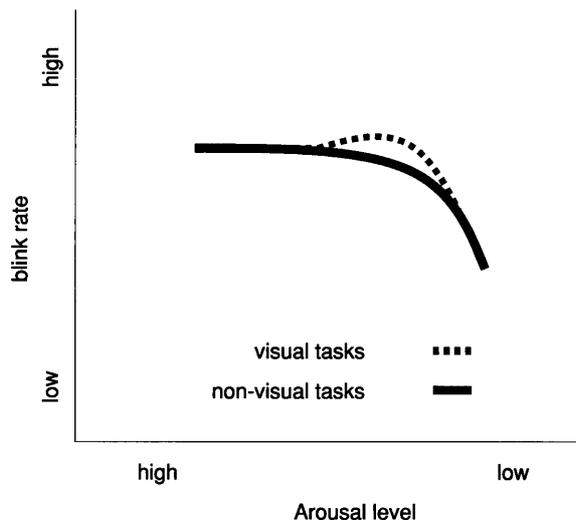


Fig. 7 Proposed hypothesis.

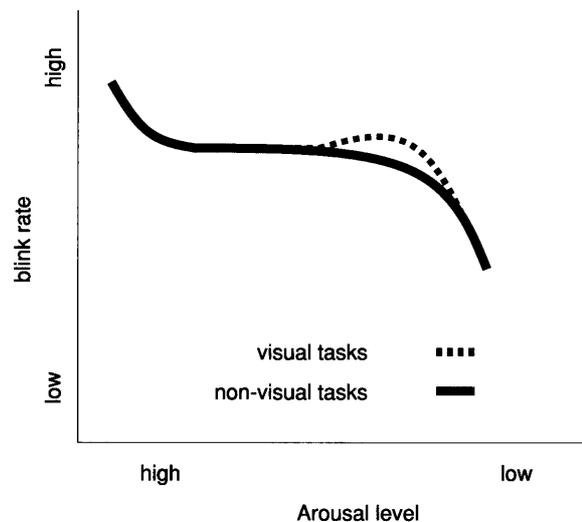


Fig. 8 Extended hypothesis.

低いことから、視覚課題では被験者が課題遂行のため眼をつぶらないように努力していることが伺える。しかしながら、それでも短期的閉眼率は第1区間に比べ第5区間で増加しており、実験の最後では短時間目をつぶったままになっていることが増えた。聴覚課題の結果から、視覚課題においても、疲労の蓄積や覚醒水準の低下は起こっているため、瞬目率が減少すると推測できる。しかし、瞬目率に統計上は時間経過に伴う変化は認められていない。これは課題遂行のため短期的閉眼をおこさないよう務めた結果、代償として瞬目が増加したと解釈することができる。あるいは、視覚課題では聴覚課題と比較して、(自覚症状調査には聴覚課題との差は認められないが)、眼を酷使しており、ドライアイを防ぐなどの生理的瞬目が増加したのではないかと考えられる。

α 指数は視覚課題より聴覚課題のほうが多い。これは開眼時より閉眼時に α 波は出現しやすいことから、視覚課題において視覚的な情報処理をおこなうことで α 波の出現が抑制されたためと考えられる。

2.3.2 覚醒水準と瞬目率の関係

聴覚課題の実験結果から、中程度からやや高い状態の覚醒水準が低下していく過程において、あるレベル以下になると覚醒水準の低下に伴い瞬目率は減少すると推定することができる。視覚課題の結果では、覚醒水準が低下しても瞬目率の低下はなかった。むしろ、統計的には有意差はなかったが、Fig. 1 から分かるように、実験後半において瞬目率は増加傾向が認められ、瞬目率と α 指数の間の相関も .75 と強い正の相関を示している。このことは、時間が経過すると、あるいは覚醒水準が低下すると瞬目率が増加する傾向があることを示唆している。瞬目率が増加する原因としては、眠気で、長い時間閉眼したいという欲求と、課題を行うという義務感との葛藤が行動化したと考えられる。聴覚課題は、閉眼したまま

でも課題を行うことができる。よってこのような葛藤が生じにくいであろう。しかし視覚課題は閉眼したままでは課題を行えず、長い時間閉眼するという欲求が満たされない。そこで、長期的な閉眼への欲求を満たすために、無意識的に瞬目を多発させ、総和的に閉眼時間を多くさせていると考えられる。

覚醒水準がさらに低下した場合、瞬目が増加し続けるとは考えられない。聴覚課題で著しく覚醒水準が低下し入眠したケース(被験者AとB)では、瞬目率は減少した。田中⁹⁾の研究でも同様に、著しく覚醒水準が下がった場合の瞬目率は減少している。これらは聴覚課題での結果ではあるが、著しく覚醒水準が低下した状態とは課題の影響を凌駕する状態であろう。したがって視覚課題においても著しく覚醒水準が低下すると、聴覚課題と同様に瞬目率が低下すると考えることができる。

これらのことを踏まえ、覚醒水準と瞬目率の関係性について Fig. 7 に示すような仮説を提案する。つまり、覚醒水準が低下していく状況では、覚醒水準があるレベル以下になると瞬目率が減少する。しかし、視覚情報処理を伴う場合は、覚醒水準が低下していく状況において一時的に瞬目率が増加することがある。

著しく覚醒水準が上昇した場合も、著しく覚醒水準が低下した状態と同じく、課題の影響を凌駕する状態といえよう。先行研究¹⁰⁾では、興奮時の瞬目率が高くなることを明らかにしている。この結果を先に提案した仮説に付け加えると、Fig. 8 のような覚醒水準と瞬目率の関係が導き出される。

本仮説を用いれば、多くの先行研究の結果の相違を説明することができる。眠気に伴う瞬目率の増加を報告した自動車運転時の研究¹⁾、ヴィジランス課題を用いた研究^{9) 11)}は、視覚課題を用いた研究である。一方、覚醒水準の低下に伴う瞬目率の低下を報告した広重の研究¹²⁾や催

眠状態における研究^{2) 3)}は視覚課題以外の課題を用いた研究である。これらのことから、覚醒水準と瞬目率の関係には、課題の提示方法が大きな影響を与えると予測できる。

この仮説の検証のためには、今後、いくつかの課題の下で、覚醒水準を著しく高い状態から著しく低い状態まで変化させ、瞬目率と覚醒水準の関係性を連続的に調べる必要があるであろう。

3. ま と め

本論では、課題が視覚に与える影響を考慮して、覚醒水準と瞬目率の関係についての仮説を提案した。この仮説は、覚醒水準が低下していく状況では、あるレベル以下になると覚醒水準の低下に伴い瞬目率が減少するようになるというものである。そして、著しく覚醒水準が高い場合には瞬目が多くなること、視覚課題では覚醒水準が低下していく状況において一時的に瞬目率が増加することがあることも提案した。

参 考 文 献

- 1) 末永一男, 後藤賢二, 山下良禧: 自動車運転中の意識レベルと閉暗係数. 久留米医学会雑誌, Vol.31, No. 6, pp. 575-581 (1968).
- 2) Weitzenhoffer, A.M.: Eye-blink rate and hypnosis: Preliminary findings. *Perceptual and Motor Skills*, Vol.28, pp.671-676 (1969).
- 3) Tada, H., Yamada, F., & Hariu, T.: Changes of eye-blink activities during hypnotic state. *Perceptual and Motor Skills*, Vol.71, pp.832-834 (1990).
- 4) 山田富美雄, 三戸秀樹, 宮田洋: 視覚疲労の他覚的指標としての瞬目活動, 関西鍼灸短期大学年報, Vol. 5, pp.86-95 (1989).
- 5) 保坂良資, 渡辺瞭: まばたき発生パターンを指標とした覚醒水準評価の一方法. *人間工学*, Vol.19, pp.161-167 (1983).
- 6) 田多英興, 針生亨: 覚醒・催眠条件下の看視作業における瞬目・心拍・脳波の変化, *催眠学研究*, Vol.34, pp.15-21 (1989).
- 7) 城憲秀: 新しい「自覚症しらべ」の提案, *産業衛生学術誌*, Vol.44, p.220 (2002).
- 8) 大熊輝雄: 臨床脳波学, 第3版, 医学書院 (1983).
- 9) 田中裕: 覚醒水準と瞬目活動, *心理学研究*, Vol.70, No. 1, pp.1-8 (1999).
- 10) Ponder, E., & Kennedy, W.P.: On the act of blinking, *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, Vol.18, pp.89-110 (1927).
- 11) 田中裕: 覚醒水準とまばたき, 田多英興・山田富美雄・福田恭介(編著), まばたきの心理学, 北大路書房, pp.186-190 (1991).
- 12) 広重桂治: うたたね時のまばたき, 田多英興・山田富美雄・福田恭介(編著), まばたきの心理学, 北大路書房, pp. 175-179 (1991).