

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：33708

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K11971

研究課題名(和文)人工複合現実環境が引き起こす身体への影響とその対策

研究課題名(英文)Body effects and its measures under artificial mixed reality environments

研究代表者

杉浦 明弘(Sugiura, Akihiro)

岐阜医療科学大学・保健科学部・講師

研究者番号：00528630

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚誘導性姿勢変化(VEPRs)が内的または外的に制御された場合の映像酔いへの影響を実験的に検証し、映像酔いの原因理論との関連性も考察した。検証結果から、複数の刺激を受ける介入制御では映像酔いが起こりやすい傾向が示された。さらに、内的制御よりも外的制御のほうが映像酔いを引き起こしやすいことも明らかにした。また、映像酔いの原因理論の中で、本研究の結果と一致したのは、感覚不一致理論と眼球運動理論だけで、姿勢不安定理論は支持されなかった。これらの結果から、複雑な状況において複数の感覚刺激が絡む場合、必ずしも全ての原因理論が適用できないことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、映像酔いの原因解明とその予防対策方法について、これまでにほとんど実践例がない新たなアプローチにて検証を行ってきた。実用性を考慮し内的制御は、自己意識に基づき体を動かすだけの誰でも自由にできる方法を採用し、外的制御は、経皮的なアプローチだけで身体に対して大きな効果が得られるものを採用した。検証結果については、予防方法に直接つながるような大きな成果を上げることはできなかったものの、新たな問題設定や、人工的に作り出された複合刺激環境においては、従来の映像酔い原因理論から外れる事例があることも確認することができたため、学術発展には寄与できたものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we experimentally verified the effects on visually induced motion sickness (VIMS) when visually induced postural responses (VEPRs) were internally or externally controlled. We also discussed the relationship with the causal theory of VIMS. The results showed that VIMS tended to occur more easily in the externally controlled condition where multiple stimuli were received. Furthermore, it was clarified that external control was more likely to cause VIMS than internal control. Among the causal theories of VIMS, only the sensory discrepancy theory and the eye movement theory were consistent with the results of this study, while the postural instability theory was not supported. These results suggest that not all causal theories are necessarily applicable when multiple sensory stimuli are involved in complex situations.

研究分野：生体医工学

キーワード：映像酔い 視覚誘導性姿勢変化 視覚運動性眼振 ガルバニック前庭電気刺激 意識

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

仮想現実や複合現実で代表されるような映像技術の発達により、高臨場・没入感を得られる映像が自由に楽しめるようになった。一方、映像酔いと呼ばれる映像視聴中やその後に発生する、全身倦怠感、吐気、頭痛、悪寒などの不快症状を訴える人も増加している。娯楽目的で提供されたコンテンツが結果的にストレス要因ともなってしまうことがあり、映像技術の今後のさらなる発展のためにも早急な対策が必要とされている。

視野を覆うような画面全体が流れている映像を周辺視で観察し続けると、無意識に身体が映像の流れている方向に傾いたり、動いたりすることがある。このような身体反応は視覚誘導性姿勢反応(Visually Evoked Postural Responses (以下:VEPRs))と呼ばれ、映像や観察者の特徴に応じた姿勢変化を示す。研究代表者はこれまでに、本課題の前段階となる 15K00702(基盤研究C)の課題を通じて VEPRs の特徴について体系的な検証を行ってきた。その中で、乗り物酔いなど感覚矛盾に関連するような酔いの経験がある人ほど、VEPRs が大きくなる傾向を明らかにしており、さらに VEPRs は感覚矛盾の修正反応である可能性が高いことを示唆してきた。

これまでの研究から、映像酔いの根本的な原因が感覚矛盾であるならば、感覚器に入力される情報矛盾を制御できれば、不快症状も制御(促進や抑制)できるのではないかという仮説が立てられる。加えて、映像酔いには、感覚矛盾を原因とする説以外にも姿勢不安定説や眼球運動説などの実験的に導きされた他の原因説も存在しており、これらの理論説の関連性の検証についても、上記仮説の立証とともに映像酔いの原因解明に向けて取り組む必要がある。

2. 研究の目的

本研究は映像視聴時に発生する VEPRs を内的もしくは外的に制御した場合の映像酔いに与える影響の実験的検証を行うこと、そして検証実験を通じて映像酔い原因理論の関連性について考察することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究課題では主に4つの課題について取り組んだ

- (1) 深層学習技術を用いた映像視認方法の自動判別の検証
- (2) VEPRs の制御実験 (内的制御: 体動に関わる自己意識統制による制御)
- (3) VEPRs の制御実験 (外的制御: 経皮的な前庭電気刺激による制御)
- (4) 同一対象者による VEPRs の制御統合実験 (内的制御, 外的制御両方)

(1) 深層学習技術を用いた映像視認方法の自動判別の検証

(コロナウイルス感染症の影響で研究計画を変更したため追加して実施)

実施概要: VEPRs は、周辺視認時に発生する身体現象であり、VEPRs を対象とする本研究課題では映像視聴中連続して周辺視認し続ける必要がある。確度の高い正確な検証データを得るためには、事前の指示と十分な訓練を行うことが重要となるが、その一方で視認中に眼球運動の状態をリアルタイムにモニタリングしたり、事後に視聴状態の確認・検証ができれば、精度をさらに向上させることが可能となる。そこで本研究では、機械学習の一つであるディープラーニング技術を用いた、眼球運動の状態分類(周辺視と追従視)の基礎的検証を行った。

対象は20-23歳の男性6名である。参加者は視距離100cmの位置から液晶モニタに表示される映像を観察し、その眼球運動を強膜反射法により500Hzで記録した。映像の特徴については、映像空間内に多数の紫色ボールがランダムに位置し、ボールのすべてが上下および左右方向に独立して0.25Hzで正弦波状に移動し続けるもの(周辺視用)と、同映像の中心に注視点として紫のボールと同じように動く画面中央に黄色のボールがあるもの(追従視用)を用意した。取得した眼球運動の時系列データから、0.5秒、1秒、2秒、3秒の4種類のデータ長でそれぞれ350個の短時間時系列データを複数取得し、それらデータを用いてディープニューラルネットワークの学習を行った。

ニューラルネットワークはSony社製のNeural Network Consoleを用いて構築し、一次元の畳み込みニューラルネットワークを用いたモデルとした。中間層は畳み込み層、正規化層、ReLU活性化関数、マックスプーリング層を組み合わせたユニット7-8個で構成されている。

分類精度の評価には、6分割交差検証法を適用した。これにより各参加者ごとの評価結果を得ることが可能で、全体の評価結果に偏りがないようにした。最終的に得られた評価指標は正解率、適合率、再現率、F値で、それぞれの値を算出した。

(2) VEPRs の制御実験 (内的制御: 体動に関わる自己意識統制による制御)

実施概要: 映像視聴時のVEPRs制御方法として体動に関わる自己意識統制を採用し、内的刺激によるVEPRsの制御が眼球運動、身体動揺へ及ぼす影響および酔いやさとの関連性について検証を行った。

対象は20-23歳の男性3名と女性8名の計11名である。はじめに参加者に乗り物酔い感受性を評価するためのアンケートとなるMotion Sickness Susceptibility Questionnaire(以

下:MSSQ-Short)を実施させた。このアンケートは、自動車、電車、飛行機などの乗り物酔いの経験に基づいて、酔いやすさを0(酔いにくい)から54(酔いやすい)までのスコアで評価するものである。次に、参加者にロンベルグ姿勢を維持させ、多数のボールがランダムに位置し水平方向に0.25 Hzで移動する映像を視距離50cmにて周辺視で観察させた。その際、次に示す4種類の指示を出した。(a)無統制(指示なし)、(b)同位相(ボールの動きと同じ方向に体を揺らす)、(c)逆位相(ボールの動きと逆の方向に体を揺らす)、(d)静止(静的直立を維持)。

視認中の眼球運動は、眼電計を使用して200Hzで記録され、そのデータから眼球の角速度を算出した。さらに、角速度成分のヒストグラムの四分位範囲が60秒ごとに算出され、これが視運動性眼振(Optokinetic Nystagmus (以下:OKN))の発生頻度の指標とした。(四分位範囲値が大きければ、眼球運動のばらつき(つまりOKNの発生頻度)が高いことを示し、逆に値が小さいとOKNの発生頻度が低いことを示す)。視認中の身体動揺は、重心動揺計を使用して20Hzで記録され、そのデータを映像運動方向に対して標準偏差、総軌跡長、フーリエ変換処理などを行った。合わせて、映像酔いに関するアンケートも実施した。

(3) VEPRsの制御実験 (外的制御:経皮的な前庭電気刺激による制御)

実施概要:映像視聴時のVEPRs制御方法としてガルバニック前庭電気刺激(以下:GVS)採用し、外的刺激によるVEPRsの制御が眼球運動、身体動揺へ及ぼす影響について検証を行った。

対象は21歳の男性6名と女性8名の計14名である。はじめに(2)と同様にMSSQ-Shortを実施させた。次に、参加者にロンベルグ姿勢を維持させ、多数のボールがランダムに位置し水平方向に0.25 Hzで移動する映像を視距離100cmにて周辺視で観察させた。GVSは、経皮的に両前庭器官に電流刺激を加えることで、平衡感覚に人工的な入力を加える方法であり、電流の大きさに従い、アノード側に傾斜感や加速度感を得ることができる。今回の検証実験では、視覚刺激以外の外部入力として映像と同じ0.25 Hzの正弦波様の交流電流を用いた。このような電流設定は4秒周期の左右方向を主とするVEPRsと同様の体動発生が期待でき、視覚と平衡感覚を同時刺激することで、両刺激由来の体動の制御することができる。また、刺激電流値の設定については、事前に0 mAから徐々に上げていき、体動を自覚した電流値を採用しており、被験者ごとに異なる電流設定とした(0.15 mA - 0.7 mA)。実験プロトコルについては、視覚刺激およびGVSを調整し次の4種類の検証をそれぞれランダムな順番で120秒間実施した。(a)映像視聴のみ、(b)GVSのみ、(c)順位相(VEPRsとGVSの位相が同じ)、(d)逆位相(VEPRsとGVSの位相が逆)。視認中の眼球運動は、強膜反射法により500Hzで記録された。他の処理については、(1)、(2)と同様である。合わせて、最後に、検証実験を終えた参加者は、4種類の検証を映像酔い症状が現れやすい順に順位付けを行った。

(4) 同一対象者によるVEPRsの制御統合実験 (内的制御,外的制御両方)

実施概要:コロナ感染症や研究機材調達の遅延の影響、さらに実験条件の一部変更などにより、内的制御と外的制御を直接比較することが難しい状況であった。そこで、改めて同一被験者を対象として内的制御と外的制御の両方の検証を同時に実施した。

対象は20-25歳の男性6名と女性7名の計13名である。(2)、(3)と同様の映像を視距離100cmにて周辺視で観察させた。内的制御については、3種類の指示((a)無統制(指示なし)、(b)意識同位相、(c)意識逆位相)を事前に指示した。次に外的制御については、(d)GVS順位相、(e)GVS逆位相の2つの条件とした。そして刺激電流値の設定については、事前に0 mAから徐々に上げていき、体動を自覚した電流値を採用しており、被験者ごとに異なる電流設定とした(0.15 mA - 1.4 mA)。その他の設定、測定解析については、これまでと同じ方法を採用した。最後に、検証実験を終えた参加者は、5種類の検証を映像酔い症状が現れやすい順に順位付けを行った。

4. 研究成果

(1) 深層学習技術を用いた映像視認方法の自動判別の検証

研究結果より次のような知見が得られた。

- データ長が長くなるに従い判別精度が向上した。そして、1秒以上のデータであれば90%以上の精度で判別可能であった。
- 判別精度の低下を招く要因としては、瞬きによる波形の乱れが考えられる。
- 深層学習が同分野の測定データにも十分適応できることを示した。

(2) VEPRsの制御実験 (内的制御:体動に関わる自己意識統制による制御)

研究結果より次のような知見が得られた。

- 映像酔いに関するアンケート結果については、(a)無統制、(b)同位相、(d)静止は同程度であり、(c)逆位相はそれらと比較して高値を示した。また、(b)同位相の結果は、四分位範囲が最も大きくなった。このことから参加者の間で評価が別れていたことを意味するのではないかと考えられた。これらの結果を踏まえると、映像と逆方向への意識的な移動(逆位相)が得に酔い症状を増加させる可能性が高いと考えられる。
- 眼球運動の結果については、OKNの発生頻度において特徴的な結果を示した。(c)逆位相 > (a)無統制 = (d)静止 > (b)同位相。視覚に入力される映像の相対的な速度を考慮すると受

当な結果ではないかといえる。

- ・ 動揺病感受性が高い人ほど OKN が起こりにくい傾向が見られた。OKN は網膜上の像が外界の動きでぶれない様に補正する姿勢保持機構の1つであることから、OKN の頻度低下による感覚不一致が動揺病を誘発しているのではないかと結論づけた。一方、眼球運動理論の観点からは従来とは異なる考え方であり、引き続き慎重な検証と議論が必要と考えられる。

(3) VEPRs の制御実験 (外的制御：経皮的な前庭電気刺激による制御)

研究結果より次のような知見が得られた。

- ・ VEPRs の GVS による外的制御は、位相タイミングを適切に管理することで可能であった。
- ・ 眼球運動の結果について OKN の発生頻度は、想定とは大きく異なり、(b)GVS のみが最も小さくなり、続いて、(a)映像のみ < (d)逆位相 < (c)順位相の順となった。
- ・ (2)の内的制御の場合とは異なり、動揺病感受性と OKN の発生頻度の間に関連性は認められなかった。
- ・ 映像酔いに関する順位付けの結果については、(d)逆位相が最も高く、(c)順位相 > (a)映像視聴のみ > (b)GVS のみという結果になった。

(4) 同一対象者による VEPRs の制御統合実験 (内的制御，外的制御両方)

研究結果より次のような知見が得られた。

- ・ 身体動揺の結果については、(a)無統制 < (e)GVS 逆位相 < (c)意識逆位相 < (d)GVS 順位相 < (b)意識順位相の順に大きくなった。
- ・ 眼球運動の結果について OKN の発生頻度は、(a)無統制 < (b)意識順位相 < (c)意識逆位相 < (d)GVS 順位相 < (e)GVS 逆位相の順に増えていった。
- ・ 映像酔いに関する順位付けの結果については、(e)GVS 逆位相が最も酔いやすく、(c)GVS 順位相 > (b)意識順位相 > (c)意識逆位相 > (a)無統制という結果になった。
- ・ これらの結果から、複数の刺激を受ける介入制御では映像酔いが起こりやすい傾向が示された。さらに、内的制御よりも外的制御のほうが映像酔いを引き起こしやすいことも明らかになった。映像酔い原因理論のうち今回の検証と同じ傾向が示されたのは、OKN の頻度と酔い症状の点で眼球運動理論と感覚不一致理論のみであり、姿勢不安定理論には従わなかった。今回の結果より、複数の感覚刺激が加わるような複雑な状態では、必ずしも原因理論の通りにならないことが示唆された。

以上の成果より、VEPRs の制御により映像酔いのコントロールが可能であることが示され、さらに複合刺激の場合においては、主要理論の一部が成立しないことが示された。また今回の課題において、介入によりいずれも酔い症状が増強したことから、現時点では未介入の状態が最も酔い症状が抑制されていると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 杉浦 明弘, 小野 蓮太郎, 板津 佳希, 坂倉 響, 高田 宗樹	4. 巻 77
2. 論文標題 映像視認時の眼球運動の特徴解析とその応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本衛生学雑誌	6. 最初と最後の頁 1 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1265/jjh.21004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 杉浦明弘, 田中邦彦, 高田宗樹
2. 発表標題 複合感覚刺激と映像酔い原因理論の関係性について
3. 学会等名 第92回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sugiura, A., Itazu, Y., Tanaka, K., Takada, H.
2. 発表標題 Real-Time Estimation of Eye Movement Condition Using a Deep Learning Model.
3. 学会等名 International Conference on Human-Computer Interaction 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 杉浦明弘, 北澤和也, 岩田実柚佳, 板津佳希, 高田宗樹
2. 発表標題 深層畳み込みニューラルネットワークによる眼球運動および瞬き判定に関する基礎的検討
3. 学会等名 2021年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 Akihiro Sugiura, Kunihiko Tanaka, Hiroki Takada
2. 発表標題 Relationship between Eye Movements and Individual Differences in Motion Sickness Susceptibility While Viewing Stereoscopic Movies under Controlled Consciousness
3. 学会等名 HCI International 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦明弘, 板津佳希, 高田宗樹
2. 発表標題 ディープラーニング技術を用いた眼球運動状態判定に関する基礎的検討
3. 学会等名 第91回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihiro Sugiura, Kunihiko Tanaka, Hiroki Takada
2. 発表標題 Changes in Eye Movements and Body Sway While Viewing Stereoscopic Movies under Controlled Consciousness
3. 学会等名 HCI International 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉浦明弘, 田中邦彦, 安里拓也, 佐々木凜太郎, 吉村奎佑, 高田宗樹
2. 発表標題 立体映像視聴時の視覚運動性眼振の特徴解析
3. 学会等名 第90回日本衛生学会学術総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akihiro Sugiura, Kunihiko Tanaka, Kazuki Ohta, Kazuki Kitamura, Saki Morisaki
2. 発表標題 Effect of Controlled Consciousness on Sense of Presence and Visually Induced Motion Sickness while Viewing Stereoscopic Movies
3. 学会等名 HCI International 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉浦明弘、田中邦彦、大西達也、太田一樹、北村一騎、森下沙紀、梅田凌輔、高田宗樹
2. 発表標題 映像視聴時の意識統制が与える身体・精神への影響
3. 学会等名 第85回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2018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
研究分担者	高田 宗樹 (Takada Hiroki) (40398855)	福井大学・学術研究院工学系部門・教授 (13401)	
研究分担者	田中 邦彦 (Tanaka Kunihiko) (60313871)	岐阜医療科学大学・薬学部・教授 (33708)	

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
---------	---------