



前庭電気刺激が VR 酔いに与える効果の検討

中山洋輔¹⁾, 青山一真²⁾, 北尾太嗣¹⁾, 齋藤真里³⁾, 長田浩二⁴⁾, 山岸和子⁵⁾, 安藤英由樹¹⁾

1) 大阪大学大学院情報科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1, yosuke-nakayama@hiel.ist.osaka-u.ac.jp)

2) 東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター (〒113-0032 東京都文京区本郷 7-3-1, aoyama@vr.u-tokyo.ac.jp)

3) ソニー株式会社 (〒108-0075 東京都港区港南 1-7-1, Mari.Saito@sony.com)

4) ソニービデオ&サウンドプロダクツ株式会社 (〒141-8610 東京都品川区大崎 2-10-1, koji.nagata@sony.com)

5) ソニーグローバルマニュファクチャリング&オペレーションズ株式会社 (〒108-0075 東京都港区港南 1-7-1, kazuko.yamagishi@sony.com)

概要: 昨今の VR 技術の隆盛に伴って顕在化してきた VR 酔いの症状は, VR コンテンツをユーザが十分に楽しめないといった問題を引き起こしている. この問題は, VR 分野のさらなる発展を阻害する可能性を秘めている, 喫緊に対応すべき問題である. そこで本研究は, 前庭電気刺激を利用した前庭感覚の再現によって VR 空間内での視野の動きと前庭感覚との齟齬を解消する技術の確立を目的とするものである. 本稿では, HMD によって一人称視野映像を見ているユーザに映像内の自身の動きと方向とタイミングが対応した前庭電気刺激が与える VR 酔いの抑制効果について検討する.

キーワード: VR 酔い, 前庭電気刺激, 映像酔い, 酔い止め

1. はじめに

近年, 安価で高性能なヘッドマウンテッドディスプレイ (HMD) が市販されるようになり, 一般ユーザが手軽に VR コンテンツを楽しむことができるようになってきている. 一方で, 高性能な HMD が安価に市場に出回るようになったことにより, VR 酔いの症状の報告事例が多数見受けられるようになってきた. VR 酔いは VR コンテンツを視聴していると引き起こされ, その具体的な症状は, 嘔吐感, 手足の冷えや痺れ, 発汗, 頭痛等, 一般的な乗り物酔いと類似している. VR 酔いの症状が現れると, ユーザーは VR コンテンツを楽しめなくなり, VR コンテンツの視聴を途中でやめてしまったり, VR 酔いを警戒して VR コンテンツの視聴を行わないなどの行動をとる事が予測される. つまり, VR 酔いは VR コンテンツの消費を妨げる要因となり, VR の市場や分野の今後の更なる発展を妨げてしまう可能性があるという点で, 喫緊に解決すべき問題となっている.

VR 酔いを予防または軽減する取り組みとして, 筆者らはコンテンツ制作時に, 一人称視野映像の中に動かない部分をコンテンツ内に取り入れる事等を行っている. これは, VR ゲームを例にとってみると, コックピットなどにプレイヤーが乗り込んでいるという設定とし, コックピット内のフレームは視野内で一切動かず, コックピット外の映像のみが動いているという表現を用いるというものである. 筆者らの経験から, このような表現を用いる事で, VR 酔いが低減できると考えているが, その効果は未知の部分が多

い.

また, Whittinghill らは, 両眼 HMD を利用して一人称視野映像を提示する際に, 鼻部を描画することで, 酔いの症状を低減する事ができる事を報告している[7]. さらに, 昨今の HMD を用いた VR ゲームの多くは, 現実世界の頭部の回転運動に連動して映像は動くものの, 急激な並進運動の映像表現を避け, ワープなどの表現を用いることで, VR 空間内の移動を実現している.

しかしながら, これらの手法は VR コンテンツに対して何らかの制約を加えるため, VR 空間内での表現の自由度を制約してしまう. これはコンテンツの開発者も消費者も VR コンテンツを十全に消化しきることができなくなってしまふ. よって, コンテンツに制約を加えることなく VR 酔いを予防・軽減する手法が求められてきた.

この手法の一つとしては, 薬剤を用いた酔い止めが存在する. 酔い止めに含まれる成分の主たる効果は, 嘔吐中枢や内耳前庭での自律神経反射の抑制副交感神経への作用による嘔吐の予防, 中枢神経の興奮作用によるめまいの軽減, 胃粘膜への作用による吐き気の抑制などである. この酔い止めの効果は個人差があるものの, 少なくとも乗り物酔いへの効果は確認されており, VR 酔いに対しても効果が得られると考えられる. 一方で, 薬剤を用いた手法は利用するためのランニングコストがかかり, 副作用もあるため VR ゲームなどのコンテンツのために服用する事はやや心理的な抵抗が大きい. また, 神経系に対して強く作用するため, VR ゲーム時にどのような心理効果が表れるのか

は定かでない。

以上より、コンテンツの表現を阻害せず、かつ、コストの低い、VR 酔いの予防・軽減する事の出来る手法が求められている。

2. 酔いのメカニズムと前庭電気刺激

乗り物酔いや VR 酔い発症の大きな要因の一つは、視覚と前庭感覚の不一致によるものであるという説[8][9]が有力であると、我々は考えている。つまり、乗り物酔いは、視覚が一切動いていないにも関わらず、加速度の感覚等の前庭感覚は乗り物の動きによって惹起される。一方で VR 酔いにおいては、視野は VR 空間内の動きに合わせて動いているにも関わらず、現実空間の身体が動いていないために、前庭感覚への入力がない。これらはいずれも、視覚と前庭感覚が一致していない状況であると言える。

上記の機序の仮説に基づくと、VR 酔いを予防するためには、視野の動きと前庭感覚への入力を一致させる事で達成する事が可能であると考えられる。

そこで本研究では、軽量・安価・小型かつ、高い時間分解能を持つ前庭感覚提示手法である、前庭電気刺激(GVS: Galvanic Vestibular Stimulation)を利用する事で、視覚と前庭感覚への入力を一致させ、VR 酔いを予防する手法を提案し、その効果の検証を行う。

前庭電気刺激は、皮膚上に設置した電極から微弱な電流を印加する事で、内耳の奥にある前庭感覚器を刺激する事の出来る手法である。従来の GVS 手法は耳の後ろの乳様突起上に電極を設置し、左右方向(あるいは Roll 方向)の前庭感覚を惹起する事が可能であった[1][2][3][4]。これに対し、我々の先行研究によって前後方向(Pitch 方向)や Yaw 回転方向、上下方向への加速度感覚を惹起する事の出来る 6 極 GVS を開発してきた[6]。一方で、6 極 GVS のうち、最も強力な前庭感覚を惹起する事の出来るのは左右方向である。よって、本稿では感覚の強い左右方向のみをバーチャル空間内での視野の動きと同期して再現し、GVS が及ぼす VR 酔いへの効果を SSQ(Simulator Sickness Questionnaire)[10]と心拍変動、酔うまでの時間、回復までの時間などを用いて検証する。

3. 方法

本研究を行う事前準備として、酔いやすい VR 映像とはどのようなものかを検証するために、筆者らを含めた健康な成人男性 3 名に、PS VR ゲーム「RIGS」をプレイしてもらい、酔いやすい動きについてディスカッションを行った。RIGS は、VR 空間内でロボットに乗り込んで、フィールドを縦横無尽に動き回るゲームであり、視野の動きが激しいゲームである。その結果、プレイヤーが前進しつつ、Yaw 回転する動き(ドリフト走行のような動き)が酔いを感じやすく、さらにその動きの中の Yaw 回転の回転速度が変わるタイミングが、より酔いやすい動きであるという結論に至った。酔いやすい動きはこれだけではないが、7 名中 6

名の体験者がこの動きが酔いやすいことについて同意した。よって、Unity を用いて、Yaw 回転の回転速度の切り替わりを繰り返す動き(遊園地の遊具の一つであるティーカップのような動き)を行う、一人称視野映像を作成した。具体的には、半径 20m の円上を 30deg/sec で時計回りに移動している運動時に、90 度ごとに半径 10m の半径の小さい円上を 60deg/sec で移動する運動に切り替わり、その円上を一周すると、また元の大きな円上を移動する運動に戻るといった動きを繰り返し行う。なお、半径の小さい円は時計回りと反時計回りの 2 種類があり、ランダムにどちらかの円運動が起こるものとした(図 1)

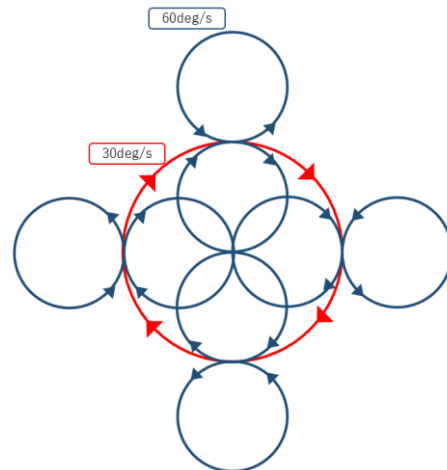


図 1: 被験者に提示した映像の運動の軌跡

被験者は乳様突起上に電極を設置され、HMD(Oculus Rift CV1, Oculus 社製)を装着した。さらに、電極を固定するためのイヤマフを装着した。被験者は静かな実験室にて、椅子に座り、HMD の映像を見るように教示された。また、被験者は映像を見ていて酔いそうになり、もう耐えられないと思ったら実験を中止する旨を伝え、遠慮なく申し出るように教示された。

実験条件は動きのある映像を見るだけの条件(NoGVS)、半径の小さい円運動が始まるタイミングと同期して円運動の外側方向への前庭感覚を惹起させる刺激を提示する条件(Outside)、半径の小さい円運動が始まるタイミングと同期して円運動の内側方向への前庭感覚を惹起させる刺激を提示する条件(Inside)、HMD を装着して動きのない映像を提示する条件(Control)の 4 条件とした。なお、被験者は健康な成人男性 5 名であり、そのうち、Control, NoGVS, Outside 条件に参加した被験者が 5 名、Inside 条件に参加した被験者は 3 名であった。全ての被験者から十分にインフォームドコンセントを得てから実験を実施した。

実験は午前 10 時～13 時の間に行った。被験者には朝食を摂らずに来るよう事前に伝え、昼食を摂る前の空腹時に実験を行った。全ての被験者がランダムな順番に 4 つの条件を 1 度ずつ行った。なお、実験は 1 日 1 条件のみ行い、一人の被験者あたり 3 日間実験に参加してもらった。刺激電流は最大電流値 2mA であり、400ms かけて 2mA まで電

流値が上昇、または下降していく台形波を用いた。

実験終了後に被験者には酔いを計測するためのアンケート(SSQ)に記入をしてもらい、昼食が摂れる程度に体調が回復するまでの時間を計測した。また、実験中には心拍と被験者が実験の中止を申し出るまでの時間も計測した。なお、1回の実験は最長15分とし、15分間被験者から実験中止の申し出がなくとも、15分で実験を終了するものとした。

4. 結果

図2は刺激条件ごとのSSQの総合Score(Total Severity)を示している。この図から、映像提示のあるNoGVS、Outside、Inside条件のスコアは映像提示の無いControl条件よりも高かった。一方で、Control以外の3つの条件間と同様のScoreであった。

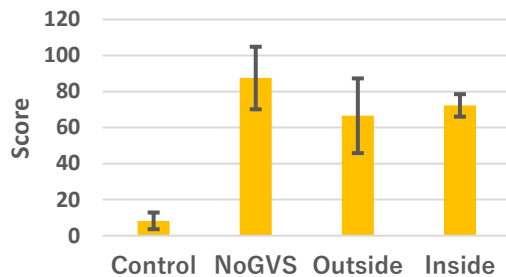


図1: SSQの総合 Score(Total Severity)

図3aは被験者が酔いを感じ、実験中止を申し出るまでにかかった時間の平均値と、図3b被験者の酔いが回復し、昼食が摂れるようになるまでにかかった時間の平均値を示している。この図から、GVSを印加した二つの条件(Outside、Inside)は酔うまでにかかった時間の平均値も昼食が摂れるようになるまでにかかった時間の平均値も、NoGVS条件よりも低かった。

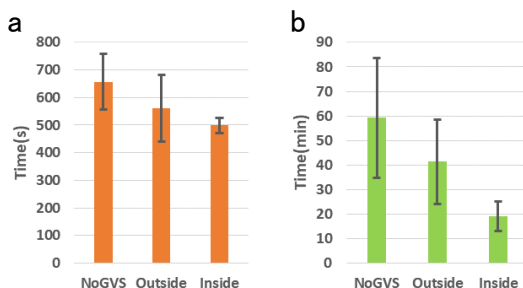


図3: 被験者が酔うまでにかかった時間の平均
(a)、被験者の酔いが回復するまでにかかった時間の平均(b)

また、図4は計測した心拍のデータの高周波成分(0.15Hz~0.40Hz)と低周波成分(0.04Hz~0.15Hz)の商(LF/HF)の平均値を示している。この値は、自律神経系ストレスと高い相関があることがわかっており、値が大きいほ

どストレスも大きいとされる数値である。この図から、GVSを印加するOutside条件とInside条件は他の2つの条件よりも低い値であったことがわかる。

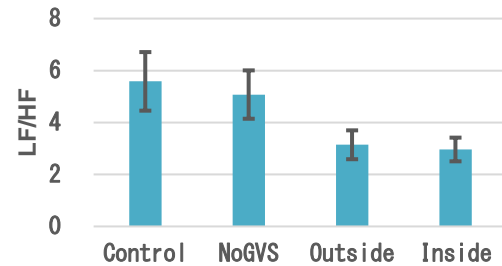


図4: LF/HF(ストレス値)の平均値

5. 考察

本研究において、行った実験は被験者の数が最大5名と非常に少ないものであった。VR酔いのような被験者間での差が大きい研究対象において、5名の被験者数は非常に少ないと考えられる。よって、本研究で得られた実験結果は更なる追試が必要なものであり、注意深く観察する必要があることを考察の冒頭に記す。なお、このため本研究結果に対して統計検定は行っていない。一方で、VR酔いを前庭刺激によって予防する試みにおいて、パイロット実験としての本研究の位置づけは、その効果の有無や大まかな効果の傾向を見るうえで非常に重要なものである。

図2より、全く酔わないと考えられるControl条件と比較して他の3つの条件における、SSQのTotal Severityが高かった。よって、GVSの有無にかかわらず、多くとも15分間、筆者らの制作した酔いやすいVR映像を見続けるとVR酔いが誘発されることが示唆された。

また、同様に図3aより、被験者が実験の中止を申し出るまでにかかった時間の平均値は回復するまでにかかった時間ほど顕著ではないものの、NoGVS条件よりもOutside条件とInside条件の方が低い値であった。これはつまり、GVSを提示する条件の方が映像のみの条件よりも早く酔ってしまうということを示している。

よって、GVSありの条件はVR酔いの予防に効果は見られなかったと言える。

一方で、図3bより、実験終了後から昼食を摂れるようになるまでにかかった時間は短かった。これは、GVSを提示した条件はVR酔いを素早く取り除くことのできる効果がある可能性を示している。また、自律神経系のストレスを示す心拍のLF/HFに関しては、GVSを提示する条件の方が、映像のみの条件よりも低かった。これはつまり映像のみ提示する条件よりもGVSを付加する条件の方が自律神経については、酔いに関する何らかのストレスやダメージが低いことを示唆していると考えられる。

しかしながら、GVSによるVR酔いの低減に効果が見られなかったのは、一人称視野映像が再現している動きが、現実世界でも酔いやすい動きであった事が要因である可能性が挙げられる。つまり、VR映像に同期したGVSによ

り、臨場感が向上したために、VR酔いがいくらか低減されたとしても、乗り物酔いに近い効果によって酔ってしまったという可能性があるということである。このため、今後は歩行運動などの実世界では酔わない動きに対してGVSを適用し、その酔いへの効果についてのさらなる検証が必要であると考えられる。

昼食が摂れるようになるまでにかかった時間はGVSありの条件の方が短かった。この理由としては、2つの説が考えられる。一つは、上述のとおりGVSの提示がある条件の場合、GVSがない場合の条件と比較して、強烈なVR酔いに陥らなかった可能性である。VR酔いが軽微なものであれば、症状の回復も早くなると考えられ、昼食を摂れるようになるまでにかかった時間が短くなったと考えられる。もう一つの説は、GVSによってVR酔いの症状が乗り物酔いに近い症状に変化したというものが挙げられる。VR酔いと乗り物酔いは視覚と前庭感覚の不一致が主要因となって引き起こされるものであるという点で一致しているが、VR酔いは通常視覚への入力に対して前庭感覚の入力が非常に微弱である。これに対して乗り物酔いは視覚への入力も前庭感覚への入力も存在するが、その不一致に酔って引き起こされる。現在のところこの二つの酔いの回復時間の差を検証した知見は見当たらないが、酔いにおいて感覚モダリティ間の不一致あるいは入力量の差によって、異なる性質の酔いが引き起こされた結果、昼食を摂れるようになるまでにかかった時間が異なると考える事もできるであろう。ただし、どちらの説もVR酔いと乗り物酔いが異なる性質を持っているのかどうか分からない現状においては、どちらの方がより支持されるという議論には至らない。一方で、少ない被験者のみが参加した実験の結果ではあるが、本研究の結果はGVSによる前庭感覚提示がVR酔いに対して何らかの効果を持つ可能性を示唆するものであったと言える。

6. むすび

本稿では、昨今VR分野において問題とされているVR酔いについて、前庭感覚をGVSを用いて視覚と同期して提示することによって、VR酔いの予防・軽減効果について検証した。その結果、VR酔いを予防する効果は見られなかったものの、VR酔いから回復するまでにかかる時間は短くなる現象が見られ、GVSへの酔い防止への適用可能性が示唆された。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 若手研究(A) (17H04690) の補助を受けて遂行された。

参考文献

- [1] Wardman, D. L. & Fitzpatrick, R. C. : What does galvanic vestibular stimulation stimulate? ; *Advanced in Experimental Medicine and Biology* Vol.508, 119-128 (2002)
- [2] Utza, K. S. , Dimovaa, V. , Oppenländer, K. & Kerkhoff, G. Electrified minds : Transcranial direct current stimulation(tDCS) and Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology — A review of current data and future implications; *Neuropsychologia* Vol. 48, 2789-2810 (2010)
- [3] 安藤英由樹, 渡辺淳司, 杉本麻樹, 前田太郎: 前庭感覚インタフェース技術の理論と応用; *情報処理学会論文誌*, Vol.48, No.3, 1326-1335 (2007)
- [4] Wardman, D.I, Day,B.L. & Fitzparick, R. C.: Position and velocity responses to galvanic vestibular stimulation in human subjects during standing; *Journal of Phycology* Vol. 547, 293-299 (2003)
- [5] 前田太郎, 安藤英由樹, 雨宮智浩: 加速度感提示のための前提電気刺激における電流密度分布のモデル化; 第11回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 5-8 (2006)
- [6] 青山一真, 安藤英由樹, 古川正紘, 前田太郎: 前庭電気刺激における頭頂方向電流の及ぼす加速度感覚知覚と身体動揺への影響; 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 476-479 (2014)
- [7] Whittinghill, D. M., Ziegler, B., Moore, J., & Case, T. Nasum Virtualis: A Simple Technique for Reducing Simulator Sickness in Head Mounted VR. In *Game Developers Conference*, (2015).
- [8] 武田憲昭: 動揺病と嘔吐のメカニズム, *耳鼻臨床* 補41, 197-207, (1991).
- [9] Reason J. T. , Brand J. J. : *Motion Sickness.*, Academic Press. London, (1975).
- [10] Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S. and Lilienthal, M.G. : Simulation Sickness Questionnaire : An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness., *Int. J. Aviat. Psychol.*, 3(3), 203-220, 1993