

皮膚表面冷却による VR 酔い症状の緩和

川村 大樹*¹ 酒田 信親*¹

Abstract --- VR 利用時に発生することがある VR 酔いと呼ばれる症状は、VR 活動の継続を著しく阻害する。VR 酔いは乗り物酔いに似た不快感を与える症状であり、快適な VR 活動のために解決すべき問題の一つである。本研究では VR 酔いと乗り物酔いの類似点に着目し、乗り物酔い緩和に用いられる首元の冷却を VR 酔い緩和に応用している。提案法では VR 酔い発生時に首元の皮膚表面をペルチェ素子により冷却する。提案法の有効性を明らかにするため VR 酔いを誘発させるような 1 人称視点の VR ゲームを自作し、被験者実験を行った。結果から、VR 酔い緩和の効果が認められ、さらに被験者の皮膚表面温度が VR 活動の前後で変化していることが示唆される結果も得られた。

Keywords: VR 酔い, SSQ, 皮膚表面冷却, ペルチェ素子, VR

1 はじめに

近年、VR (Virtual Reality) 技術の発達により、企業だけでなく一般家庭でもその技術に触れることが容易になっている。しかし、VR の利用は、吐き気や倦怠感、平衡感覚の喪失といった不快感を引き起こす可能性がある [1-10,15]。これらの症状は VR 酔いと呼ばれ、人によっては重度の体調不良に陥る場合がある。また、症状自体は乗り物酔いのもと類似しているが、起因の違いから、これら二つの酔いは同じ類の酔いではないと考えられている [10,15]。VR 酔いが発生するとその症状が治まるまでは VR の利用を継続することが難しく、回復までの間は VR から離れる必要がある。また、一度でも VR 酔いを感じると今後も VR 酔いの発生を意識するようになり、継続的に VR 環境で快適に活動するうえで支障をきたす恐れもある。

これを緩和するため、VR 酔い緩和について様々な研究が行われている。VR 酔いというものが発生する原因についてはいまだに明確にされていないが、感覚の不一致、ディスプレイの解像度不足、レイテンシ、不適切な瞳孔間距離、HMD の視野角といった要因により発生するのではないかと考えられている [10]。VR 酔いを解消するための研究では、これらの要因を取り除く、または軽減することで対処しているものがみられる。研究の一例として、VR 空間内に仮想の鼻を描画し、より現実に近い感覚での VR 体験を提供する [12]、VR では歩行時に特に酔いが発生しやすいという点から、歩行時の視界を制限することで違和感を減少させる [13] といった研究がある。

本研究では、従来の研究で行われてきた VR 酔い緩和の方法とは違う視点、すなわち VR 映像処理ではない方法から解決策を練ろうと考えた。そこで、本研究では、乗り物酔いの解決方法や自身の VR 体験を参考に

し、VR 酔いが発生したときに首や頭の皮膚表面に対しペルチェ素子を用いて冷却を行うという手法を提案する。

2 皮膚表面冷却による VR 酔い緩和の評価実験

本研究では VR 酔いの発生を抑え、VR 酔いが発生した際に素早い回復を行うことを目指し、経験則に基づき皮膚表面冷却による手法を提案する。そこで、まず最初に予備実験を行い、その結果をもとに設定した評価実験から本手法の有効性を検証する。

2.1 事前実験

事前実験では被験者に VR 酔いを誘発する VR ゲームを体験させ、被験者が酔いを感じた場合に被験者の皮膚表面を冷却することで酔いが緩和されるかを確かめる評価実験を行うための条件や各種パラメータを決定する。VR 酔いの評価に定量評価として VR ゲームのクリア時間を対象とし、また、定性評価として SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) を用いた。

本実験では、首の動きのみで操作する、VR 酔いを誘発させるような VR ゲームを作成し、そこで、VR 空間上に一定周期で出現する球を首の動きのみで獲得するタスクを設定した。

VR 酔いを誘発させるような VR ゲームの作成には Unity (2019.4.31f) を、HMD として VIVEPro2 を使用した。冷却装置として、市販のネッククーラー (Neo TK-NECK2-BK, 質量 150g) を改造したもの (以下、冷却装置) を用いた。冷却装置にはペルチェ素子が内蔵されており、印加電圧によって温度を調整できる。本来は 3V もしくは 5V の電圧のみが印加できる仕様であったが、改造により印加電圧を操作できるようにし、本実験においては 8V の電圧を印加するよう設定した。この印加電圧の電源として Kungber 可変直流安定化電源 SPS3010 (出力電圧範囲 0-30V, 0-60V, 出力電流範囲

*1 龍谷大学大学院

0-10A, 0-5A)を使用した。改造にあたり冷却器の基板がむき出しになっていたため、安全性を考慮し基板部分はグルーガンを用いて覆った。さらに K タイプ熱電対温度計 AD-5601A を被験者の皮膚に貼り付け、冷却時の皮膚表面温度を測定した。

実験では、連続で VR ゲームを行った後に冷却する場合と、最初から冷却を行う場合との差を比較するために 2 通りの実験パターンを用意した。ここでは、VR ゲーム体験→皮膚表面冷却→SSQ に回答という順で行う実験を体験 1 回目後冷却実験条件とし、また、VR ゲーム体験→SSQ に回答→再度 VR ゲーム体験→冷却→SSQ に回答という順で行う実験を体験 2 回目後冷却実験条件とした。

事前実験には 19～24 歳の 16 名(男性 11 名, 女性 5 名)が参加した。このうち実験を体験 2 回目後冷却実験条件で行ったのは 8 名(女性 3 名), 体験 1 回目後冷却実験条件で行ったのは 8 名(女性 2 名)であった。また、各被験者に対して、この実験では VR 酔いが発生する可能性があること、気分が悪くなったらいつでも実験を中断できるという点をあらかじめ説明し、実験は各人からの了承のうえで行った。

まずは被験者にタスク練習をさせた後、被験者にこめかみ付近と首回りのどちらかを冷却するかを選択させ、その部位を予備実験での冷却部位とした。なお、冷却部位をこめかみ付近と首元に限定したのは事前調査によるものである。その後、被験者に対する実験条件を無作為に選択し、実験を行った。今回はこめかみ付近の冷却を選択したのが 9 名、首回りの冷却を選択したのが 7 名であった。また、実験を行う際、熱電対温度計を冷却予定部位に貼付し、VR ゲームの体験前後のそれぞれの体温を測定した。なお、実験の様子と冷却の様子は図 1 の通りである。

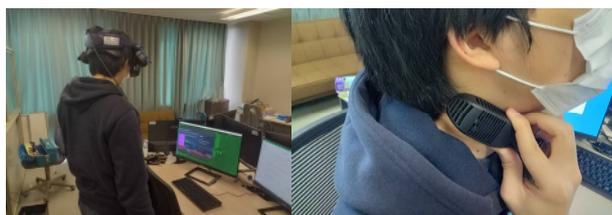


図1 実験の様子(左図)と冷却の様子(右図)

Fig.1 Experiment (left) and cooling (right)

2.2 事前実験結果

今回の実験では酔いの緩和を評価するために、実験時に回答してもらった 7 段階のリッカート尺度を用いたアンケートの「実験で酔いを感じた」という項目で 4 以上の評価を付けた 7 名(体験 2 回目後冷却実験条件 4 名)に着目した。7 名についてのタスク完了時間の結果を図 2 に、SSQ の結果を図 3 に、皮膚表面温度変化の結果を図 4 に示す。

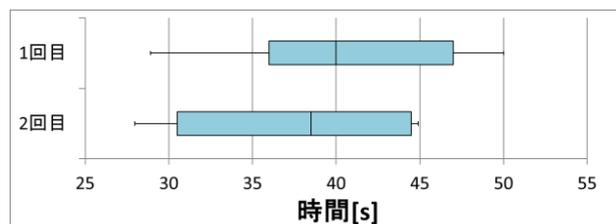


図2 VR ゲームタスク完了時間比較

Fig.2 VR Game Task Completion Time Comparison

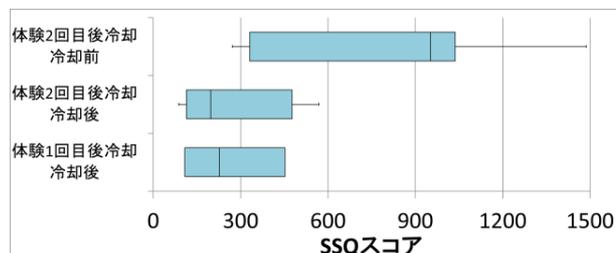


図3 冷却の有無による SSQ 評価点比較

Fig.3 Comparison of SSQ scores with and without cooling

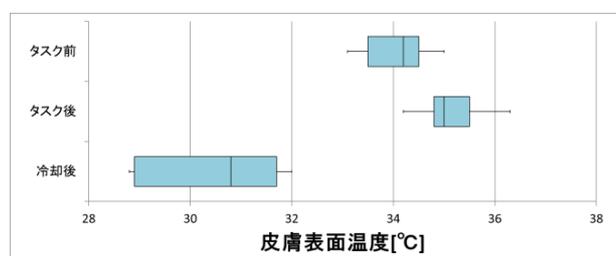


図4 実験中の皮膚表面温度比較

Fig.4 Comparison of skin surface temperatures during the experiment

2.3 事前実験考察

体験 2 回目冷却実験においての被験者のタスク完了時間について、1 回目より 2 回目のタスク完了時間の方が統計的に短くなる傾向があることが示唆された(図 2)。原因として、タスクとして行った VR ゲームに慣れたということが想定される。そのため、想定していた定量的な酔いの評価ができていないと考えられる。

SSQ について、冷却の有無によりスコアに統計的な有意差が認められたことから、皮膚表面の冷却によって VR 酔いが緩和されていることが示唆された(図 3)。

実験中の皮膚表面温度について、タスク終了時の皮膚表面温度は通常時よりも上昇する傾向にあった(図 4)。この皮膚表面温度差について統計的な有意差が認められたことから、VR ゲーム中は皮膚表面温度が上昇している可能性が示唆された。

3 本実験

3.1 背景

事前実験を踏まえ、新たに実験を行った。本実験では新たな VR ゲームを作成し、さらに VR 酔いの定量評価のための 3D レースゲームを作成した。定性評価は

SSQ と、前回使用した 7 段階のリッカート尺度のアンケートに項目を追加したものを利用した。また、事前実験と同様にタスク前後の皮膚表面温度の変化にも着目した。

3.2 レースゲーム

今回は定量評価のために、VR 酔い発生時になんらかのアクションゲームをやらせれば、その影響が大きく反映されるのではないかという考えからレースゲームを作成した(図 5)。レースゲームには 1 周およそ 100 秒を要するコースを用意し、実験ではそのコースを 1 周するタスクを設けた。コースは地面から浮いており、コースから落下すると車が破壊され、落下時から 1 秒前に車がいったコース上の座標に新たに車が登場する仕様になっている。このように設定した理由としては、酔っていると運転のふらつきが大きくなり、コースから落下する回数が増えると考えたためであり、1 秒前という設定は落下時のタイムロスを一定にするためである。一方で、酔いが発生していない状態では落下する回数は少ないと想定している。評価の対象として、コースを 1 周するのにかけた時間、走行中の左右キー入力時間、落下回数を用いた。なお、操作はキーボードの WASD キー入力(W:前進, A:左方向に操舵, S:後退, D:右方向に操舵)のみによるものとした。



図5 レースゲーム画面

Fig.5 Racing Game Screen

3.3 実験タスク

本実験では事前実験と同様に、首の運動による操作のみで行うタスクを設定した。

HMD には古い小屋が映し出されており、HMD 装着者はこの小屋の中央に身を置く(図 6)。この空間では白球が小屋の中のランダムな位置に出現し、その場に 2 秒間滞留した後に消失し、その直後に再び小屋の中のランダムな位置に白球が出現するといった動作を繰り返す。HMD の画面中心部には白色のドットが、画面左上部には白球獲得数が表示されており、これらは HMD の変位に遅延なく追従する。また、ドットを白球に重ねることで白球を獲得できるようになっている。さらに、今回の VR ゲームでは VR 酔いを引き起こすための視覚効果を 11 種類用意し(表 1)、これらが 20 秒周期で順番に切り替わっていく仕様とした。

今回の実験では、白球を 30 個獲得するとタスクが完了するように設定した。ただし、常に首を動かしてもらうために、白球を 5 個取り逃すたびに白球獲得数が 1 減少するような仕様とした。



図6 VR ゲーム画面

Fig.6 VR game screen

表1 タスク中に切り替わる視覚効果(順不同)

Table 1 Visual effects that switch during the task

通常	前後移動	前後振動	動作 10 倍
反転	左右移動	左右振動	ちらつき
0.5 秒遅延	上下移動	上下振動	

3.4 実験環境

レースゲームと VR ゲームの作成には Unity (2019.4.31f)を、HMD として VIVEPro2 を使用した。皮膚表面を冷却するネッククーラーの電源として Kungber 可変直流安定化電源 SPS3010(出力電圧範囲 0-30V,0-60V, 出力電流範囲 0-10A,0-5A)を、冷却時の皮膚表面温度測定のため K タイプ熱電対温度計 AD-5601A を、冷却装置は事前実験で利用したものと同様のものを用いた。

3.5 実験の流れ

実験は図 7 のような流れで A,B,C の順で行われた。A では通常時のデータを、B では VR ゲーム後に冷却を行わなかった場合のデータを、C では VR ゲーム後に冷却を行った場合のデータを取得することを目的としている。また、レースゲームの結果が慣れに左右されないよう、実験開始前にレースゲームに慣れるための練習を行った。

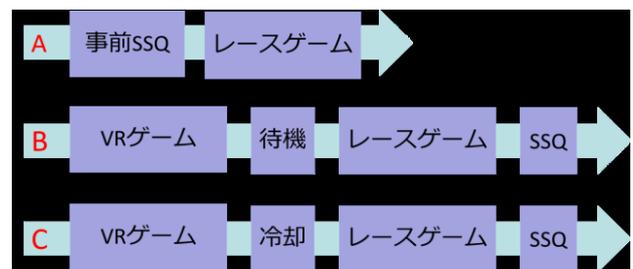


図7 実験の順序

Fig.7 Order of experiments

また、本実験には被験者として 21~25 歳の 12 名(男性 10 名, 女性 2 名)が参加した。各被験者にはこの実

験では酔いが発生すること、気分が悪いと感じたらいつでも実験を中断できるという点をあらかじめ説明し、実験は各人からの了承のうえで行った。また、予備実験において、こめかみ付近と首元での冷却効果に大きな差が見られなかったため、本実験では冷却部位を、熱電対を貼付しやすい首元に限定して行った。さらに、皮膚表面温度測定の際は、実験開始前に被験者の首側面に熱電対温度計を貼付し、5 分間安静にさせて測定温度を安定させた。皮膚表面温度は平常時。HMD 装着後、タスク終了後、レースゲーム終了後において確認した。また、冷却時間は 30 秒とし、冷却を行わない場合は VR ゲーム後に 30 秒の待機時間を設けることで、経過時間による VR 酔いの軽減をできる限り一致させている。また、実験の様子と冷却の様子は図 1 と同様のものである。

3.6 実験結果

今回の実験では予備実験と同様に、アンケートで「酔いを感じた」という項目に 4 以上の評価を付けた 7 名(男性 5 名, 女性 2 名, 以下, VR 酔い発生者)での評価に加え, 比較として 4 未満の評価を付けた 5 名(男性 5 名, 以下, VR 酔い非発生者)の評価も行った。得られたレースゲームの結果を図 8, 図 9, 図 10, 図 11 に, SSQ の結果を図 12 に, 皮膚表面温度の結果を図 13, 14 に示す。

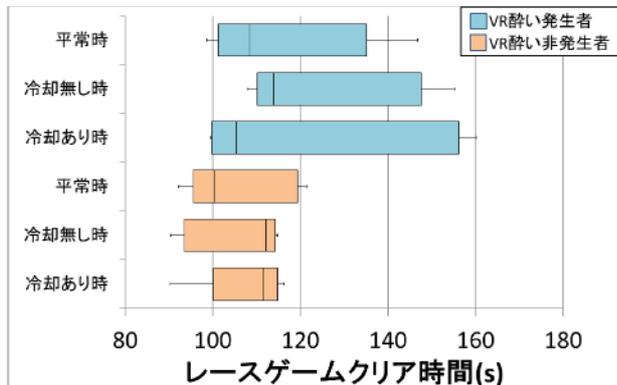


図8 VR 酔い発生者のレースゲームクリア時間(青)と VR 酔い非発生者のレースゲームクリア時間(赤)

Fig.8 Race game clear time for VR sickness sufferers (blue) and race game clear time for VR sickness non-sufferers (red)

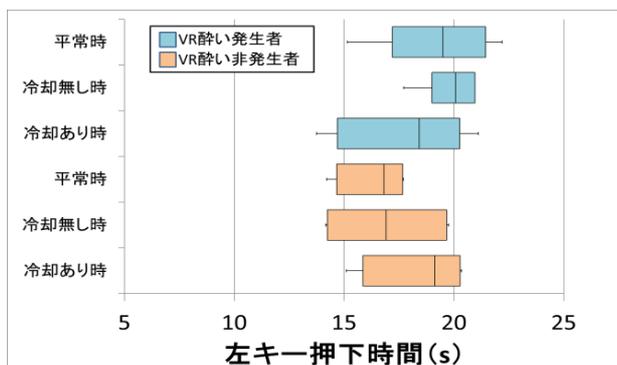


図9 VR 酔い発生者の左キー押下時間(青)と VR 酔い非発

生者の左キー押下時間(赤)

Fig.9 Left key press time for VR sickness sufferers (blue) and left key press time for VR sickness non-sufferers (red)

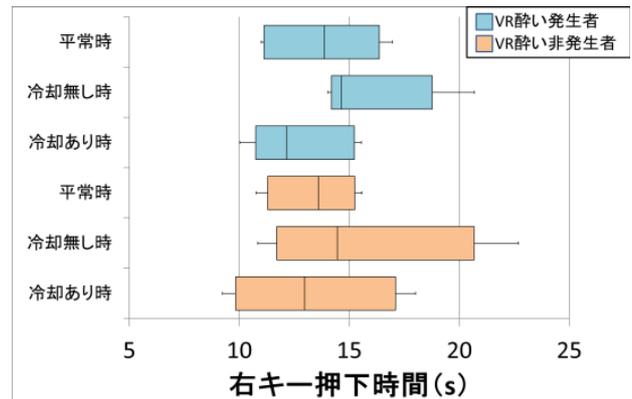


図10 VR 酔い発生者の右キー押下時間(青)と VR 酔い非発生者の右キー押下時間(赤)

Fig.10 Right key press time for VR sickness sufferers (blue) and right key press time for VR sickness non-sufferers (red)

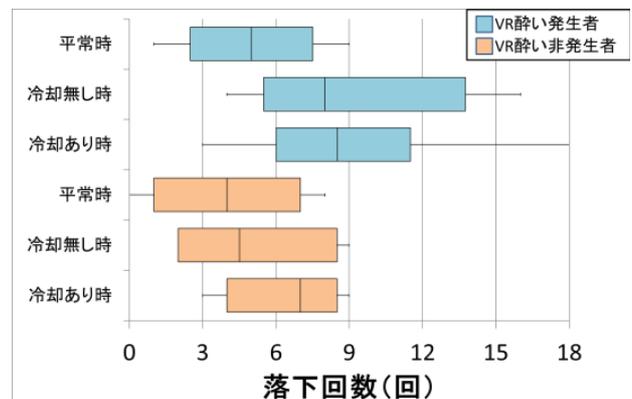


図11 VR 酔い発生者の落下回数(青)と VR 酔い非発生者の落下回数(赤)

Fig.11 Number of times a VR sickness sufferer has dropped a car(blue) and number of times a VR sickness non-sufferer has dropped a car(red)

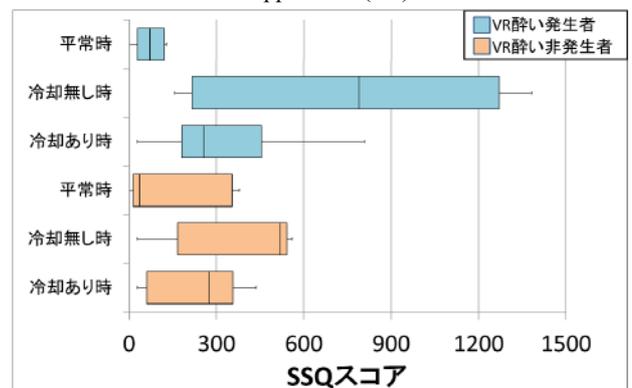


図12 VR 酔い発生者の SSQ スコア(青)と VR 酔い非発生者の SSQ スコア(赤)

Fig.12 VR sickness sufferers SSQ score(blue) and VR sickness non-sufferers SSQ score(red)

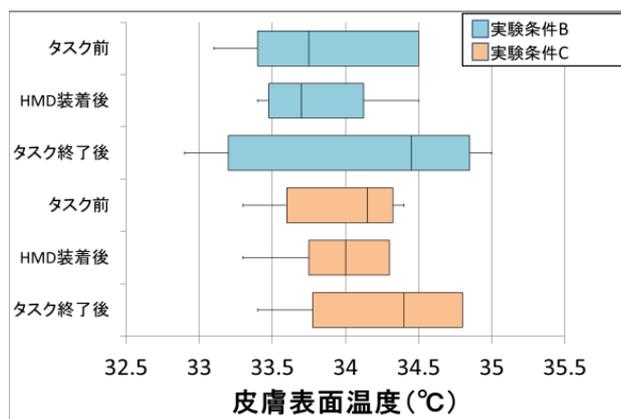


図13 VR酔い発生者についての冷却無し時の皮膚表面温度(青)と冷却あり時の皮膚表面温度(赤)

Fig.13 Skin surface temperature without cooling (blue) and with cooling (red) for VR sickness sufferer

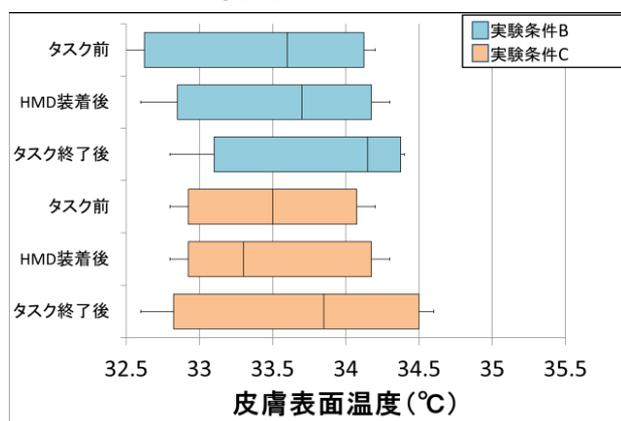


図14 VR酔い発生者についての冷却無し時の皮膚表面温度(青)と冷却あり時の皮膚表面温度(赤)

Fig.14 Skin surface temperature without cooling (blue) and with cooling (red) for VR sickness non-sufferer

4 考察

4.1 レースゲームによる定量評価

VR酔い発生者のレースゲームクリア時間について評価すると、平常時と冷却無し時のクリア時間については統計的な有意差が見られた。一方、平常時と冷却あり時のクリア時間について、統計的な有意差は見られなかった。この結果から、VRゲームによりVR酔いが発したものの、皮膚表面冷却により感覚を平常時に近づけられたことが示唆された。また、VR酔い非発生者のレースゲームクリア時間について評価すると、平常時と冷却無し時及び平常時と冷却あり時のそれぞれにおいて統計的有意差は見られなかった。

左右キー押下時間を平常時と比較すると、左キー入力については冷却あり時でのVR酔い非発生者のみで統計的有意差が見られた。右キー入力については、VR酔い発生の有無にかかわらず冷却無し時、冷却あり時ともに統計的有意差が見られた。

落下回数については、実験条件BでのVR酔い発生

者についてのみ統計的有意差が見られた。

以上の結果から、本実験で用いたレースゲームにおいてはVR酔いによってクリア時間が長くなり落下回数が増加することが示唆される。

4.2 SSQによる定性評価

VR酔い発生者について、平常時と冷却無し時のSSQスコア、平常時と冷却あり時のSSQスコアについてそれぞれに統計的有意差が見られた。一方で、冷却無し時と冷却あり時のSSQスコアについても統計的有意差が見られた。

VR酔い非発生者については、平常時と冷却無し時、平常時と冷却あり時のいずれにおいても統計的有意差が見られなかった。

以上の結果から、VR酔いが発生した際に皮膚表面冷却を行うとSSQスコアが減少することが示唆される。

4.3 皮膚表面温度変化

VR酔い発生者の皮膚表面温度変化について、冷却あり時のみでタスク前とタスク終了直後の皮膚表面温度の間で統計的有意差が見られた。また、タスク前とHMD装着時の皮膚表面温度については、皮膚表面冷却の有無にかかわらず統計的有意差は見られなかった。また、冷却無し時におけるタスク前の皮膚表面温度と冷却あり時におけるタスク前の皮膚表面温度については統計的有意差は見られなかった。

VR酔い非発生者について、冷却無し時においては平常時とタスク終了直後の皮膚表面温度の間に有意差は見られなかったが、冷却あり時においては平常時とタスク終了直後の皮膚表面温度間に統計的有意差が見られた。また、冷却ありと冷却無し時ともにタスク前とHMD装着時の皮膚表面温度間には有意差は見られなかった。冷却無し時と冷却あり時のそれぞれのタスク前の皮膚表面温度については有意差は見られなかった。

以上の結果から、VRゲームを行うと皮膚表面温度が上昇する傾向にあることが示唆される。

5 おわりに

本研究では、VR利用時に発生することがあるVR酔いという症状を緩和させるために皮膚表面冷却を行うという手法を提案し、評価実験を行った。冷却装置として市販のネッククーラーを改造したものを用意し、VR酔いを誘発させるようなVRゲームを利用して実験を行った。事前実験ではアンケートでVR酔いを感じたという回答をした7名に対してのみ評価を行い、本実験では、新たにVR酔いを誘発する11種類の視覚効果を有するゲームを開発し、さらにVR酔いの定量評価としてレースゲームを作成した。この新たに開発したVRゲームをプレイ後に、皮膚表面冷却を行った場合と行わなかった場

合でレースゲームをプレイしてもらい、VR 酔いを感じたと回答した 7 名と、VR 酔いをあまり感じなかったと回答した 5 名についてそれぞれ評価を行った。レースゲームのクリア時間について評価すると、VR 酔いが発生しており、なおかつ冷却の有無により統計的有意差が見られた。また、落下回数についても同様の結果が得られた。また、SSQ スコアについて、事前実験の被験者と本実験における VR 酔い発生者は共通して皮膚表面冷却の有無による SSQ スコアに統計的な有意差が見られた。一方で、本実験において VR 酔い非発生者についてはいずれの場合も統計的な有意差が見られなかった。この結果から皮膚表面冷却によって SSQ のスコアは減少することが示唆され、提案手法による VR 酔い緩和の効果が得られたことが分かった。さらに、SSQ の結果と比較すると、定量評価として用いたレースゲームでは、VR 酔いが発生した際にクリアまでの時間が長くなり、落下回数が増加する傾向にあることが分かった。また、皮膚表面温度の変化について検証すると、VR ゲーム後は VR 酔いの発生の有無にかかわらず皮膚表面温度が上昇する傾向にあることが分かった。

今後の課題として、この皮膚表面温度と VR 利用の因果関係について深く調査する必要があると考えられる。そのため、現在は被験者を随時追加し、より多くのデータを収集し検証を進めている。また、現在は VR 利用中に冷却可能なシステムの開発も行っており(図 15)、今後はより効果的な冷却方法の調査も進めていく所存である。

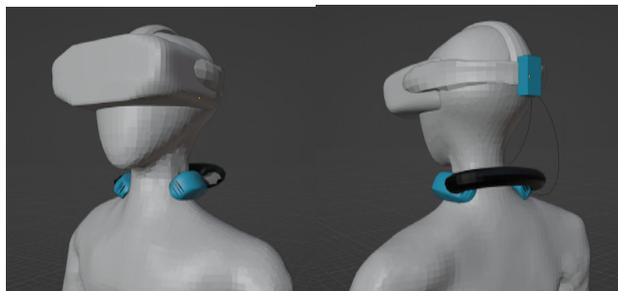


図15 冷却装置を有する HMD のイメージ図

Fig.15 Diagram of HMD with cooling system

謝辞

本研究を支援していただいた酒田信親准教授および被験者各位に感謝する。本研究は JSPS 研究費(課題番号 21H03483)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Eunhee Chang, Hyun Taek Kim, Byounghyun Yoo, "Virtual Reality Sickness: A Review of Causes and Measurements", INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION. Vol.36. no.17, pp.1658-1682, Jul.2020
- [2] Majed Al Zayer, Isayas B. Adhanom, Paul MacNeilage,

- Eelke Folmer, "The Effect of Field-of-View Restriction on Sex Bias in VR Sickness and Spatial Navigation Performance", CHI'19, no.354, pp.1-12, Glasgow Scotland UK, May.2019
- [3] Umer Asghar Chattha, Uzair Iqbal Janjua, Fozia Anwar,Tahir, Mustafa Madni, Muhammad Faisal Cheema, Sana Iqbal Janjua, "Motion Sickness in Virtual Reality : An Empirical Evaluation", IEEE Access, vol.8, no.19800600, pp.130486-130499, Jul. 2020
- [4] Shi-Hong Liu, Neng-Hao Yu, Liwei Chan, Yi-Hao Peng, Wei-Zen Sun, Mike Y. Chen, "PhantomLegs: Reducing Virtual Reality Sickness using Head-Worn Haptic Devices", IEEE VR 2019, no.18923680, pp.817-826, Osaka, Japan, Mar.2019
- [5] Jean-Rémy Chardonnet, Mohammad Ali Mirzaei, Frédéric Mérienne, "Features of the Postural Sway Signal as Indicators to Estimate and Predict Visually Induced Motion Sickness in Virtual Reality", International Journal of Human-Computer Interaction, vol.3, no.10, pp.771-785, Jan.2017
- [6] Sarah D'Amour, Jelte E. Bos, Behrang Keshavarz, "The efficacy of airflow and seat vibration on reducing visually induced motion sickness", Exp Brain Res, vol.235, no.9, pp.2811-2820, Sep.2017
- [7] Nahal Norouzi, Gerd Bruder, Greg Welch, "Assessing Vignetting as a Means to Reduce VR Sickness During Amplified Head Rotations", SAP'18, no.19, pp.1-8, Vancouver, Canada, Aug.2018
- [8] Alla Vovk, Fridolin Wild, Will Guest, Timo Kuula, "Simulator Sickness in Augmented Reality Training Using the Microsoft HoloLens", CHI'18, no.209, pp.1-9, Montreal, Canada, Apr.2018
- [9] CHUNG-YEN LIAO, SHAO-KUO TAI, RUNG-CHING CHEN, HENDRY HENDRY, "Using EEG and Deep Learning to Predict Motion Sickness Under Wearing a Virtual Reality Device", IEEE Access, vol.8, no.19800456, pp.126784-126796, Jul.2020
- [10] Steve Aukstakalnis, "AR の実践教科書", pp.348-358, マイナビ出版, 東京, 2020
- [11] 神原誠之, "自動走行酔い:車酔いと VR 酔いが併発する環境発生する動揺病", 日本バーチャルリアリティ学会誌, 第 25 卷 1 号, pp.19-22, 2020
- [12] David Matthew Whittinghill, Bradley Ziegler, T Case, B Moore(2015), "Nasum virtualis: A simple technique for reducing simulator sickness", GDC Vault, Mar.2015
- [13] Zekun Cao, Jason Jerald, Regis Kopper, "Visually-Induced Motion Sickness Reduction via Static and Dynamic Rest Frames", IEEE VR 2018, no.18060251, pp.105-112, Tuebingen/Reutlingen, Germany, Mar. 2018
- [14] 氏家弘裕, "知っておきたいキーワード 映像酔い", 映像情報メディア学年誌, Vol.61, no.8, pp.1122-1124, 2007
- [15] 川村大樹, 酒田信親, "皮膚表面冷却による VR 酔いの緩和の研究", 信学技報, vol.122, no.440, MVE2022-62, pp79-84, 2023