

皮膚表面冷却による VR 酔い症状緩和の研究

川村大樹^{†1} 酒田信親^{†1}

概要: VR 利用時に VR 酔いと呼ばれる症状が発生することがある。VR 酔いの発生には個人差があり、酔いの強さや症状も様々であるが、発生すると VR 活動に支障をきたしてしまう。そのため、快適な VR 活動を行うには VR 酔いの解消が必要である。本研究では VR 酔いと乗り物酔いの類似点に着目し、乗り物酔い時に特定の身体部位を冷却するという慣習的な酔い緩和方法に着目した。特に乗り物酔い緩和に用いられる首元の冷却に着目し、これを VR 酔いの緩和に適用することを考えた。本研究では VR 酔いが発生した場合に首元の皮膚表面を冷却すると VR 酔い症状が緩和されるのではないかという仮説を立て、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 ゲームを作成し、被験者実験を行った。VR 酔い症状の評価のため、SSQ による定性評価、タスクによる定量評価を行い、それぞれで提案法の効果を検証した。また、予備実験において皮膚表面温度の変化が確認されたため、実験中は皮膚表面温度を測定し、その変化にも注目した。実験結果より、首元の皮膚表面冷却による VR 酔い症状の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た。

1. はじめに

近年、VR (Virtual Reality) 技術が発展し、一般向けの家庭用 VR が登場するなど、VR が身近に体験可能になっている。しかし、VR を利用していると吐き気や疲れ目や平衡感覚の喪失などの不快感を引き起こす VR 酔いという症状が発生する場合がある[1]。この症状には個人差があり[2]、全く症状が見られない人から重度の体調不良に陥る人まで様々で[3][4]、非自発的な体の揺れがみられる場合もある[5]。VR 酔いが発生すると回復のために VR の利用を中断する必要があり、ある程度回復するまでは VR 活動の再開が難しい。さらに一度でも VR 酔いを体験すると、次回から酔ってしまう可能性を意識して安易に酔ってしまうことになり、VR 環境で快適に活動するうえで将来にわたり継続的に支障をきたす恐れもある。

これを解消するために、VR 酔い緩和のための様々な研究が行われている。VR 酔いが発生する主な要因として、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設定、視覚野といったものが挙げられる[6]。VR 酔いを解消しようとする研究では、これらの要因、特に感覚の不一致に着目して対処しているものが多い[7]。しかし、本研究では他の視点からのアプローチを考えた。VR 酔いの改善方法について大きく分類すると、VR 酔いの発生を極力抑える、VR 酔いからの回復を素早く行う、VR 酔いをなくすといった方法が考えられる。今回は VR 酔いからの回復を素早く行うという方法に着目した。そこで、身近な酔いである乗り物酔いの解決方法を応用できないかと考えた。一般に、VR 酔いは疑似的な運動感覚から発生する症状であるのに対し、乗り物酔いは現実の運動から発生する症状であるという起因の違いから、VR 酔いと乗り物酔いは同じ症状ではないとされている[8]。しかし、それぞ

れの症状には類似点が多くみられ[9]、乗り物酔いの症状を緩和できる手法なら VR 酔いの症状もある程度緩和できるのではないかと考えた。そこで、筆者らの経験則から、乗り物酔い緩和の手法の一つである冷却手法について考える。乗り物酔いが発生すると、感覚信号の混乱により発生するミスマッチ信号が扁桃体に入力され、不快感が自律神経機能やストレスホルモンに反映される[10]。また、心理ストレスを受けるとストレス性体温上昇という症状により体温の上昇が確認される[11]。このことから、乗り物酔い発生時には体温が上昇するため、冷却手法は乗り物酔い緩和に効果的であると考えられる。この手法を VR 酔い緩和に応用する。具体的には、VR 酔いが発生したときに首や頭の皮膚表面に対し冷却を行い、VR 酔いの症状を緩和する手法を提案する。

2. 関連研究

現在まで VR 酔いの症状を緩和、あるいは解消のために多くの研究が行われている。例えば、Kyung-Min らは VR 上で移動する際、視野角を動的に縮小するという手法を提案した[12]。IMU (Inertial Measurement Unit) を用いて最適な視野角縮小範囲を検証し、実験を行ったところ本手法により VR 酔い症状を約 37%軽減させることに成功した。また、Zekun らはレストフレームと呼ばれる、移動や回転によらず常に一定の位置に描画されるフレームを用いた実験を行った[13]。静的フレームと動的フレームを用いた場合の影響を比較し、VR 酔いの症状の軽減を目指した。一方で、David らは現実で常に視界に映る鼻が VR 映像上に描画されていないことの違和感に着目し、仮想の鼻をディスプレイに描画することで VR 酔い症状の緩和を試みた[14]。実験では別荘のナビゲート、もしくはジェットコースター

の体験をするというタスクを用意した。実験の結果、仮想鼻を描画した場合、別荘のナビゲートタスクでは平均約 94.2 秒長く体験でき、ジェットコースターのタスクでは平均約 2.2 秒長く体験できた。また、女性の方が男性と比べて VR 酔いが発生しやすい[15][16]、アジア系人種は非アジア系人種と比べて VR 酔いが発生しやすい[6]など、性別や人種も VR 酔いの発生を左右する要因であると考えられる。以上のように様々な研究が行われているものの、現在では VR 酔いの具体的な原因は解明されておらず[17]、あらゆる状況に対応できる普遍的な解決策も発見されていない。そこで、本研究ではどのような場面でも簡単に VR 酔い症状の緩和が可能となるような手法を研究する。

3. 皮膚表面冷却による VR 酔い症状緩和の評価実験

本研究では VR 酔いの症状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、まず初めに予備実験を行い、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。

3.1 予備実験

予備実験では被験者に VR 酔いを誘発する VR ゲームを体験させ、被験者が VR 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 VR 酔いの症状が緩和されるかを確かめる評価実験を実施するための条件やパラメータを決定する。VR 酔いの度合いの評価に定量評価として VR ゲームのクリア時間を、定性評価として酔いや疲労に関する主観評価項目で一般的によく使われる SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) [18]を用いた。この実験では首の動きのみで操作する VR ゲームを作成し、使用した。

3.2 予備実験タスク

予備実験を行うにあたり、VR 酔いを誘発させるための首の動きのみで操作する VR ゲームを作成した(図 1)。HMD (Head Mounted Display) には教室をイメージした部屋が映し出されており、装着者は複雑な模様や文字の描かれた壁や床、天井に囲まれた VR 環境に身を置く。この VR 環境の部屋の中では 0.1 秒間隔で青球が、3 秒間隔で赤球が天井から降ってくる。HMD の画面中心には首の動きに遅延なく追従する緑円が表示されており、緑円と赤球を重ね合わせることで赤球の獲得が可能となっている。また、緑円と赤球と青球を除く周囲のオブジェクトは頭の動きに対して 1 秒遅延して画面に追従する仕様とした。これは、VR 世界が自分の想定通りの位置関係にならないという感覚の不一致を引き起こすための設定である。今回の実験では、赤球を 10 個獲得するとタスクが完了するように設定した。



図 1 予備実験で用いた VR 酔いを誘発させるための VR ゲーム

3.3 予備実験環境

VR ゲームの作成には Unity (2019.4.31f) を、HMD として VIVE Pro2 (解像度:片目 2448×2448 pixel, リフレッシュレート:90/120 Hz) を使用した。冷却装置として、市販のネッククーラ (TK-NECK2-BK, 質量 150g) を改造したもの(図 2, 以下、冷却器)を用いた。冷却器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節できる。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、この実験においては 8V の電圧を印加するよう設定した。この時の冷却器の温度は約 9.3℃であった。この印加電圧の電源として可変直流安定化電源 (SPS3010, 出力電圧範囲 0-30V, 出力電流範囲 0-10A) を使用した。また、冷却器改造にあたり基盤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) を被験者の皮膚の冷却予定箇所に張り付け(図 3)、冷却時の皮膚表面温度を測定した。実験の様子と冷却の様子は図 4 の通りである。



図 2 冷却器



図 3 皮膚表面温度測定



図 4 予備実験の様子（左）と冷却の様子（右）

3.4 予備実験の流れ

まず被験者に VR ゲームの練習をさせたあと、冷却部位として、こめかみ付近と首元のどちらかを選択させた。なお、冷却部位をこめかみ付近、もしくは首元に限定したのは数人に対しての聞き取りによるものである。その後、被験者ごとに無作為で決定した実験条件に基づき実験を進めた。この実験では 2 度目の VR ゲーム後に冷却を行う体験 2 回目後冷却実験条件と、1 度目の VR ゲーム後に冷却を行う体験 1 回目後冷却実験条件という 2 つの条件を設定した（図 5）。体験 2 回目後実験条件を用意した理由は、VR ゲームを 2 回プレイすることでより VR 酔いを蓄積させ、皮膚表面冷却による VR 酔い緩和効果を明確に観察するためである。

体験2回目後冷却実験条件



体験1回目後冷却実験条件



図 5 予備実験の流れ

3.5 被験者

この実験には 19~24 歳の 16 名（男性 11 名、女性 5 名）が参加した。このうち体験 2 回目後冷却実験条件で実験を行ったのは 8 名（女性 3 名）、体験 1 回目後冷却実験条件で実験を行ったのは 8 名（女性 2 名）であった。また、各被験者にはこの実験では VR 酔いが発生する恐れがあるこ

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、被験者と実験者が所属する機関の倫理委員会の許可を得ている。

3.6 予備実験結果

予備実験では酔いの緩和のみを評価するため、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、体験 1 回目後冷却実験条件 3 名）に着目した。7 名についてのタスク完了時間の結果（図 6）、SSQ の結果（図 7）、皮膚表面温度変化の結果（図 8）を以下に示す。

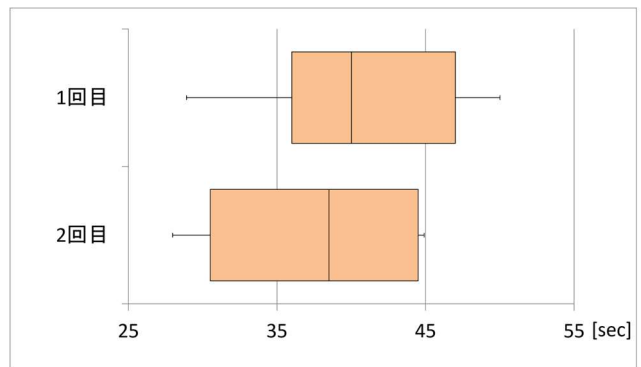


図 6 予備実験のタスク完了時間

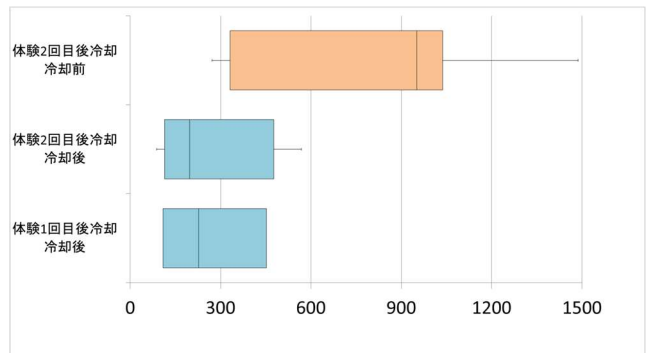


図 7 予備実験における冷却無し時（赤）と冷却あり時（青）の SSQ スコア

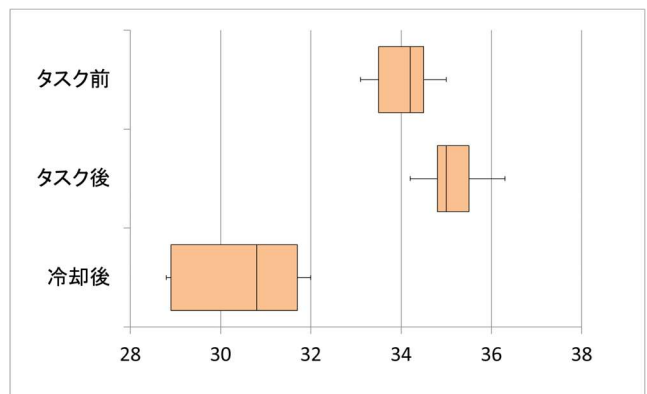


図 8 予備実験の皮膚表面温度変化

3.7 予備実験考察

体験2回目後冷却実験条件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t検定による統計的に短くなる傾向がある ($p < 0.05$) ことが示唆された (図 6). 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。

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 7).

実験中の皮膚表面温度について、タスク終了後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 8). この皮膚表面温度差については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。

4. 本実験

予備実験を踏まえ、新たに詳細な実験を行った。本実験では新たな VR ゲームを開発し、さらに VR 酔いの定量評価をするための 3D レースゲームを作成し、使用した。定性評価では SSQ と、予備実験で使用した 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、予備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。

4.1 レースゲーム

今回は、VR 酔い発生時にその影響が大きく反映されると考えられるレースゲームに着目し、これのタスク完了時間を定量評価に利用しようと考えた。レースゲームには 1 周 100 秒ほど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 (図 9). コースは地面から浮いており、コースから落下すると、落下時から 1 秒前に車があったコース上の座標に戻るといった仕様になっている。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、VR 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た。評価の対象として、コースを 1 周するのにかかった時間、走行中の左右キー押下時間、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:右方向に操舵, S:後退, D:左方向に操舵) のみとした。



図 9 本実験で作成したレースゲーム画面

4.2 実験タスク

本実験では予備実験と同様に、首の運動による操作のみで行う VR ゲームを作成した。

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 10). 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い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可能になっている。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、首を動かさずに確実に獲得できる白球だけの出現を待つゲームスタイルを防ぎ、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 減少する仕様とした。

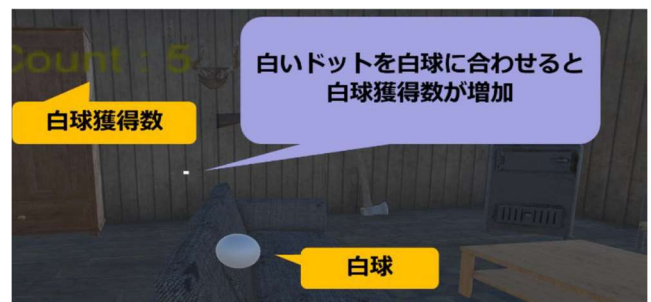


図 10 本実験で用いた VR 酔いを誘発させるための VR ゲーム

表 1 タスク中に切り替わる視覚効果 (順不同)

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

4.3 実験環境

レースゲームと VR ゲームの作成には Unity (2019.4.13f) を、HMD として VIVE Pro2 を使用した。冷却装置として、予備実験で作成した冷却器を用いた。冷却器の電源として可変直流安定化電源 (SPS3010, 出力電圧範囲 0-30V, 出力電流範囲 0-10A) を、被験者の皮膚表面温度測定のため K タイプ熱電対温度計 (AD-5601A) を用いた。

4.4 実験の流れ

実験は、図 11 のような流れで行った。実験条件 A では平常時のデータを、実験条件 B では VR ゲーム後に冷却を行わない場合のデータ (以下、冷却無し時) を、実験条件 C では VR ゲーム後に冷却を行う場合のデータ (以下、冷却あり時) をそれぞれ取得することを目的とした。また、今回の実験では冷却による VR 酔い緩和効果をより明確に確認することを目的に、すべての被験者に対して ABC の順で実験を行った。レースゲームについては、結果が学習効果により左右されないよう、事前にコースを 2 周以上走行するよう指示し、慣れによる上達量が少なくなったと判断してから実験に移行した。

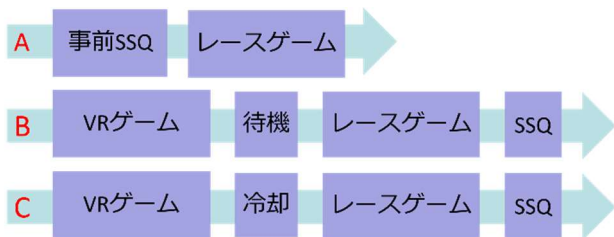


図 11 本実験の流れ

4.5 被験者

本実験には 21~25 歳の 17 名 (男性 13 名, 女性 4 名) が参加した。各被験者にはこの実験では VR 酔いが発生する恐れがあること、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、被験者と実験者が所属する機関の倫理委員会の許可を得ている。

被験者には事前 SSQ とアンケートに回答してもらい、その後前述のように、レースゲームに慣れてもらうための 2 周以上走行の練習を行った。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ことや、熱電対温度計を貼付しやすいという理由から、今回の冷却部位は首元に統一した。さらに、皮膚表面温度測定のため、実験開始前に首側面に熱電対温度計を貼付し (図 3)、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 装着時、VR ゲーム終了時、レースゲーム終了時において測定した。また、冷却時間は 30 秒とし、冷却を行わない場合は VR ゲーム終了後に 30 秒の待機期間を設けて、経過時間による VR 酔いの軽減は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予

備実験と同様のもの (図 4) である。

4.6 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 9 名 (男性 6 名, 女性 3 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 8 名 (男性 7 名, 女性 1 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 (図 12, 図 13, 図 14, 図 15)、SSQ の結果 (図 16)、皮膚表面温度測定結果 (図 17, 図 18) を以下に示す。なお、図中の*では結合された 2 つのデータに有意差が確認されたことを示す。また、検定手法として $p < 0.05$ とした対応のある片側 t 検定を行った。

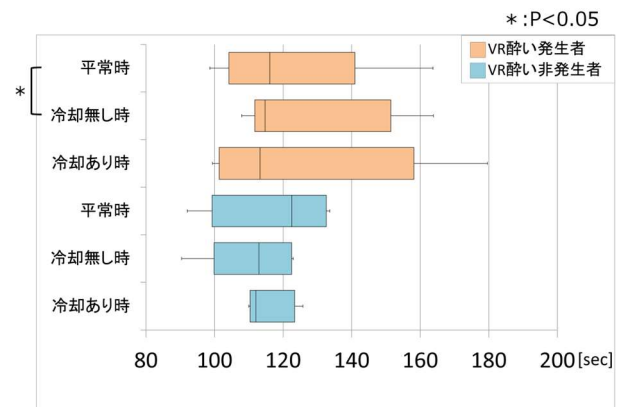


図 12 VR 酔い発生者と VR 酔い非発生者のレースゲームタスク完了時間

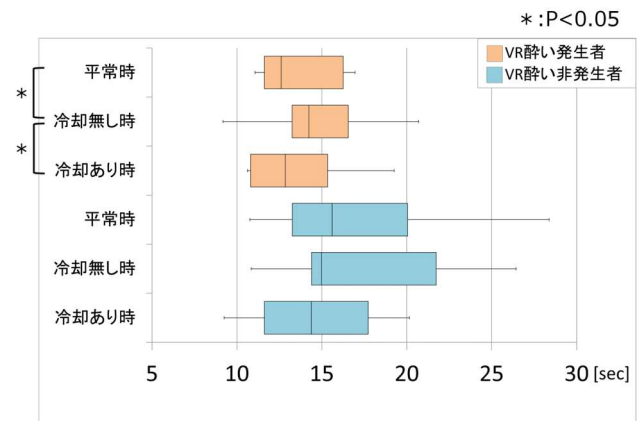


図 13 VR 酔い発生者と VR 酔い非発生者のレースゲームでの落下回数

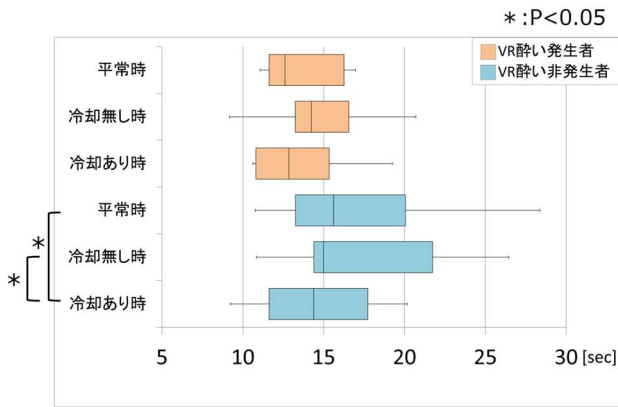


図 14 VR酔い発生者とVR酔い非発生者のレースゲームでの右キー押下時間

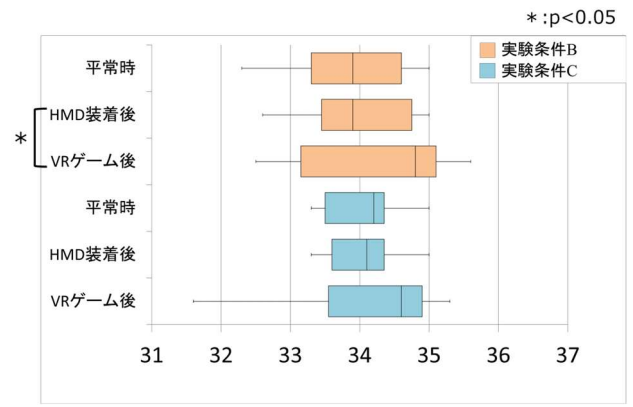


図 17 VR酔い発生者の皮膚表面温度変化

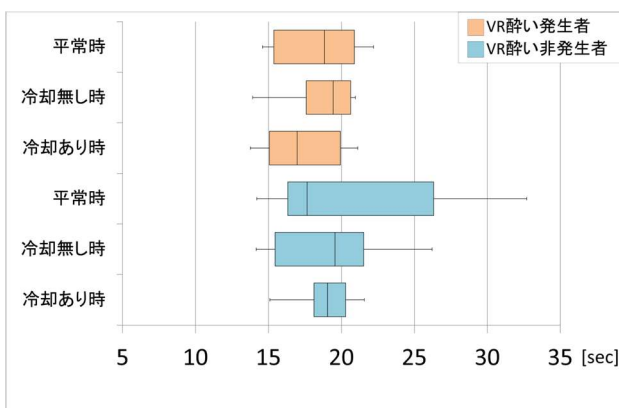


図 15 VR酔い発生者とVR酔い非発生者のレースゲームでの左キー押下時間

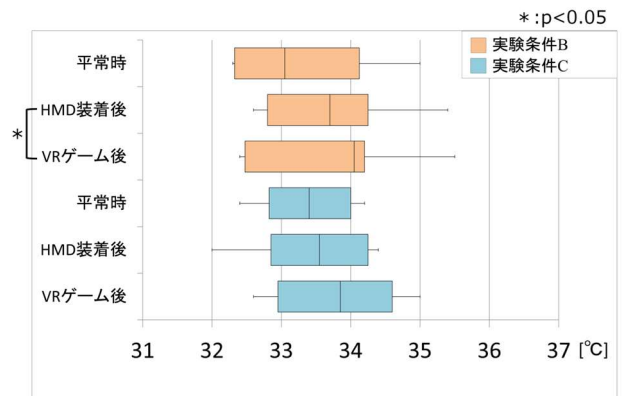


図 18 VR酔い非発生者の皮膚表面温度比較

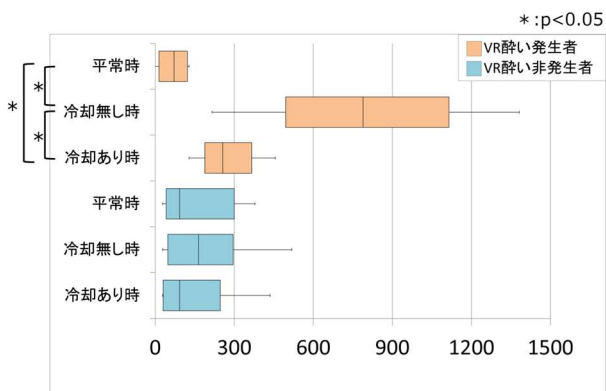


図 16 VR酔い発生者とVR酔い非発生者のSSQスコア

VR酔い発生者9名とVR酔い非発生者8名の結果について、統計的有意差があったものや特徴的なものについて言及する。

VR酔い発生者のレースゲームタスク完了時間では、通常時と冷却無し時の間に有意差が見られた。標本平均は、通常時122.09秒(SD:22.21)、冷却無し時125.71秒(SD:30.81)であった。VR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。

VR酔い発生者の落下回数では、通常時と冷却無し時、冷却無し時と冷却あり時のそれぞれに統計的な有意差が見られた。標本平均は、通常時4.67回(SD:2.45)、冷却無し時8.22回(SD:4.38)、冷却あり時5.44回(SD:4.67)であった。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。

VR酔い発生者の左右キー入力時間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。

VR酔い発生者の右キー入力時間では、通常時と冷却あり時、冷却無し時と冷却あり時のそれぞれについて統計的な有意差が見られた。標本平均は、通常時13.81秒(SD:2.43)、冷却無し時14.67秒(SD:3.23)、冷却あり時13.25秒(SD:2.90)であった。左キー入力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。

VR 酔い発生者の SSQ スコアでは、平常時と冷却あり時、平常時と冷却無し時、冷却無し時と冷却あり時のすべての場合で統計的な有意差が見られた。冷却無し時の SSQ スコアと冷却あり時の SSQ スコアを比較すると、冷却あり時では SSQ スコアが平均約 53%減少していることが分かった。また、平常時と比較すると、VR ゲーム後は皮膚表面冷却の有無にかかわらず SSQ スコアが増加する傾向にあるが、皮膚表面冷却を行ったほうが SSQ スコアの増加量が少ない傾向にあった。標本平均は、平常時 71.44 (SD:51.48)、冷却無し時 774.15 (SD:381.71)、冷却あり時 312.56 (SD:206.98) であった。VR 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。

皮膚表面温度変化については、VR 酔い発生の有無にかかわらず、実験条件 B での HMD 装着後と VR ゲーム後の間に統計的な有意差が見られた。実験条件 B における VR 酔い発生者の標本平均は平常時 33.9°C (SD:0.87)、HMD 装着後 33.93°C (SD:0.79)、VR ゲーム後 34.21°C (SD:1.11) であった。実験条件 B における VR 酔い非発生者の標本平均は平常時 33.93°C (SD:0.80)、HMD 装着後 33.84°C (SD:1.02)、VR ゲーム後 34.12°C (SD:1.15) であった。

5. 考察

5.1 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タスク完了時間について評価すると、平常時と冷却無し時のタスク完了時間について統計的な有意差が見られた。一方、平常時と冷却あり時のタスク完了時間については統計的な有意差は見られなかった。これは、VR ゲームにより VR 酔いが発生したものの、皮膚表面冷却により感覚を平常時に近づけられたためだと考えられる。また、VR 酔い非発生者のレースゲームタスク完了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な有意差は見られなかった。これらの結果から、VR 酔いが発生することでレースゲームのタスク完了時間が延び、皮膚表面冷却により VR 酔いの症状を緩和することで感覚を平常時に近づけられることが示唆された。

左右キー押下時間を平常時と比較すると、VR 酔い非発生者の平常時と冷却あり時の右キー入力についてのみ統計的な有意差が見られた。また、左キー入力についてはいずれの場合も統計的な有意差は見られなかった。

落下回数については、VR 酔い発生者の平常時と冷却無し時、及び冷却無し時と冷却あり時の間に統計的な有意差が見られた。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、VR 酔いが発生すると落下回数が増加し、皮膚表面冷却により感覚を平常時に近づけられることが示唆される。

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 酔いの発生によりタスク完了までの時間が延び、落下回数が増加する傾向にあるが、皮膚表面冷却により VR 酔いによる影響を軽減可能なことが示唆される。

5.2 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評価すると、どちらも統計的な有意差が見られた。一方で、冷却無し時と冷却あり時の SSQ スコアについても評価すると、こちらも統計的な有意差が見られた。

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について、いずれの場合も統計的な有意差は見られなかった。

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 スコアが減少し、VR 酔いが緩和されていることが示唆される。

5.3 皮膚表面温度変化

VR 酔い発生者の皮膚表面温度について、冷却無し時においては平常時と VR ゲーム後の皮膚表面温度の間のみ統計的な有意差が見られた。VR ゲーム後に上昇した皮膚表面温度は平均約 0.31°C であった。また、冷却あり時には HMD 装着後と VR ゲーム終了後の皮膚表面温度の間のみ統計的な有意差が見られた。VR ゲーム後に上昇した皮膚表面温度は平均約 0.28°C であった。どちらの場合も HMD 装着前後の皮膚表面温度には統計的な有意差は見られなかったことから、皮膚表面温度の上昇は VR ゲームが関係していることが示唆される。

VR 酔い非発生者について、冷却無し時には HMD 装着前後、平常時と VR ゲーム終了時のそれぞれで統計的な有意差が見られた。上昇温度はそれぞれ平均約 0.41°C と 0.4°C であった。冷却あり時には平常時と VR ゲーム終了後、HMD 装着後と VR ゲーム後のそれぞれで統計的な有意差が見られた。上昇温度はそれぞれ平均約 0.53°C と約 0.38°C であった。

以上の結果から、VR ゲームを行うと VR 酔い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示唆される。

6. おわりに

本研究では、VR 利用時に発生することがある VR 酔いの症状を緩和させるために皮膚表面冷却を行う手法を提案し、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。予備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 名のみについて検証を行い、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、アンケートで VR 酔いを感じたと回答した 9 名と、VR 酔いをあまり感じなかったと回答した 8 名についてそれぞれ分けて評価を行った。レースゲームのタスク完了時間について評価すると、VR 酔いが発生した場合で冷却の有無により統計的な有意差が見られた。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 19)、今後は VR 利用中の常時冷却や場面に応じた冷却といった手法についての調査も行う所存である。

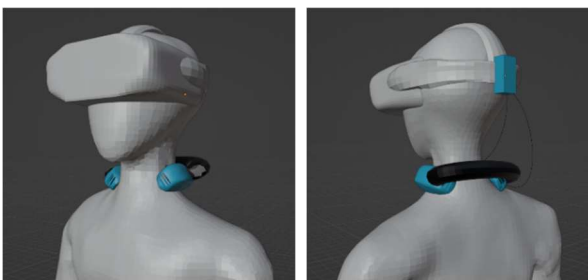


図 19 冷却装置を有する HMD のイメージ図

謝辞 本研究を支援していただいた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, Byoungyun 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 Mérianne, "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] Steve Aukstakalnis, "AR の実践教科書", pp.348-358, マイナビ出版, 東京, 2020
- [7] CHUNG-YEN LIAO, SHAO-KUO TAL, 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
- [8] 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 巻 1 号, pp.19-22, 2020
- [9] 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
- [10] 平柳要, "乗り物酔い (動揺病) 研究の現状と今後の展望", 人間工学, Vol.42, No3, pp200-211, 2006
- [11] 中村和弘, "ストレス性体温上昇の神経機序", 心身医, Vol.60, No3, pp203-209, 2020
- [12] Kyungmin Lim, Jaesung Lee, Kwanghyun Won, Nupur Kala, Tammy Lee, "A novel method for VR sickness reduction based on dynamic field of view processing", Virtual Reality 25, pp331-340 2021
- [13] Zekun Cao, Jason Jerald, Regis Kopper, "Visually-Induced Motion Sickness Reduction via Static and Dynamic Rest Frames", IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, pp105-112, 18-22 March, Reutlingen, Germany
- [14] David Matthew Whittinghill, Bradley Ziegler, T Case, B Moore(2015), "Nasum virtualis: A simple technique for reducing simulator sickness", GDC Vault, Mar.2015
- [15] UMER ASGHAR CHATTHA, UZAIR IQBAL JANJUA, et al. "Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation", IEEE, pp130486-130499, 03 July 2020
- [16] 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
- [17] 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
- [18] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum & Michael G. Lilienthal, "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness", Int J Aviat Psychol, Vol.3, pp203-220, 13 Nov 2009