



横臥療養者のための VR インタフェース

稲垣理也¹⁾, 岩井大輔¹⁾, 佐藤宏介¹⁾

1) 大阪大学 基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3,
inagaki@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp, {daisuke.iwai, sato}@sys.es.osaka-u.ac.jp)

概要: 近年, VR を用いた非薬物療法の有効性が確かめられてきている. しかし, その多くはヘッドマウントディスプレイ (HMD) の使用を前提としたものであるため, HMD の装着が困難であるベッドで寝たきりのような療養者に適用することは困難であった. そこで, 本研究では, 横臥療養者に VR 空間を提示するシステムとして, デバイスの装着を必要としない VR インタフェースを提案する.

キーワード: 福祉インタフェース, ベッドサイドシステム, 療養者向けシステム

1. はじめに

近年, VR を用いた非薬物療法の有効性が確かめられてきている. その適用範囲は, がんなどの疼痛緩和, 不安障害, 摂食障害, 運動リハビリテーションなど多岐にわたり, VR を用いた非薬物療法は大きな広がりを見せている [1].

これまでの VR を用いた非薬物療法の研究の多くは, VR における視覚刺激の提示にヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いている. しかし, ベッド上で寝たきりの療養者に対して HMD を使用させる際には, 以下のような問題が生じる.

- HMD の重量を首で支えなければならないため, 療養者に身体的負担がかかる
- デバイスの装着に介助が必要な場合, 装着に手間がかかる
- 一般的な HMD は立位または座位での使用を想定しているため, 座位困難な療養者にとっては扱いにくい

そこで, 本研究ではベッドで寝たきりの横臥療養者に VR 空間を提示するシステムとして, デバイスの装着を必要としない視覚刺激提示システムおよび枕型操作デバイスを提案する. 本稿では視覚刺激提示システムについて, 通常のモニタ視聴および提案システムにおけるヘッドトラッキング機能の有無によるユーザの臨場感・疲労感の比較実験, また, 枕型操作デバイスを用いたヘッドトラッキング手法について述べる.

2. 視覚刺激提示システム

2.1 システム構成

本研究では, デバイスの装着を必要としない視覚刺激の提示デバイスとして, 曲面ディスプレイと拡大鏡を組み合わせたシステムを提案する (図 1). 曲面ディスプレイ (GIGABYTE 社製, AORUS CV27Q) はベッド上のユーザの顔の正面に設置され, ユーザはディスプレイに焦点を合わせるため, 拡大鏡 (倍率 1.5x) を装着する. この拡大鏡に



図 1: 視覚刺激提示システム

はジャイロセンサ (BOSCH 社製, BNO055) が取り付けられており, ユーザの頭部角度を取得することができる. これにより, ユーザの頭部角度に合わせて回転させた映像コンテンツを提示する機能を付加している. さらに, 周辺視野を覆うために, ディスプレイの周囲を暗幕で覆っている.

2.2 被験者実験

臨場感は VR による治療の有効性に影響を与える主要な構成要素として広く研究されている. 本実験では, 提案システムと通常のモニタ視聴の臨場感を比較し, 提案システムの有用性について検討する. さらに, ヘッドトラッキングが臨場感を高めるという報告 [2] から, 提案システムにおけるヘッドトラッキング機能の有無の比較も行い, 提案システムにおける適切な視覚刺激の提示方法について検討する.

2.2.1 実験条件

視覚刺激の提示条件は, 通常のモニタ視聴を想定した Monitor 条件, 提案システムにおいてヘッドトラッキング機能を付加しない NTR 条件, 提案システムにおいてヘッドトラッキング機能を付加する TR 条件の三つである. Monitor 条件の実験環境を図 2(a), NTR 条件, TR 条件の実験環境を図 2(b) に示す. それぞれの条件においてベッドのリクライニング角度は 45 度に統一した. Monitor 条件におけるユーザとディスプレイの距離は, 視力 1.0 でディスプレイの画

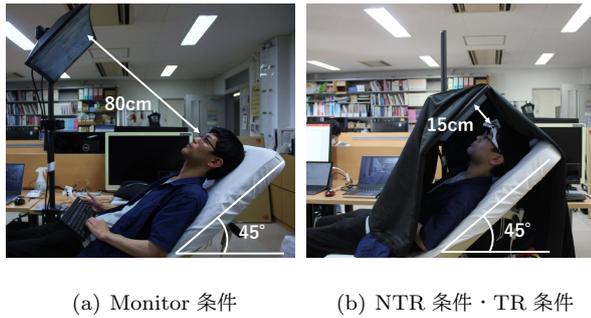


図 2: 実験環境

素が認識できない距離をもとに 80 cm に設定した。一方、NTR 条件、TR 条件におけるユーザとディスプレイの距離は、拡大鏡のピント位置をもとに 15 cm に設定した。また、ベッド上では頭部の可動範囲に制限があり、後ろを振り向くような動作を行うことは物理的に不可能である。そのため、本実験では、各条件において、VR 空間における前進動作と回転動作にはキーボードを使用した。

2.2.2 評価方法

本実験ではシステムを使用した際のユーザの臨場感と疲労感について評価を行う。臨場感の評価には、臨場感に関する質問紙である iGroup Presence Questionnaire (IPQ) [3] を用いた。疲労感の評価には、シミュレータ酔いに関する質問紙である Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) [4] を用いた。

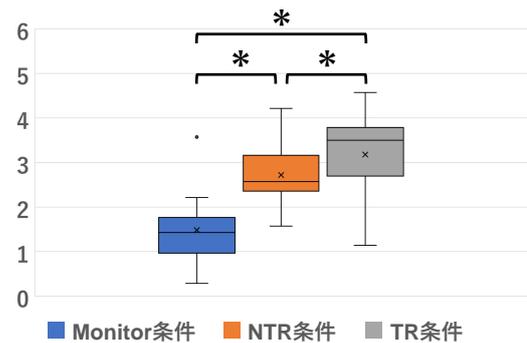
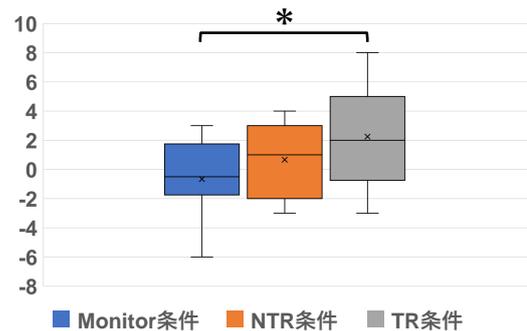
2.2.3 実験手順

被験者（男性 10 名、女性 2 名、21 歳～24 歳）は実験開始前にベースラインとして SSQ に回答した。次に被験者は一つ目の条件において、商店街を模した VR 空間内を 5 分間散策するというタスクを行った。タスク終了後、SSQ および IPQ に回答した。その後、シミュレータ酔いが治まるまで十分な休憩を挟み、二つ目、三つ目の条件についても同様の手順で実験を行った。なお、順序効果を相殺するため、被験者ごとに実施する条件順を調整した。すべての条件終了後に、実験全体に関するインタビューを行った。

2.2.4 結果・考察

IPQ のスコアの結果を図 3 に示す。視覚刺激の提示条件を要因として一元配置分散分析を行った結果、有意差 ($p < 0.05$) が認められた。続いて、Holm 法を用いた多重比較を行った結果、Monitor 条件 $<$ NTR 条件、Monitor 条件 $<$ TR 条件、NTR 条件 $<$ TR 条件 の有意差が認められた。よって、提案システムがヘッドトラッキングの有無に関わらず、通常のモニタ視聴よりも高い臨場感を提示することができることが示された。さらに、ヘッドトラッキング機能を付加することで、付加しない場合よりも高い臨場感を提示することが示された。

次に SSQ のスコアの結果を図 4 に示す。なお、ここでの SSQ のスコアは各条件におけるタスク終了後の SSQ の値から実験開始前の SSQ の値を引いたスコアの総和を示している。視覚刺激の提示条件を要因として一元配置分散分

図 3: IPQ スコア (* $p < 0.05$)図 4: SSQ スコア (* $p < 0.05$)

析を行った結果、有意差 ($p < 0.05$) が認められた。続いて、Holm 法を用いた多重比較を行った結果、Monitor 条件 $<$ TR 条件 の有意差が認められた。よって、ヘッドトラッキング機能を付加した提案システムが通常のモニタ視聴よりも高い疲労感を引き起こすことが示唆された。実験後のインタビューでは、提案システムにおいてシミュレータ酔いを感じた被験者の多くが、キーボード操作による回転動作が酔いにつながったと述べた。体の動きが制限されるベッド上では仮想世界の運動と物理世界の運動の不一致が大きくなるため、シミュレータ酔いが生じやすい状況にあると考えられる。したがって、回転動作を提示する際には、視覚刺激の提示方法を工夫することで酔いを軽減する手法 [5] などを組み込み、シミュレータ酔いを緩和する必要があると考えられる。

3. 枕型操作デバイスによるヘッドトラッキング

3.1 デバイス設計

2 章で述べた視覚刺激提示システムでは、ユーザの頭部角度を取得するために拡大鏡にジャイロセンサを取り付けていた。しかし、ジャイロセンサの配線が拡大鏡から伸びており、治療器具に絡まる危険性や装着の際の不快感につながっていた。したがって、ヘッドトラッキングについても装着を必要としない手法が望ましい。そこで、枕型操作デバイス (図 5) を用いたヘッドトラッキング手法について提案する。枕は左右方向に並んだ二つのエアバッグから構成されており、それぞれのエアバッグにかかる圧力が空気圧センサによって計測される。



図 5: 枕型操作デバイス

3.2 キャリブレーション

頭部にかかる圧力はユーザごとに異なるため、キャリブレーションが必要になる。まず、仰臥位で枕に頭を載せた状態でそれぞれのエアバッグにかかる初期圧力 p'_1 , p'_2 を取得し、現在エアバッグにかかっている圧力 p_1 , p_2 から圧力変化量 d_1 , d_2 を求める。

$$d_1 = p_1 - p'_1, \quad d_2 = p_2 - p'_2 \quad (1)$$

次に首を左右に振ったときの最大圧力差 d_{left} , d_{right} を取得する。

$$d_{left} = \max(d_1 - d_2), \quad d_{right} = \max(d_2 - d_1) \quad (2)$$

以上のキャリブレーションから、キャリブレーション時の d_{left} , d_{right} の最大値に対する現在の圧力の比率 f を以降、圧力値 [%] として扱う。

$$f = \begin{cases} (d_2 - d_1)/d_{right} & (d_2 - d_1 \geq 0) \\ (d_2 - d_1)/d_{left} & (d_2 - d_1 < 0) \end{cases} \quad (3)$$

なお、本手法は中村らのキャリブレーション手法を参考にした [6]。

3.3 頭部にかかる圧力と頭部角度の関係

圧力値と頭部角度の対応関係を得るために計測実験を行った。被験者の頭部にジャイロセンサを取り付け、キャリブレーション時に正面から左右 40 度に首を振るように設定した。キャリブレーションののち、首を左右に一回振る動作を行い、その値を計測した。計測した圧力値と角度の関係を図 6 に示す。この結果から、圧力値と角度の関係は概ね線形で表されることがわかった。キャリブレーションの計算式より回帰直線は原点を通ると仮定できるため、圧力値を x 、角度を y として、 $y = ax$ のモデルで線形回帰を行ったところ、 $a = 0.422$ (決定係数 $R^2 = 0.976$) という結果が得られた。この関係式を用いることで圧力値のみからヘッドトラッキングを行うことが可能である。

4. 結論

本稿では、横臥療養者に VR 空間を提示するための VR インタフェースを提案した。曲面ディスプレイを用いた非装着型の視覚刺激提示システムでは、提案システムにおいてヘッドトラッキング機能を付加した視覚刺激の提示方法が高い臨場感を提示できることが示され、提案システムの

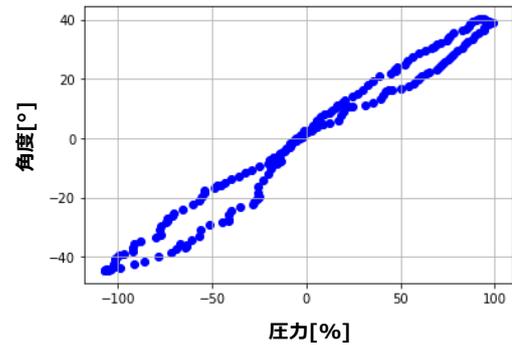


図 6: 圧力値と角度の関係

有用性が示唆された。一方で、疲労感については、提案システムにおいてシミュレータ酔いを感じた被験者が一定数存在し、酔いを緩和する工夫が求められる。また、装着を必要としない枕型操作デバイスを用いてヘッドトラッキングを行う手法を提案し、ベッド上の横臥療養者が使用しやすい簡便なインタフェースを実現した。

今後は視覚刺激の提示に加え、聴覚刺激や嗅覚刺激を提示できるモジュールを組み込み、横臥療養者のために汎用的な VR システムを作り込むことを考えている。

謝辞 本研究は科研費 (16H02859) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] J. Dascal, et al. "Virtual Reality and Medical Inpatients: A Systematic Review of Randomized, Controlled Trials." *Innovations in Clinical Neuroscience*, Vol.14, No.1-2, pp.14, 2017.
- [2] S. Wang, et al. "Face-Tracking as an Augmented Input in Video Games: Enhancing Presence, Role-Playing and Control." *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1097-1106, 2006.
- [3] T. Schubert, et al. "The Experience of Presence: Factor Analytic Insights." *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, Vol.10, No.3, pp.266-281, 2001.
- [4] R. S. Kennedy, et al. "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness." *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol.3, No.3, pp.203-220, 1993.
- [5] Y. Farmani and R. J. Teather. "Viewpoint Snapping to Reduce Cybersickness in Virtual Reality." *Proceedings of the 44th Graphics Interface Conference*, pp.168-175, 2018.
- [6] 中村元, et al. "空気枕を用いた頭部動作インタフェース." *計測自動制御学会論文集*, Vol.49, No.1, pp.176-182, 2013.