

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32692

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K20085

研究課題名（和文）バーチャルリアリティを活用した生理学的神経活動に基づく体性痛緩和の定量的評価

研究課題名（英文）Evaluation of pain relief effect and physiological activity using selective low frequency current stimulation in VR environment

研究代表者

笠井 亮佑（Kasai, Ryosuke）

東京工科大学・医療保健学部・講師

研究者番号：50794301

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：VRを活用した生理学的神経活動に基づく体性痛緩和の定量的評価を目的とし、VR環境下における生理学的神経活動と体性痛知覚感度の関連性を評価してきた。その結果、脳皮質-体幹中心部及び末梢の脳機能・自律神経機能の関連性解析を用いて体性痛知覚感度との相互関連性を統合的に定量的評価し、気分状態および暑寒状態別における生理学的神経活動に基づいたVRによる体性痛軽減効果を明らかにした。具体的には、VR映像視聴により特定の痛み緩和効果が生じることがわかった。また、生理学的神経活動を抽出することで、痛み緩和に対する注意散漫効果と情動ストレスによる疼痛閾値の上昇効果の影響を把握することが可能であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在多くの人が、痛みによる生活の質低下に伴う就労困難等の社会的損失が大きいため、痛みの対策が社会的課題であると示している。また、医療現場においても、痛みを伴う場面が多く存在し、痛みに対する治療は鎮痛薬が用いられるが、副作用やコストも問題である。そのような背景の中、VR環境下における体性痛感度との関係性やその変化に伴う脳中枢神経・自律神経活動の影響については明らかになっていない。そのため、本研究による体性痛知覚反応と生理学的神経反応との相互関連性に基づいた体性痛緩和効果の有効性評価は、社会的課題である痛みに対する新たな治療法として、VRによる体性痛緩和治療の基盤構築に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：The objective was to quantitatively evaluate somatic pain relief based on physiological nerve activity using VR. We evaluated the relationship between physiological nerve activity and pain perception level in a VR environment. We also clarified the pain relief effect of VR based on physiological nerve activity in mood states. Specifically, we found that viewing VR images produced a specific pain-relieving effect. In addition, by measuring physiological nerve activity, it was found possible to understand the effects of distraction on pain relief and the effect of raising the pain threshold due to emotional stress.

研究分野：Clinical engineer

キーワード：Virtual reality Pain assessment

1. 研究開始当初の背景

VRとは、ヘッドマウントディスプレイを装着し、360度3D映像によるユーザー没入型の映像コンテンツである。近年、VR技術は医療分野への応用が期待されている。厚生労働省の報告では医療現場では痛みに対する新たな対策が社会的課題であると示している(平成22年今後の痛み対策について、厚生労働省)。現在、痛みに対する治療には主に鎮痛薬が用いられるが、副作用やコストが問題となる。また、重要な点として、痛みを苦しむ患者には、痛みの消失を目的とするのではなく、症状の軽快と不安の緩和が求められる。特に、体表面に惹起される痛みである体性痛は、医療現場において、検査を含む治療行為や術後疼痛等の様々な場面で問題となる。そのような背景の中、VR環境下における生体への影響に関する研究が注目されているが、体性痛感度との関係性については明らかになっていない。さらに、VR環境下での体性痛感度の変化に伴う脳中枢神経・自律神経活動の影響については国内外において系統的に行われた研究は例がない。

2. 研究の目的

本研究は生理学的神経活動に基づいたVRを用いた体性痛緩和効果の定量的評価を目的とした。

3. 研究の方法

本研究では目的を達成するために以下の点について研究を実施した。

(1) VR環境下における体表面知覚神経電流刺激による体表面知覚電流値への影響評価

VRデバイスはHTC Vive Pro®(HTC社製)を用いた。VR映像は、安静映像、快映像、不快映像を各3種類、計9種類用いた。VR映像視聴中の体性痛評価として、体表面知覚神経電流刺激を用い、右前腕内側の主としてA線維・A線維を選択的に刺激した。各種VR映像視聴中における体性知覚感度の評価として、痛み度及び痛み指数を算出した。また、痛みの主観的評価としてリッカート法を用いた痛み主観評価質問紙を作成し、痛み主観評価得点を算出した。

(2) VR映像視聴における痛み緩和時の生理学的神経活動の評価

VRを利用した急性痛緩和と生理学的神経活動に基づく定量的評価における研究モデルを図1に示す。脳波周波数解析を用いて、体性痛知覚感度の変化に伴う脳中枢神経活動の定量化を目的に、VR映像刺激下選択的知覚神経電流刺激時の脳機能活動を定量的に評価した。また、指尖容積脈波及び心電図の非線形解析・波形解析を用いて、体性痛知覚感度の変化に伴う自律神経系活動の定量化を目的に、VR映像刺激下選択的知覚神経電流刺激時の末梢領域及び体幹中枢部領域における自律神経活動を定量的に評価した。具体的には、中枢神経活動の評価のため、脳波を測定し、各周波数帯域波、波、波におけるパワースペクトル含有率(出現率)を算出した。自律神経活動のため指尖容積脈波を測定した。測定部は左第2指とし、脈波最大振幅値及び脈波長を測定した。

また、得られた脳機能活動と自律神経活動のデータを基に、多元的生体情報解析による生理学的反応の定量化、及び体性痛知覚反応との相互関連性について、特徴点の抽出を行い、群間の特徴の違いを明確化した。このとき、各種生理学的因子と心理主観的因子の重回帰分析により、VR映像刺激下における体性痛知覚感度に関連する生理学的神経活動状態を決定付ける因子について特定を行い、体性痛知覚反応と生理学的神経活動に関連した、VRを用いた体性痛緩和について定量的に評価した。

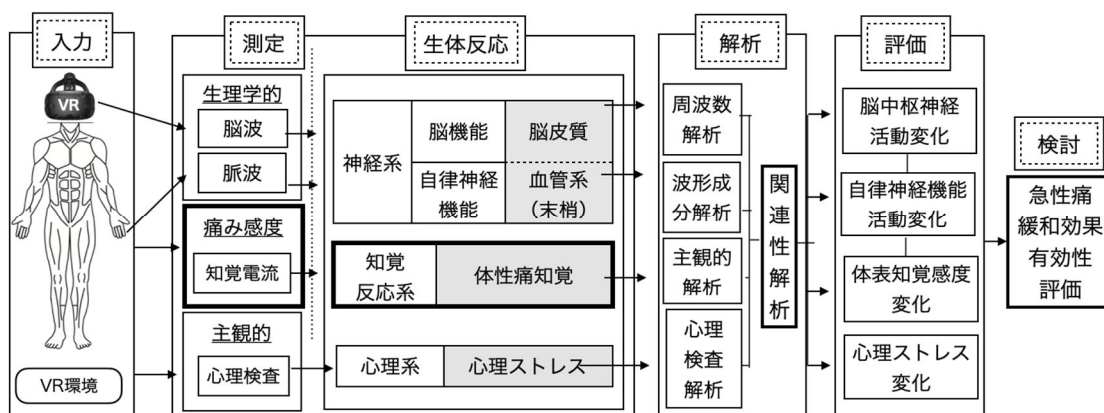


図1 VRを利用した急性痛緩和と生理学的神経活動に基づく定量的評価における研究モデル

(3) 気分状態の違いによるVRを利用した急性痛緩和と生理学的神経活動への影響

安静映像、快映像、不快映像を各3種類、計9種類のVR映像を視聴している際の体性知覚感度の評価と中枢神経及び自律神経活動の変動を気分状態による群分けして比較検討した。心理

的気分評価として、実験開始前に気分プロフィール評価 (Profile of Mood States : POMS) を用いて、被験者が置かれた条件によって変化する一時的な気分や感情を、各項目に分類し、点数化した。項目内容は「緊張・不安」「抑うつ・落込み」「怒り・敵意」「活気」「疲労」「混乱」の6つの下位尺度から構成され、POMS で点数化した気分状態をポジティブ群、ネガティブ群に群分けして比較した。VR 映像視聴中の体性痛評価として、体表面知覚神経電流刺激を用い、右前腕内側の主として A 線維・A 線維を選択的に刺激した。各種 VR 映像視聴中における体性知覚感度の評価として、痛み度及び痛み指数を算出した。また、痛みの主観的評価としてリッカート法を用いた痛み主観評価質問紙を作成し、痛み主観評価得点を算出した。中枢神経活動の評価のため、脳波を測定し、各周波数帯域 波、波、波におけるパワースペクトル含有率 (出現率) を算出した。自律神経活動のため指尖容積脈波を測定した。測定部は左第2指とし、脈波最大振幅値及び脈波長を測定した。

(4) 暑寒印象を含めた映像コンテンツの違いによる急性痛緩和と生理学的神経活動への影響

暑熱映像、寒冷映像、中間映像を各3種類、計9種類のVR映像を視聴している際の体性知覚感度の評価と中枢神経及び自律神経活動の変動を気分状態による群分けして比較検討した。映像に対する暑寒の印象を評価するため、主観的評価としてリッカート法を用いた映像暑寒印象評価質問紙を作成し映像暑寒印象評価得点を算出した。VR 映像視聴中の体性痛評価として、体表面知覚神経電流刺激を用い、右前腕内側の主として A 線維・A 線維を選択的に刺激した。各種 VR 映像視聴中における体性知覚感度の評価として、痛み度及び痛み指数を算出した。また、痛みの主観的評価としてリッカート法を用いた痛み主観評価質問紙を作成し、痛み主観評価得点を算出した。自律神経活動のため指尖容積脈波を測定し脈波最大振幅値及び脈波長を算出した。

4. 研究成果

(1) VR 環境下における体表面知覚電流値への影響と生理学的影響評価

不快映像、快映像視聴により、痛み度、痛み指数、痛み主観評価得点が低値を示した。波出現率は不快映像視聴時に低値を示し、波出現率は不快映像・快映像視聴時に高値を示した。また、不快映像、快映像視聴時には、末梢 (遠位) 血管における交感神経活動が優位に反応し、安静映像時では、中枢 (体幹部) 領域における交感神経活動が減弱した。痛み緩和作用には、主に VR 映像視聴による没入感覚に起因した注意散漫効果と、情動ストレスに起因した疼痛閾値の上昇効果が考えられる。つまり、不快映像、快映像視聴時は、VR 映像没入感覚による痛みへの注意散漫効果及び、不快情動負荷または快情動負荷が生じ情動ストレスを認識したことによる下行性疼痛抑制効果が発生し、痛み度、痛み指数、痛み主観評価得点が低値を示し、客観的かつ主観的に痛みは低下したと考えられる。VR 映像視聴による没入感覚及び不快情動ストレス、快情動ストレス負荷は、体表面に起因する体性痛の軽減に有用である可能性が示唆された。これらの研究では、VR 映像視聴による痛み緩和の要因を検討する際に、多元的生体信号解析により生理学的神経活動を評価することにより、VR 映像視聴による没入感覚に起因した注意散漫効果と、情動ストレスに起因した疼痛閾値の上昇効果のどちらが影響を及ぼしているかを検討できる可能性を示している。したがって、痛み緩和により適したVR映像コンテンツを検討する上で、多元的生体信号解析による生理学的神経活動に基づく定量的評価は有用であると考えられる。

(2) 気分状態の違いによる VR を利用した急性痛緩和と生理学的神経活動への影響評価

脳波周波数解析による中枢神経活動の評価及び、指尖容積脈波解析による自律神経活動の評価の結果、気分状態がネガティブ傾向の場合、不快または快映像視聴により、波出現率は低値を示し、波出現率は高値を示した。また、脈波最大振幅値が低値を示した。その結果、痛み度、痛み指数、痛み主観評価得点が低値を示し、客観的かつ主観的に痛みが低下した。これは、気分状態がネガティブ傾向の場合、不快または快映像視聴により情動ストレスを認識したことで、疼痛閾値が上昇し、痛みが緩和したと推測される。一方、気分状態がポジティブ傾向の場合、不快または快映像視聴により、各脳波周波数帯域及び指尖容積脈波波形において有意な差は認めず、痛み主観評価得点が低値を示し、主観的にのみ痛みは低下した。この結果は、気分状態がポジティブ傾向の場合、コーピング作用による情動ストレスの非認識により、VR 映像の注意散漫効果による痛みの緩和が大きく影響したと考えられる。これらの結果から、気分状態がネガティブ傾向の場合、主観的及び電流刺激による客観的評価共に痛み緩和を示し、気分状態がポジティブ傾向の場合、主観的評価のみ痛み緩和を示すと考えられる。したがって、VR 映像視聴による痛みに対する注意散漫の影響としては、主観的に痛み緩和を示すことが考えられ、VR 映像視聴による情動ストレス負荷の影響としては、電流刺激による客観的評価として痛み緩和を示す可能性が考えられる。

(3) 暑寒映像視聴による急性痛緩和と生理学的神経活動への影響評価

暑熱及び寒冷映像視聴により、交感神経活動の亢進及び副交感神経活動の抑制が生じた。また、中間映像、暑熱映像、寒冷映像の全てのVR映像視聴時において、痛み度及び痛み主観的評価得点が低値を示した。一方、暑熱映像及び寒冷映像視聴と、中間映像視聴における痛み度及び痛み主観的評価得点に差は認められなかった。本研究により、暑熱及び寒冷の印象を誘発するVR映

像視聴により、体性痛に関連した急性痛は緩和されるが、VR 映像の種類として、暑熱及び寒冷映像と、中間映像では急性痛感度に差がないことがわかった。

本研究では、VR を活用した生理学的神経活動に基づく体性痛緩和の定量的評価を目的とし、VR 環境下における生理学的神経活動と体性痛知覚感度の関連性を評価してきた。その結果、脳皮質 - 体幹中心部及び末梢の脳機能・自律神経機能の関連性解析を用いて体性痛知覚感度との相互関連性を統合的に定量的評価し、気分状態および暑寒状態別における生理学的神経活動に基づいた VR による体性痛軽減効果を明らかにした。具体的には、上記 1~2)に記載している通り、VR 映像視聴により特定の痛み緩和効果が生じることがわかった。また、生理学的神経活動を抽出することで、痛み緩和に対する注意散漫効果と情動ストレスによる疼痛閾値の上昇効果の影響を把握することが可能であることがわかった。

痛みに対する治療には、主に鎮痛薬が用いられるが、副作用や乱用、中毒、誤用、またコストの面で様々な問題がある。そこで、本研究の成果である VR を活用した痛み管理は、鎮痛薬の減量、医療費の削減、優れた疼痛管理、患者の身体活動の改善、ADL や QOL の維持や向上等の様々な現状の課題を克服することが期待される。一方、痛みに対する管理や治療の重要な点として、痛みを苦しむ患者には、痛みの消失のみを目標とするのではなく、症状の軽快と不安の緩和の両方が求められる。そのため、適正な映像コンテンツの選定が重要となる。例えば、体性痛を含む急性痛がある場合、快映像に関連した VR 映像を視聴することで、痛みの緩和及び精神的不安感情の軽減につながり、身体的・心理的においても有用となる可能性が示唆される。つまり、人それぞれにとっての痛み緩和に適した VR 映像の特徴点を抽出していくことで、より適正な VR 映像コンテンツの選定及び評価が可能となり、オーダーメイド型の医療 VR を活用した痛み管理に繋がると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 笠井亮佑, 島峰徹也, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 田仲浩平, 篠原一彦, 水野(松本)由子 | 4. 巻 23 |
| 2. 論文標題 VRを用いたペインマネジメントに向けた気分状態の違いによる電流痛感度と自律神経活動の影響の評価 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本福祉工学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 34-41 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 笠井亮佑 | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 Virtual Realityを利用した急性痛緩和と多元的生体信号解析に基づく定量的評価 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Precision Medicine | 6. 最初と最後の頁 56-61 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Kasai Ryosuke, Itoh Nana, Kamijo Fuminori, Kano Takashi, Shimamine Tetsuya, Ogino Minoru, Hinata Nae, Tanaka Kohei, Shinohara Kazuhiko, Mizuno-Matsumoto Yuko | 4. 巻 140 |
| 2. 論文標題 Assessment of Somatosensory Sensitivity and Activity of the Electroencephalogram using Body Surface Electrical Stimulation in Virtual Reality Environments | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems | 6. 最初と最後の頁 979 ~ 989 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.140.979 | 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 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 笠井亮佑, 伊藤奈々, 島峰徹也, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 日向奈恵, 田仲浩平, 篠原一彦, 水野(松本)由子 | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 バーチャルリアリティを用いた体性痛緩和に向けた体表面知覚電流と自律神経活動の評価 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本医工学治療学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 139 ~ 147 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 笠井亮佑, 上條史記, 島峰徹也, 加納敬, 荻野稔, 田仲浩平, 水野(松本)由子 | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 心理的気分状態評価の違いによるVR環境における脳波活動と体表面知覚電流感度の評価 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 4~13 |
| 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|--------------------|
| 1. 著者名 笠井亮佑, 島峰徹也, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 田仲浩平, 篠原一彦 | 4. 巻 24 |
| 2. 論文標題 暑寒映像を用いた仮想空間環境が及ぼす体表面知覚感度と自律神経活動の評価 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 日本福祉工学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 7-13 |
| 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 笠井亮佑 | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 医療用VR による痛み管理を目指した適正な映像コンテンツの選定と有効性評価 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Medical Science Digest | 6. 最初と最後の頁 338-341 |
| 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 笠井亮佑 | 4. 巻 37 |
| 2. 論文標題 医療VR ペインマネジメントと生理心理学分析による有効性評価 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Bio Clinica | 6. 最初と最後の頁 45-49 |
| 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takafumi Morisaki, Ryosuke Kasai |
| 2. 発表標題 What kind of VR video is BEST for reducing Pain: Quantification of emotion using Russell 's circumplex model |
| 3. 学会等名 Global Clinical Engineering Journal, ICEHTMC 2021 (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 笠井亮佑, 伊藤奈々, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 田仲浩平, 篠原一彦, 水野 (松本) 由子 |
| 2. 発表標題 低周波電流刺激を用いたVR環境での体表面知覚電流閾値と指尖容積脈波の評価 |
| 3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 笠井亮佑, 伊藤奈々, 島峰徹也, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 篠原一彦, 田仲浩平 |
| 2. 発表標題 医療AR・VR技術による医療支援システム開発の現状と課題 |
| 3. 学会等名 第22回日本臨床救急医学会学術大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 笠井亮佑, 伊藤奈々, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 田仲浩平, 篠原一彦, 水野 (松本) 由子 |
| 2. 発表標題 Pain Visionを用いたVR環境における体表面感知電流閾値の影響 |
| 3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 笠井亮佑, 伊藤奈々, 島峰徹也, 上條史記, 加納敬, 荻野稔, 日向奈恵, 武田朴, 篠原一彦, 田仲浩平, 水野(松本)由子 |
| 2. 発表標題 体表面知覚神経電流刺激を用いたバーチャルリアリティ環境における体性知覚感度と脳中枢神経活動の評価 |
| 3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| 東京工科大学 教員業績 https://gsdatabase.teu.ac.jp/teuhp/KgApp?kyoinId=ybmngoobggy |
|--|

| 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 |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|