

[研究助成 (C)]

脳・自律神経活動に基づいたバーチャルリアリティを用いた 体性痛緩和システムの開発

Development of somatic pain relief system using virtual reality
based on central nervous and autonomic nerves

2197002



研究代表者

兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科

博士後期課程

笠井 亮 佑

[研究の目的]

厚生労働省の報告では、医療現場において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。

現在、痛みに対する治療には主に鎮痛薬が用いられるが、病状による疼痛や術後痛、医療行為による注射や内視鏡等の処置において痛みを伴う場面が多く存在し、副作用やコストが問題である。痛みの生体反応評価としては、身体的反応と心理的反応の両方を統合的に検討する必要がある、心理主観的体性痛知覚反応と生理学的神経反応の統合的相互関連性について評価することが重要となる。

近年では仮想現実（Virtual reality：VR）の医療応用に関する研究がなされている。しかし、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。そこで、本研究では、人間の脳及び自律神経活動の影響評価に基づいたVRを用いた体性痛緩和システムを開発することを目的に、VR映像を用いることで体性痛軽減を行うことが可能であるかを定量的に評価した。さらにそれに伴う脳中枢神経活動及び自律神経活動を抽

出した。

[研究の内容、成果]

〈方法〉

被験者は、健康成人22名（平均年齢21.2±0.85歳、男性11名、女性11名）とした。被験者に対して事前に実験の趣旨を説明し、書面により参加の同意を得た。東京工科大学研究倫理委員会の承認を得た。

VRデバイスとしてHTC VIVE（HTC社製）を用いた。VR映像は、The International Affective Picture Systemにおける快・不快の感情を引き起こすと予想できる画像を参考にVR映像を30種類選定した。さらに、被験者22名に30種類の映像をモニター視聴してもらい、映像に対するアンケートを実施した。各映像について、「楽しさ」「幸福」「興味」「満足」「驚き」「恐怖」「嫌悪」「怒り」「悲しみ」「不安」



図1 使用した各種VR映像

と感じた程度を、「そう感じた (4 点)」から「そう感じなかった (1 点)」までの4段階で回答してもらい点数化した。点数化の結果から、安静映像・不快映像・快映像を各3種類、計9映像選定した。

VR 映像非視聴を「非視聴」、VR 安静映像視聴を「安静セッション」、VR 不快映像視聴を「不快セッション」、VR 快映像視聴を「快セッション」とした。VR デバイス装着時の様子を図2に示す。

選択的体性神経電流刺激は、Pain Vision PS-2100[®] (NIPRO 社製) を用いた。最小感知電流値及び痛み対応電流値を測定し、個体差や測定条件のばらつきを消去する目的で、最小感知電流値及び痛み対応電流値から、痛み度を算出した。図3に最小感知電流値と痛み対応電流値を示し、図4に選択的神経刺激電流波形を示す。

痛みに対する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た。痛み主観評価質問紙の評価項目は「痛みを感じやすかった」から「痛みを感じにくかった」までの7段階とした。

VR 映像に対する主観的評価としてリッカー



図2 VR デバイス装着時

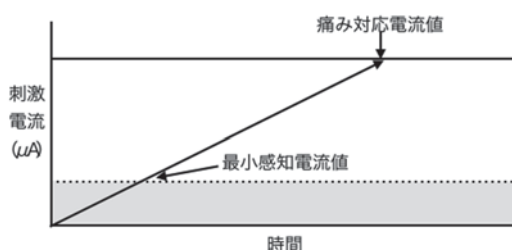


図3 最小感知電流値と痛み対応電流値

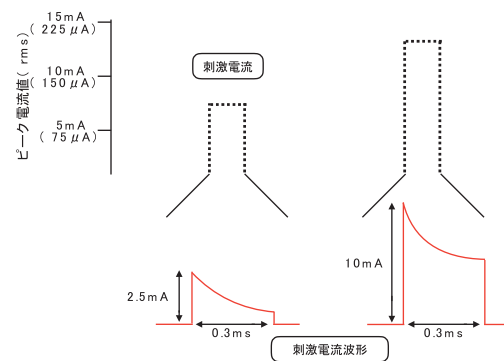


図4 選択的神経刺激電流波形

ト法を用いた VR 映像主観評価質問紙を作成した。快情動項目は「楽しさ」「幸福」「興味」「満足」とし快情動項目主観評価得点を算出した。また、不快情動項目は「驚き」「恐怖」「嫌悪」「怒り」「悲しみ」「不安」とし不快情動項目主観評価得点を算出した。

脈波計測には光電式指尖容積脈波計バックス・ディテクター (CCI 社製) を用いた。各タスク実施時の1周期の波形成分から取得した各特徴点の最大振幅値及び脈波長の変動を解析対象とし、自律神経評価を行った。

脳波計は MUSE BRAIN SYSTEM[®] (デジタルメディック社製) を用いた。測定した脳波はフーリエ解析を行い、各周波数帯域 (θ 波: 4-7 Hz, α 波: 8-13 Hz, β 波: 20-25 Hz) におけるパワースペクトル値を求め、各周波数帯域の出現率を算出した。

はじめに実験環境に慣れるために無負荷状態を1分間行い、次に十字マーク注視及び安静閉眼を3分間実施した。次に、非視聴セッションとして十字マーク注視を3分間、安静閉眼を3分間実施した。非視聴セッションの最小感知電流値及び痛み対応電流値を測定し、コントロールとした。その後、安静セッション、不快セッション、快セッションをランダムに実施した。各 VR 映像視聴時間は3分間とし、映像提示開始から60秒後に電流刺激を開始し、各 VR 映像視聴時における最小感知電流及び痛み対応電流値を測定した。各 VR 映像視聴後には3分間の安静閉眼を実施した。これを1セッションと

し、計3セッション実施した。測定終了後に痛み主観評価質問紙及びVR映像主観評価質問紙に回答してもらい実験終了とした。

〈結果〉

図5に痛み度の平均値を示す。不快セッション、快セッション時の痛み度は、非視聴時の痛み度と比較して有意に高値を示した。

図6に痛み主観評価得点の平均値を示す。安静セッション、不快セッション、快セッション時の痛み主観評価得点は、非視聴時の痛み主観評価得点と比較して、有意に低値を示した。不快セッション、快セッション時の痛み主観評価得点は、安静セッション時の痛み主観評価得点と比較して、有意に低値を示した。

図7に情動項目評価得点の平均値を示す。快セッション時の快情動項目評価得点は、安静セッション、不快セッション時の快情動項目評価得点と比較して、有意に高値を示した。不快セッション時の不快情動項目評価得点は、安静セッション、快セッション時の不快情動項目評価得点と比較して、有意に高値を示した。また、

安静セッション、快セッション時の快情動項目評価得点は、安静セッション、快セッション時の不快情動項目評価得点と比較して、有意に高値を示した。

図8に脈波最大振幅相対値の平均値を示す。不快セッション時の脈波最大振幅相対値は、非視聴、安静セッション、快セッション時の脈波最大振幅相対値と比較して、有意に低値を示した。また、快セッション時の脈波最大振幅相対値は、安静セッション時の脈波最大振幅相対値と比較して有意に低値を示した。

図9に脈波長相対値の平均値を示す。安静セッション時の脈波長相対値は、非視聴時の脈

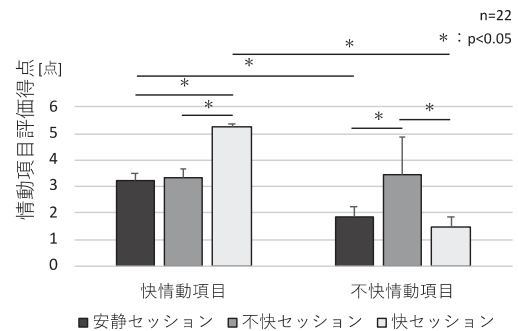


図7 各タスクのVR映像情動評価得点

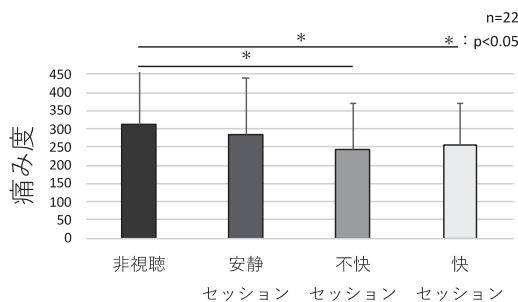


図5 各タスクの痛み度

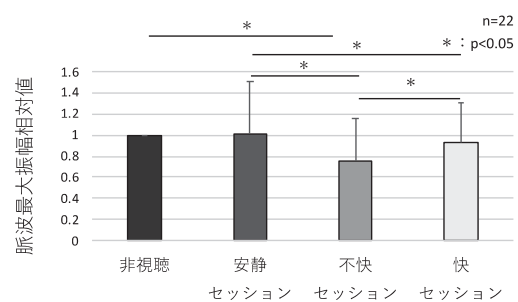


図8 各タスクの脈波最大振幅相対値

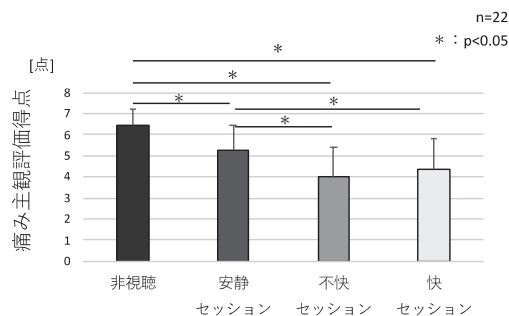


図6 各タスクの痛み主観評価得点

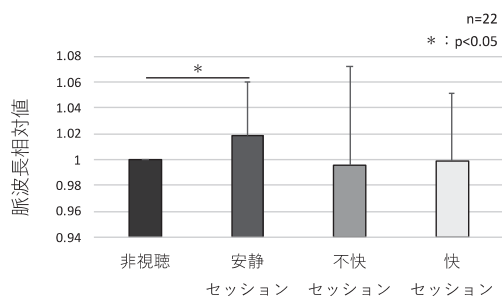


図9 各タスクの脈波長相対値

波長相対値と比較して有意に高値を示した。

図 10 に θ 波出現率の平均値を示す。各タスクにおける θ 波出現率に有意な差は認められなかった。

図 11 に α 波出現率の平均値を示す。不快セッション時の α 波出現率は、非視聴、安静セッション、快セッション時の α 波出現率と比較して、有意に低値を示した。

図 12 に β 波出現率の平均値を示す。縦軸に β 波出現率を示し、横軸に各タスクを示す。不快セッション、快セッション時の β 波出現率は、非視聴、安静セッション時の β 波出現率と比較して、有意に高値を示した。

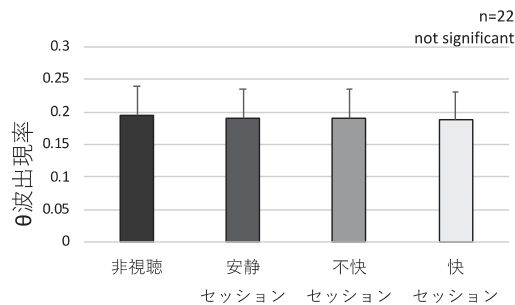


図 10 各タスクの θ 波出現率

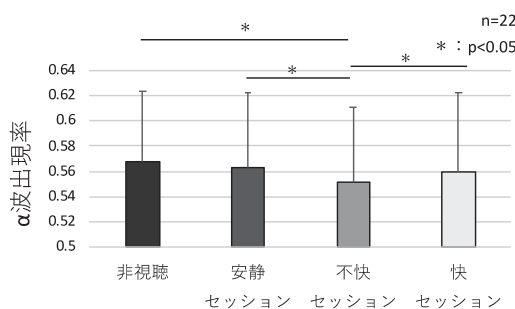


図 11 各タスクの α 波出現率

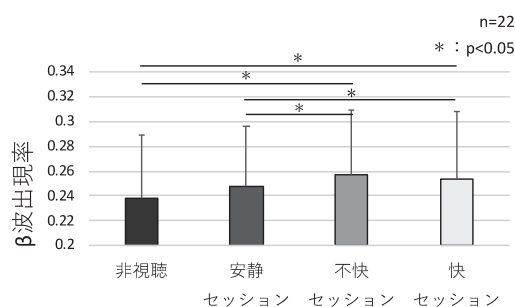


図 12 各タスクの β 波出現率

〈考察〉

不快及び快映像視聴により、痛み度、痛み主観評価得点が低値を示した。末梢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、中枢領域における交感神経活動が減弱した。 θ 波出現率は各タスクにおいて有意な差は認められなかった。 α 波出現率は不快映像視聴時に低値を示し、 β 波出現率は不快及び快映像視聴時に高値を示した。不快及び快映像視聴時は、VR 映像没入感覚による痛みへの注意散漫効果及び、不快または快情動負荷が生じ、ストレス認識による下行性疼痛抑制効果が発生し、痛み度及び痛み主観評価得点が低値を示したと考えられる。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。

〔今後の研究の方向，課題〕

VR 映像視聴により体性痛を軽減できる可能性が示唆された。一方、VR 映像の種類により、体性痛の軽減効果に差異が生じることを認め、不快感情に関連した映像、快感情に関連した映像により、体性痛が軽減することを認めた。今後は、ユーザーの性格調査、気分やストレス状態等のユーザー背景を含めた追加検討を行うことで、体性痛軽減により適した VR 映像の特徴点を抽出していく。

〔成果の発表，論文等〕

〈学術論文（査読あり）〉

- 1) 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：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 日本医工学治療学会論文誌，Vol. 32, No. 3, 2020. (in press)
- 2) 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：体表面知覚神経電流刺激を用いた

VR 環境における体表面知覚感度の評価と脳波成分の比較, 電気学会論文誌 C, Vol. 140, No. 8, pp. 979-989, 2020. (in press)

〈学会発表〉

- 1) 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: 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, 第 63 回システム制御情報学会研究発表講演会, 大阪, 2019 年 5 月 22 日
- 2) 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: 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, 第 58 回日本生体医工学会大会, 沖縄, 2019 年 6 月 6 日

- 3) 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: 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, 生体医工学シンポジウム 2019, 徳島, 2019 年 9 月 6 日