

氏名	笠井 亮佑
学位の種類	博士（応用情報科学）
学位記番号	博情第 57 号
学位授与年月日	令和 3年 3月 24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当（課程博士）
論文題目	バーチャルリアリティ映像視聴による体性痛緩和と生理学的神経活動の評価
論文審査委員	（主査）教授 水野（松本） 由子 （副査）教授 竹村 匡正 （副査）准教授 原口 亮

学位論文の要旨

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。そのような背景のなか、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、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することを目的とした。

第1章では、研究全体の緒言、痛み機構、脳波及び脈波の機序について述べる。

第2章では、視聴覚刺激及び動作を伴う精神作業負荷時の情動ストレスを、指尖容積脈波を用いて定量的に評価することを目的に、PC操作機器のユーザビリティの違いを指尖容積脈波を用いて自律神経活動を抽出した研究成果について述べる。対象は、健常成人10名とした。作業負荷項目は、マウスポインタ移動速度を、3段階に変更し、Trail Making Test（TMT）を実行している操作時の指尖容積脈波を計測し、解析を行った。タスク①として、マウスポインタ移動速度を標準速度、タスク②は最も速い速度、タスク③は最も遅い速度に設定した。タスク①は「操作性が良い」を目的としたタスクであり、タスク②・③

は「操作性が悪い」を目的とした作業負荷とした。主観的評価として、操作性評価質問紙にて操作性評価得点を算出した。指尖容積脈波は脈波最大振幅値、脈波長を算出した。その結果、マウスポインタ移動速度が遅いタスク③では、操作性評価得点が低値を示し、末梢及び中枢体幹部領域における交感神経活動が亢進することを認めた。操作者は、マウスポインタ移動速度が遅い場合に、情動ストレスが負荷されたことにより、自律神経活動に変動が生じたと推測される。一方、主観的評価と自律神経機能の活動に、有意な差は認められなかった。操作性評価に関連した精神作業負荷を行う際の一種の競争課題的要素は、被験者によって心理的ストレスの負荷認識の違いが発生し、自律神経機能の活動に影響する可能性が示唆された。本研究により、情動ストレスの負荷に伴う自律神経活動の変動は、指尖容積脈波解析により抽出することが可能であることが示唆された。

第3章では、視聴覚刺激及び動作を伴う精神作業負荷時の情動ストレスを、脳波を用いて定量的に評価することを目的に、PC操作機器のユーザビリティの違いを脳波を用いて脳中枢神経活動を抽出した研究成果について述べる。対象は、健常成人10名とした。作業負荷項目は、マウスポインタ移動速度を、3段階に変更し、TMTを実行している操作時の脳波を計測し、解析を行った。作業負荷タスクは第2章と同様に、タスク①として、マウスポインタ移動速度を標準速度、タスク②は最も速い速度、タスク③は最も遅い速度に設定した。主観的評価として、操作性評価質問紙にて操作性評価平均点を算出した。脳波は θ 波出現率、 α 波出現率、 β 波出現率、 β/α を算出した。その結果、マウスポインタ移動速度が遅いタスク③では、操作性評価平均点が低値を示し、脳活動として、 θ 波出現率及び β 波出現率は増大し、 α 波出現率は減少傾向を認めた。操作者は、マウスポインタ移動速度が遅い場合に、情動ストレスが負荷されたことにより、脳中枢神経活動及びに変動が生じたと推測される。本研究により、情動ストレスの負荷に伴う脳中枢神経の変動は、脳波解析により抽出することが可能であることが示唆された。

第4章では、VR環境下における選択的体性神経電流刺激による体表面知覚電流値への影響と、それに伴う自律神経活動を指尖容積脈波解析により抽出した研究成果について述べる。対象は、被験者は健常成人22名とした。VRデバイスはHTC VIVE（HTC社製）を用いた。VR映像は、安静映像、不快映像、快映像を各3種類、計9映像選定した。本研究では、VR映像非視聴時と各VR映像視聴中の指尖容積脈波を測定した。選択的体性神経電流刺激は、知覚・痛覚定量分析装置 Pain Vision PS-2100®（NIPRO社製）を用い、最小感知電流値及び痛み対応電流値を測定し、痛み度を算出した。痛み度は、無痛時に0となる無次元数であり、痛みに伴う電流感覚が最小感知電流値に対してどれだけ増加したかを規格化したものである。主観的評価として痛み主観評価質問紙及びVR映像主観評価質問紙にて、痛み主観評価得点とVR映像主観評価得点を算出した。測定した指尖容積脈波

は、脈波最大振幅相対値及び脈波長相対値を算出した。本研究の結果、不快映像、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。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。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。

第5章では、VR環境下における選択的体性神経電流刺激による体表面知覚電流値への影響と、それに伴う脳中枢神経活動を脳波解析により抽出した研究成果について述べる。対象は、被験者は健常成人22名とした。VRデバイスはHTC VIVE（HTC社製）を用いた。VR映像は、第4章と同様の映像とし、安静映像、不快映像、快映像を各3種類、計9映像選定した。本研究では、VR映像非視聴時と各VR映像視聴中の脳波を測定した。選択的体性神経電流刺激は、知覚・痛覚定量分析装置 Pain Vision PS-2100®（NIPRO社製）を用い、最小感知電流値及び痛み対応電流値を測定し、痛み指数を算出した。痛み指数は、痛みに対応する電流値を電流感覚の閾値で除して規格化した値である。主観的評価として痛み主観評価質問紙及び情動評価質問紙にて、痛み主観評価相対値と情動評価得点を算出した。測定した脳波は θ 波出現率、 α 波出現率、 β 波出現率を算出した。本研究の結果、不快映像、快映像視聴により、痛み指数、痛み主観評価相対値が低値を示した。 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 波出現率は不快映像・快映像視聴時に高値を示した。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、痛み指数及び痛み主観評価相対値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。

第6章では、総括と今後の展望を述べる。本研究により、VR映像視聴により体性痛を軽減できることが客観的に示唆された。しかし、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た。本研究では、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、体性痛軽減に適したVR映像の選定を行い、ユーザーの性格調査、気分状態、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、体性痛軽減に適したVR映像の特徴点を抽出する。

本博士論文の成果は、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ことを、脳中枢神経活動及び自律神経活動に基づいて、客観的に評価したことである。

論文審査の結果の要旨

本論文は、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ことを、脳中枢神経活動及び自律神経活動に基づいて、定量的に評価し、有効性を示したものである。博士論文は次の章より構成されている。

第1章では、研究全体の緒言、痛み機構、脳波及び脈波の機序について明記している。

第2章では、視聴覚刺激及び動作を伴う精神作業負荷時の情動ストレスを、指尖容積脈波を用いて定量的に評価した。PC操作機器のユーザビリティの違いを指尖容積脈波を用いて自律神経活動を抽出した研究成果について述べた。作業負荷項目は、マウスポインタ移動速度を、3段階に変更し、Trail Making Test (TMT) を実行している操作時の指尖容積脈波を計測し、解析を行った。その結果、マウスポインタ移動速度が遅いタスクでは、操作性評価得点が低値を示し、末梢及び中枢体幹部領域における交感神経活動が亢進することを示しめた。

第3章では、視聴覚刺激及び動作を伴う精神作業負荷時の情動ストレスを、脳波を用いて定量的に評価した。PC操作機器のユーザビリティの違いを脳波を用いて脳中枢神経活動を抽出した研究成果について述べた。その結果、マウスポインタ移動速度が遅いタスクでは、脳活動として、 θ 波出現率及び β 波出現率は増大し、 α 波出現率は減少することを示した。

第4章では、VR環境下における選択的体性神経電流刺激による体表面知覚電流値への影響と、それに伴う自律神経活動を指尖容積脈波解析により抽出した研究成果について述べた。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することを示した。

第5章では、VR環境下における選択的体性神経電流刺激による体表面知覚電流値への影響と、それに伴う脳中枢神経活動を脳波解析により抽出した研究成果について述べた。本研究の結果、不快映像、快映像視聴により、痛み指数、痛み主観評価相対値が低値を示した。 α 波出現率は不快映像視聴時に低値を示し、 β 波出現率は不快映像・快映像視聴時に高値を示した。以上の結果より、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を示した。

第6章では、総括と今後の展望を述べた。

本博士論文より得られた一連の成果は、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ことを、脳中枢神経活動及び自律神経活動に基づいて、客観的に評価したことである。これらの成果は、将来、医療領域における疼痛緩和治療の一助となる意義の高い知見であったと考えられる。

以上を総合した結果、本審査委員会では、本論文が「博士（応用情報科学）」の学位授与に値する論文であると全員一致により判定した。