

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：35303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11109

研究課題名(和文) IoTとAIで実現する患者習熟度に応じて最適化するバーチャルリアリティ鏡治療

研究課題名(英文) Optimization of Virtual reality mirror visual feedback therapy with Internet of things and artificial intelligence

研究代表者

佐藤 健治 (sato, kenji)

川崎医科大学・医学部・教授

研究者番号：70359884

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：アジャストメント可能で多彩な治療タスクを装備したバーチャルリアリティ鏡治療システムを開発した。IoTとAIにより、痛みと習熟度に応じた治療の最適化や治療意欲の向上に有効な激励・教育システムの実装を目指した。痛みの増悪因子を特定するIoTによるデータの収集・分析の機械学習システムを開発し、健常者で良好なシステムの操作性を検証した。激励・教育は治療成果の視覚化とフィードバック・システムを作成し、単調作業の継続的な実施に与える効果を健常者において検証した。諭す機能やソーシャルサポートについても健常者においては検証ができた。難治性疼痛患者における効果の検証はできなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有効な治療法がない難治性疼痛患者を対象にしたバーチャルリアリティ(VR)鏡治療システムへ患者の治療意欲を維持させる仕組みを実装した。治療タスクの種類が増え習熟度に応じて難易度の調整が可能となった。また自らの状態への気づきを促す、正しい行為を褒める、逸脱した行為を諭す説得技術を用いた機能は患者の治療継続につながる可能性を示唆した。一方、痛みの増悪因子の特定のためのIoTを活用したデータ収集システムとデータ分析の機械学習システムを構築できた。痛みを感じながら治療タスクを行なう状況でも、痛みの誘発を最小限に抑えて、しかも治療意欲を向上させる治療システム構築の研究成果は社会的にも意義がある。

研究成果の概要(英文)：We developed virtual reality mirror visual feedback system for patients with chronic pain. The system contains adjustable and a variety of treatment task. Using IoT and AI, we attempted to implement the encouraging and supporting function to our pain treatment system. Visualized reports of treatment effect, persuading and social support function was developed. Effects of these three function on continuation of tedious repetitive tasks, were evaluated on healthy volunteers. A lifelog accumulation system we developed is to specify pain exacerbation factors. Its usability and comfortability was evaluated on healthy volunteers.

研究分野：ペインクリニック

キーワード：難治性疼痛 バーチャルリアリティ 人工知能

1. 研究開始当初の背景

複合性局所疼痛症候群 (Complex Regional Pain Syndrome; CRPS) や幻肢痛は薬物療法にも抵抗性で有効な治療法がなく難治性疼痛と呼ばれる。難治性疼痛患者では健常者と比較して、痛みや痛みが付随する不快な情動や不安などの脳内プロセッシングが異なることが最近の機能的脳画像診断法の進歩により明らかになった(1)。これら脳内の可塑性変化により障害部位が治癒したあとも痛みが慢性的に維持されることが示唆されている(2)。幻肢痛患者では一次体性感覚野の可塑性変化が、鏡面像を用いた視覚的な四肢疑似運動で健常状態に復帰し疼痛が軽減する(3)。これは Mirror Visual Feedback 治療(鏡治療)と呼ばれる。鏡治療は CRPS 患者でも有効である(4)。我々は VR を応用することで鏡面画像と比較して格段に進歩した鏡治療システム (岡山大学慢性痛治療シミュレーター) を開発し、有効な治療法が無かった難治性疼痛患者に良好な鎮痛効果が得られることを報告した(5)。その後、病院外でも VR 鏡治療の効果が継続する方法の開発、更に在宅で加療が可能な VR 鏡治療システムを開発した。また、インターネット上での発展応用を目指し、個々の患者の治療関連データを収集するシステムを開発した。

VR 鏡治療は、治療タスクが「仮想空間内のボールやサイコロを掴んで移動させる」ことに限定されていた。治療により患者の習熟度は向上するため同じタスクの繰返しはモチベーション維持の点で不利である。患者の障害程度や習熟度に応じた治療タスクが最適化され、また治療意欲の向上に有効な激励・教育を行うことができれば治療効果(疼痛緩和と運動機能改善)の向上が期待された。

参考文献：(1) Juottonen K. Pain 2002;98(3):315-323. (2) Tracey I.

Neuron ;55(3):377-391. (3) Ramachandran VS. Brain 1998 ; 121 : 1603-1630 (4)

McCabe CS. Rheumatology 2003;42:97-101 (5) Sato K. Pain Medicine 2010;11:622-

629 (6) 三宅貫太郎 人工知能学会誌 , Vol. 30(1), pp.148-151, 2015.

2. 研究の目的

：ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を含めた最新 VR 技術を用いて、患者の習熟度に応じて難易度などをアジャストメントが可能でかつ多彩な治療タスクを装備したバーチャルリアリティ (VR) 鏡治療システムを開発する。

：Captology を用いた慢性疼痛患者の行動変容の試みとして、医師が VR 鏡治療中の患者データを分析することで、個々の患者に寄り添い患者を激励・教育するシステム (6) を開発したが常時患者に対応する医師の負担は大きく、データを分析する医師の知識・スキルも不足していた。当該研究では、医師に代わって IoT (Internet of Things ;モノのインターネット) によるデータ収集と AI (人工知能) によるデータ解析により、患者の症状と習熟度に応じた治療タスクのカスタマイズ (最適化) や、患者の治療意欲の向上に有効な激励・教育を行うシステムの開発を目指す。

3. 研究の方法

研究 2 台のカメラで位置情報を検出して上肢の動作を仮想空間に反映させる HTC vive を用いて、ヘッドマウントディスプレイによる VR 鏡治療システムを開発して、システムやタスクの操作性を健常者で検証する。

研究 - a : 治療タスクを患者の状態に応じてカスタマイズする上では、痛みの増悪に着目する。患者の症状データを収集する方法として難治性疼痛患者にとって最も重要である痛みの増悪因子の特定のための IoT を活用したデータ収集システムとデータ分析の機械学習

システムを構築する。

研究 - b : 患者の治療意欲の向上に有効な激励・教育を行うシステムを VR 鏡治療へ実装するために、自らの状態への気づきを促すこと、正しい行為を褒めること、逸脱した行為を諭すことの 3 点に着目した。これら 3 機能について基礎的な検討を行う。セルフモニタリング機能は患者の治療成果を視覚化してフィードバックするシステムを作成し、単調作業の継続的な実施に与える効果を健常者において検証する。諭す機能については、健常者にリハビリを模した単調作業を実施させて、効果を検討した。ソーシャルサポート機能については、健常者に対するユーザビリティを評価する。

4 . 研究成果

研究 : 上肢の慢性疼痛患者の運動機能の向上を目的として、アジャストメントが可能な治療タスクの開発を行った。開発した治療タスクは、1) 関節可動域拡大のための単純な図形で挟まれた領域を動かすタスク(6種類)、2) 物体を移動するタスク、3) 互い違いの板を転がり落ちる球体を仮想空間の手で掴むタスク、4) ボールを的に当てるストラックアウトゲームである。これらのうち、2)のタスクはこれまでの治療タスクと同様のタスクである。単純な図形の大きさや挟まれる領域の幅、板の勾配や球体の転がり速度や、ボールの重さなどをアジャストメント(変更)することを患者の症状と習熟度に応じた治療タスクのカスタマイズと位置付けた。

タスク開発を行った環境は Unity (ユニティ・テクノロジーズ社)であり、タスクのスク립トの作成に使用したプログラミング言語は C#である。

治療タスクのうちの 1)のタスクでは、上肢の運動機能を向上させるために、肩関節、肘関節の可動域拡大と正確な上肢の動き、さらには上肢の運動速度向上を促すことに焦点を当てている。なお、それぞれのタスクでは運動機能向上の対象となる部位が異なるとともに、患者がタスク内容を理解しやすくするために、比較的動作の容易なタスクとした。タスクの実施においては、患者は仮想空間上の棒を握り、相似で大きさの異なる 2 つの単純図形(円、三角形、四角形、星形)あるいは上下や左右に配置した 2 枚の板の間の空間を、図形に触れないように動かす。星形と左右に配置した 2 枚の板のタスクの画面例を図 1 に示す。

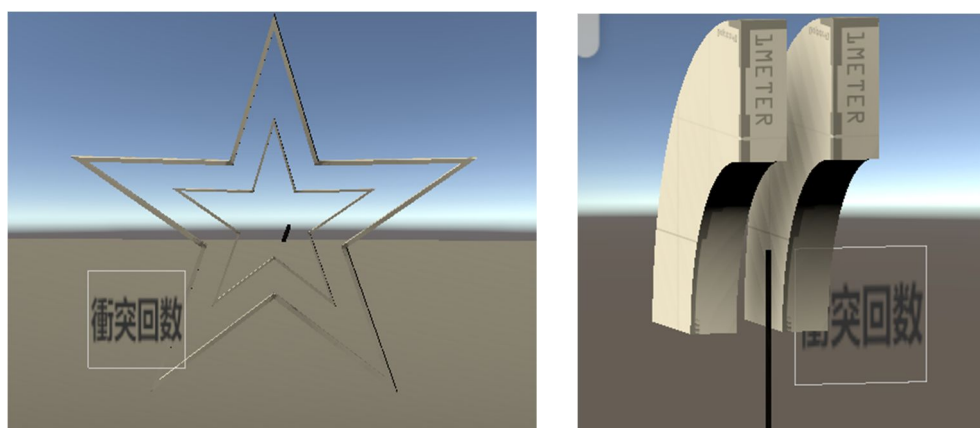


図 1 星形と左右に配置した 2 枚の板のタスクの画面例

タスク 3)の画面例を図 2 に示す。図のように、坂をボールが転がり、患者は仮想空間上の手を用いて、ボールを掴んで適当な場所で離す動作を繰り返す。仮想空間での重力加速度を変化させることにより、患者の状態にアジャストする。

タスク 4)の画面例を図3に示す。仮想空間上のボールを投げて9つある的に当てて的を落とす。上肢を素早く動かす運動を定量的に評価するために、球速を表示できるようにした。また、的の重さを変化させたり、ボールにかかる空気抵抗を変化させたりして、患者の状態にアジャストする。

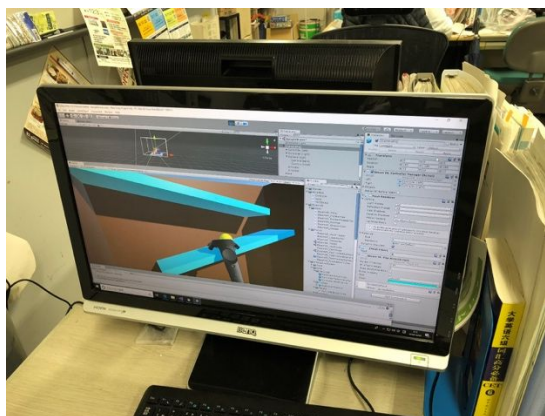


図2 坂を転がるボールを掴むタスク例

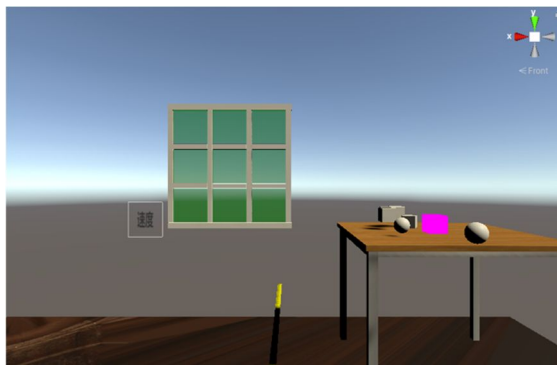


図3 ストラックアウトのタスク画面例

研究 - a: IoT を活用したデータ収集システムに関して、スマートフォン及び疼痛記録支援アプリケーション(スマートフォンアプリケーション)を中心としたシステムを構築した。GPS から位置情報、環境センサから気温や湿度等の環境情報、スマートウォッチから心拍数、活動量を自動的にかつ定期的に収集しデータベースに記録する。患者はスマートフォンの疼痛記録支援アプリケーションから、痛みの増悪発生時に痛みの数値、痛みの増悪発生直線の行動、睡眠時間等を入力する。また疼痛記録アプリケーションでは、記録したデータの閲覧やグラフを閲覧することが可能である。

本システムで収集する情報と使用デバイスの対応を表1に示す。

表1 ライフログ収集システムで収取する情報と使用デバイス

分類	増悪因子に関連する情報	使用デバイス
環境的因子	気温 [°C]	環境センサ (OMRON 形 2JCIE-BL01)
	気圧 [hPa]	
	湿度 [%RH]	
生理的因子	気象(位置情報)	スマートフォン (UMIDIGI F1 Play)
	睡眠時間 [h]	
	直前の行動 [MET]	スマートウォッチ (Fitbit Inspire HR)
	活動量 [Ex]	
	心拍数 [bpm]	

ここで直前の行動は Compendium of Physical Activities の日本語版を使用し、行動を活動の強度 (MET) に変換して収集する。疼痛記録支援アプリケーションでは、直前の行動を活動の強度に応じた5段階の選択肢で入力を促す。

疼痛記録支援アプリケーションのメイン画面を図4に示す。画面上の顔の表情は Face

Scale (FS) を、画面中央のシークバーは VAS を表しており、シークバーを動かすことで痛みの数値及びそれに対応した顔の表情が変化する。シークバーの左端が「0」、右端が「100」となっており、FS の表情は痛みの数値が 20 毎に変化する。「記録」ボタンをタップすると記録確認ダイアログが表示される。記録される痛みの数値は、「記録」ボタンをタップしたときに変更した痛みの数値が反映される。画面右上には環境センサとの接続ステータス及びバックグラウンド処理のステータスが表示されている。

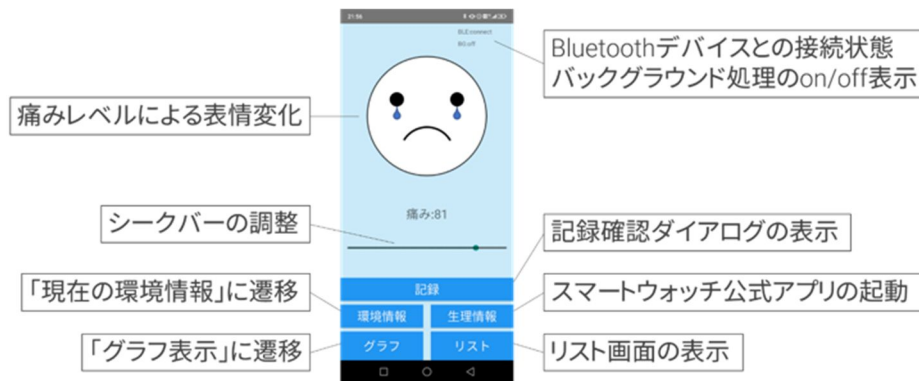


図4 疼痛記録支援アプリケーションのメイン画面

システムの操作性については、健常者 10 名に対して、歩行、パソコン作業、椅子に座る、横になる、食事、掃除の 6 つの状況の下での使用感を、System Usability Scale と Comfort Rating Scale を用いて評価し、良好であることを確認した。なお、当初想定した IoT と AI でカスタマイズするまでのシステムの開発は研究期間中には実現できなかった。

研究 - b: 検証結果からは、「ポジショニングの明確化」や「短期目標設定」を用いたセルフモニタリング画面がユーザーの単調作業の継続的实施に有効であることが示唆された。諭す機能については、統制群と比較して警告と諭しのメッセージによる行動変容に対する意識の変化が有に見られた。警告と諭しの間で差が見られたのは、メッセージに対する敵意であった。これらのことから、行動変容を自発的に促すためには諭し機能が有用となる可能性が示唆された。ソーシャルサポートについては、先行研究の知見をまとめ患者への支援として記録活動の明確な動機を実感させ、日常のストレスを軽減させることが重要と結論した。各課題に対する支援機能として、状態把握支援機能およびソーシャルサポート機能を考案し実装した。ユーザビリティテストの結果は良好であった。加えて、14 日間の実験において、記録活動を行う際にアプリケーションの使いにくさによる記録の中断は生じなかった。

研究期間中、健常者においては検証ができたが、難治性疼痛患者においての効果の検証はできなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ryuichi Furuhashi, Taro Sugihara, Kenji Sato and Akio Gofuku	4. 巻 to appear
2. 論文標題 Tolerance of time delay to the sense of agency for operating electric prosthetic hands: a preliminary experiment with the appearance and gripping action	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of 1st IEEE International Conference on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 to appear
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 古橋龍一, 杉原太郎, 三宅貴太郎, 佐藤健治, 五福明夫	4. 巻 12
2. 論文標題 電動義手の外見と把持動作が Sense of Agencyに及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告アクセシビリティ (AAC)	6. 最初と最後の頁 1-8
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 無
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 二田悠史, 杉原太郎, 佐藤健治, 五福明夫	4. 巻 52
2. 論文標題 行動変容促進を目的とした諭しおよび警告メッセージの予備的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告アクセシビリティ (AAC)	6. 最初と最後の頁 1-8
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 無
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 熊田祐介, 杉原太郎, 佐藤健治, 五福明夫	4. 巻 1
2. 論文標題 疼痛記録支援アプリケーションのユーザビリティ評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第18回情報科学技術フォーラム講演論文集	6. 最初と最後の頁 267-268
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 無
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 熊田祐介, 杉原太郎, 佐藤健治, 五福明夫	4. 巻 27
2. 論文標題 疼痛記録支援アプリケーションにおける継続利用を促す機能の開発と評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)	6. 最初と最後の頁 1-7
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 無
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 吉川慧, 杉原太郎, 五福明夫, 佐藤健治	4. 巻 30
2. 論文標題 単調作業に対する自己効力感向上を目的としたセルフモニタリングにおける情報提示方法の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI)	6. 最初と最後の頁 1-6
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 無
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6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 古橋龍一, 杉原太郎, 三宅貴太郎, 佐藤健治, 五福明夫
2. 発表標題 電動義手の外見と把持動作が Sense of Agency に及ぼす影響
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二田悠史, 杉原太郎, 佐藤健治, 五福明夫
2. 発表標題 行動変容促進を目的とした諭しおよび警告メッセージの予備的検討
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊田祐介, 杉原太郎, 佐藤健治, 五福明夫
2. 発表標題 疼痛記録支援アプリケーションのユーザビリティ評価
3. 学会等名 第18回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 熊田祐介, 杉原太郎, 佐藤健治, 五福明夫
2. 発表標題 疼痛記録支援アプリケーションにおける継続利用を促す機能の開発と評価
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉川慧, 杉原太郎, 五福明夫, 佐藤健治
2. 発表標題 単調作業に対する自己効力感向上を目的としたセルフモニタリングにおける情報提示方法の検討
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鳥瀬透, 五福明夫, 佐藤健治
2. 発表標題 慢性疼痛患者の痛みの増悪因子特定のためのライフログ収集システムの開発
3. 学会等名 第64回システム制御情報学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	松崎 孝 (matsusaki takashi) (10423328)	岡山大学・大学病院・助教 (15301)	
研究分担者	五福 明夫 (gofuku akio) (20170475)	岡山大学・ヘルスシステム統合科学研究科・教授 (15301)	
研究分担者	杉原 太郎 (sugihara taro) (50401948)	岡山大学・ヘルスシステム統合科学研究科・助教 (15301)	
研究分担者	賀来 隆治 (kaku ryuji) (50444659)	岡山大学・医歯薬学総合研究科・講師 (15301)	