

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10723

研究課題名(和文) 没入型VRを応用した新規リハビリテーションシステム開発と有用性の包括的研究

研究課題名(英文) Comprehensive study in the development of new rehabilitation system using immersive virtual reality.

研究代表者

中原 康雄 (Yasuo, Nakahara)

帝京大学・医学部・准教授

研究者番号：80595968

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)：本研究では新たなVRリハビリテーション(VRR)訓練システムを開発し、臨床への応用に向けての検討を行った。その結果、視線入力を用いることで遠位空間、近位空間における注意障害、半側空間無視といった高次脳機能障害に対する訓練、ハンドトラッキングを用いた上肢機能訓練、実際の歩行が困難な状態でも足踏みが可能な段階から仮想空間内で歩行訓練が可能となる下肢機能訓練といった新たな試みとしての訓練システムを開発した。開発したVRRシステムを使用した検討では楽しみを感しながらのリハビリテーション訓練の実施継続が可能であり、今後対象者や訓練コンテンツの種類を増やし、さらなる検証を行っていく必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

“リハビリテーション”を実施するうえで、効果的な訓練法の開発は常に重要な課題となります。本研究ではバーチャルリアリティという新しい技術を用いたリハビリテーション訓練の開発に向けた研究を行い、高次脳機能障害、上肢・下肢機能障害に対するバーチャルリアリティ技術を用いた訓練システムを開発しました。超高齢化社会の到来とともに、リハビリテーションの需要は急速に増加しており、本研究によりバーチャルリアリティを用いたリハビリテーションによる治療法の発展につながれば、社会に対する貢献度も高いと思われます。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a new VRR (Virtual Reality Rehabilitation) training system that enables training in a "virtual reality" environment using VR technology, and conducted a study for clinical application. As a result, we developed a training system that enables training for higher brain dysfunction such as attention disorders and unilateral spatial neglect in distal or proximal space by using gaze input, upper limb functional training by using hand tracking, and lower limb functional training that enables walking training in virtual space from the stage of being able to step on a foot even when actual walking is difficult. In this study, continuation of rehabilitation training with a sense of enjoyment was possible, and further verification with increased number of subjects and training contents are needed in the future.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：リハビリテーション バーチャルリアリティ

### 1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティ(Virtual Reality: VR)は仮想現実ともいわれており、コンピューターにより合成されたCGや映像の効果により、特定の機器を装着することで3D空間内にVR体験者の身体が投影され、その空間内へ360度3Dの世界に入り込む没入感を得ることのできる技術である。VRの活用が最も進んでいる分野はゲームの領域であるが、それ以外でもビジネス、通信、教育などの分野でも活用が始まっている。医療の分野でも徐々にVR技術の研究・活用が進んできており、手術シミュレーション、幻肢痛などの疼痛管理や心的外傷後ストレス障害を克服する治療法としても研究されている。その中で、リハビリテーション医療の分野でもVR技術の活用が始まってきている。超高齢化社会の到来とともに、リハビリテーションの需要は急速に増加しており、現状でのリハビリテーション治療に加え、VRという新たな技術を取り入れた訓練を開発し導入していくことは今後のリハビリテーション医療における更なるブレークスルーの一つになり得る。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、VR技術を活用した「仮想現実」の環境で高次脳機能障害、上下肢機能障害に対する訓練が可能となる新たなVRリハビリテーション(VRR)訓練システムを開発し、臨床への応用に向けて検討することである。本システムは対象者がヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着して仮想現実空間の中に身をおき、身体の動きをVR空間内の動作に反映させることで、対象者の高次脳機能、上下肢機能の訓練を行うシステムである。構築されるVR環境は装着するHMD前面のみに投影される形式とは異なる没入型のimmersiveな環境となり、3D空間を自由に利用した訓練内容の設定が可能となるだけでなく、病室や訓練室といった従来の一般的なリハビリ環境とは異なる3DCGや映像で表現された空間内での視覚の変化を活用

した訓練による、訓練「内容」だけでなく訓練「環境」の要素を踏まえた検討とその実現も目的とする。視覚入力を脳にフィードバックすることにより全身の運動イメージの学習を強化する治療装置の開発により、新たなリハビリテーション治療へとつなげていく。



図 1. Windows Mixed Reality

### 3. 研究の方法

#### ・VR環境の構築

VRを用いたリハビリテーション訓練装置はVR Ready ノート PCに加え、没入型ヘッドセットデバイスとなるWindows Mixed Reality Headset®を中心とする機器によって構成した(図1)。Windows Mixed Reality Headset®は開発者版が2017年夏に発売され、「インサイドアウト方式」の位置トラッキングを採用することで外部センサー不要となり、装置の携帯性が向上することで訓練室や病室など希望の場所での簡便なリハビリテーションへの応用が可能となる。HMDを装着したリハビリテーション中の訓練者が見るVR空間の映像はPC画面上に投影され、リハビリテーション訓練中は医師や療法士がVR内の状況を確認しながら訓練を実施することとなる。また、研究期間後半ではPCへの接続を必要としないスタンドアロンVRヘッドセット導入への取り組みも行った。

#### ・訓練コンテンツの作成

開発エンジン、プログラミングを使用しVR環境下で作動するリハビリテーションコンテンツを作成した。実際の開発に関しては、開発エンジン内でSDKを利用しつつ、訓練空間となるワールドの作成、HMDを装着した訓練者のVR空間内での動作や挙動などに関する設定、訓練対象となるオブジェクトの作成や設定、スクリプトを使用してのリハビリテーション訓練内容の作りこみなどを行い、エディタ内でのチェック後にビルドを実施しVRRコンテンツを作成した。訓練者はモーションコントローラーを使用した訓練も実施可能であるが、その他にも視線入力の利用や、実際の上下肢の動きをVR空間内の動きに投影するトラッキングシステムを組みあわせることで直観的な訓練の実現を目指した。併せて、仮想空間を自由に設定することが可能となるVRの特徴を生かし、例えば桜並木を見ながらの歩行訓練など普段過ごす環境では体験困難な、対象者の希望に合わせた環境下での訓練の実現に向けた構築を行った。

#### ・訓練の実施

開発したVRRシステムを使用し健常者15名(平均年齢32.1±6.8歳)を対象とし、単回～複数

回 VRR 訓練を実施し、身体活動の楽しみの尺度(Physical Activity Enjoyment Scale: PACES), VR 酔い(Simulator Sickness Questionnaire: SSQ)による評価を行った。本研究は帝京大学医学部倫理委員会の承認を受けて行い、訓練を行う前に本研究の概要目的を十分に説明し、同意を得た。

#### 4. 研究成果

##### ・開発した VRR システムの内容

高次脳機能障害に対しては、3D 仮想空間を自由に使用できる VR の特徴を生かし、遠位空間、近位空間に静的オブジェクトを配置し、目標の対象物を一定時間注視する視線入力を用いることで課題として指定した物体の抹消やイベントなどが発生する訓練プログラムを作成。それぞれのオブジェクトの色、形、配置など様々なパターンを設定するとともに、動的な対象物の導入、注視時間の設定、立体音響、後述の VR 空間内の歩行訓練を組み合わせることで、選択制、持続性、分配性、転換性といった注意障害や、半側空間無視に対しての訓練プログラムや TMT など紙面上のバッテリーを三次元化して VR 空間内に配置することで幅広い注意、ワーキングメモリ、空間探索、処理速度などにアプローチした訓練内容を盛り込んだ(図 2, 3)。

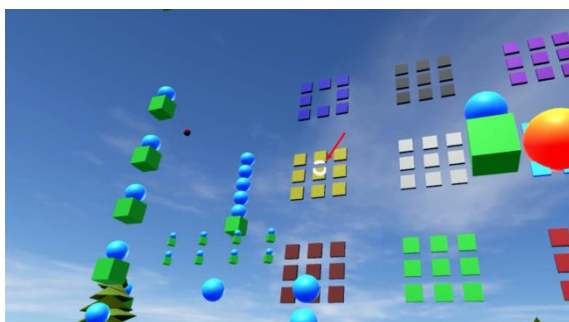


図 2. 注視による訓練の例。歩行しながら目標(赤矢印)を探索する。適切に注視できると合図があり、設定された時間注視が継続できることでイベントが発生する。

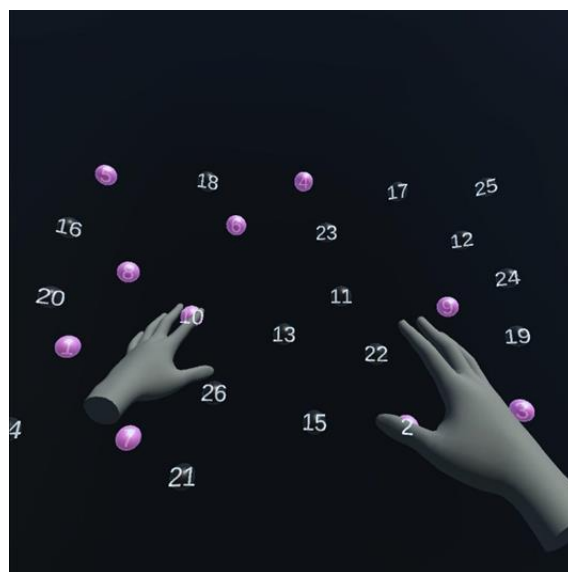


図 3. VR 空間に設置された TMT を用いた訓練の例。立体的に配置されており空間認知を踏まえた訓練を実施することができる。

上肢機能障害に関しては、ハンドトラッキング技術を導入することで VR 空間内にある対象物に向けてのリーチ動作、把握といった上肢機能動作や、適切な操作によりアクションがトリガーされるギミック、上肢や手指の動作に合わせて操作可能となるオブジェクトや粒子を動かすことで例えば脳血管障害を原因とする麻痺症状に対する共同運動から分離運動につながるような訓練が直観的に動きをイメージしながら可能となる訓練を作成した(図 4, 5, 6)。



図 4. 上肢機能訓練の例。空中に設置された対象物まで移動しハンドトラッキングにより上肢で対象物を操作する。



図 5. 上肢機能訓練の例。舞い散る桜の花びらに移動しつつ適切にリーチすることでイベントが発生する。



図 6. 上肢機能訓練の例。自分の手指の動きを認識しつつ、その動きに連動する粒子を操作することで、手指の伸展など身体の動きをイメージしながらの直観的な訓練が可能となる。

下肢機能障害に関しては、実際の歩行が困難な状態でも足踏みや立ち上がり動作による下肢の動作を仮想空間内での歩行として視覚情報として投影し、実際に下肢の運動に連動した歩行感覚のフィードバックを可能とし、歩行困難な状態下でも歩行する感覚が体験可能となる訓練を作成した。移動に関しては一人称視点で仮想空間内での移動は加速度を小さくし、自身の進行方向の予測ができるよう HMD が向いている方向に進むように設定し、決められた目標に向かっての歩行訓練や、仮想空間にオープンワールドを取り入れ散策しながらの歩行訓練といった内容を組み込んだ。また、例えば桜並木を見ながらの歩行訓練など普段過ごす環境では体験困難な、対象者の希望に合わせた訓練“環境”も訓練内容の重要な構成要素の一つとして盛り込んだ。



・開発した VRR システムを使用した評価

高次脳機能訓練用の訓練コンテンツでは、PACES の合計点は訓練前  $70.1 \pm 6.2$  点、訓練後  $118.7 \pm 4.2$  点、 $p < 0.001$  であった。SSQ では全体の傾向を示す SSQ-TS は VR 訓練前  $2.2 \pm 4.8$  点、訓練後  $9.2 \pm 7.4$  点、VR 訓練前後では有意差はなく、下位尺度に関しては(訓練前→訓練後)、気持ち悪さ(Nausea)  $1.9 \pm 4.1 \rightarrow 1.9 \pm 4.1$  点、目の疲れ(Oculomotor)  $2.9 \pm 6.6 \rightarrow 16.2 \pm 10.5$  点、ふらつき感(Disorientation)  $0 \pm 0 \rightarrow 8.2 \pm 7.2$  点であった。上肢機能訓練に関しては、PACES の合計点は訓練前  $70.1 \pm 6.2$  点、訓練後  $117.0 \pm 3.8$  点、 $p < 0.001$  であった。SSQ-TS は VR 訓練前  $2.2 \pm 4.8$  点、訓練後  $9.1 \pm 7.2$  点、VR 訓練前後では有意差はなく、下位尺度に関しては(訓練前→訓練後)、Nausea  $1.9 \pm 4.1 \rightarrow 1.9 \pm 4.1$  点、Oculomotor  $2.9 \pm 6.6 \rightarrow 16.2 \pm 10.5$  点、Disorientation  $0 \pm 0 \rightarrow 8.2 \pm 7.2$  点であった。下肢機能訓練に関しては、PACES の合計点は訓練前  $70.1 \pm 6.2$  点、訓練後  $119. \pm 2.1$  点、 $p < 0.001$  であった。SSQ-TS は VR 訓練前  $2.2 \pm 4.8$  点、訓練後  $9.8 \pm 6.1$  点、VR 訓練前後では有意差はなく、下位尺度に関しては(訓練前→訓練後)、Nausea  $1.9 \pm 4.1 \rightarrow 1.9 \pm 4.2$  点、Oculomotor  $2.9 \pm 6.6 \rightarrow 16.8 \pm 9.5$  点、Disorientation  $0 \pm 0 \rightarrow 8.4 \pm 7.4$  点であった。上記、高次脳機能、上下肢機能訓練を通して、PACES では VRR 前後で楽しみを感じながらの訓練が可能であり、SSQ の全体の傾向を示す SSQ-TS は VRR 前後で SSQ の変化に有意差はみられず、全員 VR を用いた訓練を最後まで実施することが可能であった。

今回 VR 技術を活用した“仮想現実”の環境で訓練が可能となる新たな VR リハビリテーション訓練システム開発に向けた研究を行った。その結果、視線入力を用いることで遠位空間、近位空間における注意障害、半側空間無視といった高次脳機能障害に対する訓練、ハンドトラッキングを用いた上肢機能訓練、実際の歩行が困難な状態でも足踏みが可能な段階から仮想空間内で歩行訓練が可能となる下肢機能訓練といった新たな試みとしてのリハビリテーション訓練

システムを開発した。併せて 3DCG や映像で表現された空間内での視覚の変化を活用した訓練“環境”の要素にも焦点を当てた開発を行った。開発した VRR システムを使用した検討では楽しみを感じながらのリハビリテーション訓練の実施継続が可能であり、今後対象者や訓練コンテンツの種類を増やし、さらなる検証を行っていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Haga Nobuhiko, Nakashima Yasuharu, Kitoh Hiroshi, Kamizono Junji, Katagiri Takenobu, Saijo Hideto, Tsukamoto Sho, Shinoda Yusuke, Sawada Ryoko, Nakahara Yasuo	4. 巻 62
2. 論文標題 Fibrodysplasia ossificans progressiva: Review and research activities in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Pediatrics International	6. 最初と最後の頁 3~13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/ped.14065	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 Sawada Yusuke, Sasabuchi Yusuke, Nakahara Yasuo, Matsui Hiroki, Fushimi Kiyohide, Haga Nobuhiko, Yasunaga Hideo	4. 巻 27
2. 論文標題 Early Rehabilitation and In-Hospital Mortality in Intensive Care Patients With Community-Acquired Pneumonia	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Journal of Critical Care	6. 最初と最後の頁 97~103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4037/ajcc2018911	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Nakahara Y, Tokunaga T, Honda Y, Ogata N
2. 発表標題 DEVELOPMENT AND CLINICAL APPLICATION OF A REHABILITATION TRAINING SYSTEM USING IMMERSIVE VR
3. 学会等名 VIRTUAL ISPRM 2021 Congress（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中原康雄、金指佳希、本田祐士、小黒大輔、緒方直史
2. 発表標題 没入型VRを用いた新規リハビリテーション訓練システムの開発
3. 学会等名 第4回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 中原康雄	4. 発行年 2019年
2. 出版社 医歯薬出版株式会社	5. 総ページ数 11
3. 書名 リハビリテーションの理解. 公認心理師カリキュラム準拠人体の構造と機能及び疾病	

1. 著者名 中原康雄	4. 発行年 2018年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 4
3. 書名 ハビリテーション医学・医療コアテキスト	

1. 著者名 中原康雄	4. 発行年 2018年
2. 出版社 医学書院	5. 総ページ数 30
3. 書名 リハビリテーション医学・医療Q&A	

〔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	緒方 直史  (OGATA NAOSHI)  (10361495)	帝京大学・医学部・教授    (32643)	

6. 研究組織（つづき）

	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	芳賀 信彦  (HAGA NOBUHIKO)  (80251263)	東京大学・医学部附属病院・教授     (12601)	

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