

## 仮想現実（VR）技術を用いたリハビリテーションは慢性疼痛患者の福音となるか？

原 正 彦<sup>1,2)</sup>

- 1) 島根大学 地域包括ケア教育研究センター 客員教授  
2) 株式会社mediVR 代表取締役



### はじめに

仮想現実（virtual reality, VR）技術は医療現場ではヘッドマウントディスプレイ（head mounted display, HMD）を装着することで視覚及び聴覚情報を置き換える装置を指すことが多い（図1）<sup>1,2,3)</sup>。近年、リハビリテーション領域におけるVR技術の応用事例に関する報告が増えている<sup>2,3)</sup>。本邦においても、大阪大学における産学連携活動によって生まれたリハビリテーション用VR医療機器（mediVRカグラ<sup>®</sup>、株式会社mediVR、豊中市、日本）の販売が2019年3月から開始となる等、今後益々VR技術の医療現場における応用が進む



図1 仮想現実技術

ことが期待される。本コラムでは、VR技術の慢性疼痛患者に期待される効果を中心にその医学的理論根拠を解説する。

なお、本コラム執筆時点で医療現場での利用が認められているVR製品は上述のmediVR社製 mediVRカグラ<sup>®</sup>及び、作業療法用の機器であるtyromotion社製のDIEGO<sup>®</sup>（Graz, Austria）のみである。昨今ゲーム作成会社等から機器やコンテンツの開発ないしは製品の試用を大学や病院施設に持ちかけるような案件が散見されるが、未承認医療機器の患者への臨床利用は法に定める特定臨床研究に該当し、臨床研究法に規定された非常に煩雑な手続きを経る必要がある。このような事案に安易に協力することで善意の医療関係者が臨床研究法違反に問われる危険があるため注意が必要であることを付言する。

### 慢性疼痛にVRが適していると推察する根拠

慢性疼痛が生じる機序にはfear avoidanceモデルをはじめとする行動・心理学的機序や

\* 本稿は第12回日本運動器疼痛学会「特別講演1」の内容をまとめたものである。

侵害刺激の持続的入力による長期増強，さらには脳の可塑的变化による mesocorticolimbic system の機能不全が関与しているといった報告が存在する<sup>4,5,6)</sup>。したがって，慢性疼痛を考える上では身体機能などの器質的な側面のみにとらわれるのではなく，心理面や脳機能にまで及んだ多面的な考察が必要である<sup>4,5,6)</sup>。

VRは日常と異なる視覚環境を眼前にリアルに提供でき，3次元空間で自由に対象物を表示可能である。この特徴を利用することで患者の能力に応じた適度な強度の課題を設定し，楽しさを維持しながら運動を反復できるという利点が生まれる<sup>1)</sup>。これらの背景を踏まえ，VRが身体機能のみならず心理機能や脳内機構の改善の一助となるのではないかと考えたことが，筆者がVR医療機器の開発に着手したきっかけとなった。

ここからはあくまでも推察ベースではあるものの，筆者は図2に示す4つの機序によってVRが慢性疼痛の症状緩和に寄与するのではないかと考えている。すなわち，① VRを用いた運動トレーニングに伴い生じる脳皮質における神経支配領域の適切な再編成 (reorganization)，② 痛みの予測シグナル (prediction signal) の遮断，③ VRコンテンツの持つ娯楽 (entertainment) 性による心理・情動機能の改善，そして④ 運動療法に伴う身体機能改善 (exercise) の4つの機序である。

慢性疼痛は痛みの感覚・弁別的側面にかかわる視床や島皮質などだけでなく，情動・動機側面にかかわる辺縁系や，認知・評価的側面にかかわる前頭皮質の可塑性変化によっても引き起こされることが知られている<sup>4,5,6,7)</sup>。この可塑性変化に対しては，幻肢痛の患者における脳皮質の再編成 (reorganization) 効果によって痛みが軽減する現象を代表例としていくつかの介入エビデンスが存在する<sup>7)</sup>。Neuroscienceの知見に基づけば，このような



図2 VRが慢性疼痛に有効だと考えられる4つの機序

脳皮質の再編成を効率的に行うためにはある動作を患者自身に意図させるフィードフォワードと，その動作の完了と同時に適切で強力なフィードバックを患者に自覚させることが重要であると考えられる<sup>7)</sup>。また，この脳皮質の再編成効率率は運動パリエーションと運動回数に依存しているとも考えられており<sup>7)</sup>，mediVRカグラ<sup>®</sup>ではこれらの根拠に基づきVR空間において特定の座標に対するリーチングを促すことでフィードフォワードを一定の条件下で再現性をもって指示できる表示方法と，リーチングタスクを達成した瞬間に視覚，聴覚，触覚刺激を用いて強力なフィードバックを患者に与えるマルチチャネルバイオフィードバックシステムと呼ばれる機能を実装している(図3)<sup>1)</sup>。患者のリーチングタスクは視野正面0~180度に表示され，同時に複数のタスクを表示させることで運動パリエーションと運動回数に幅を持たせられる構成となっている(図4)<sup>1)</sup>。

一方で，慢性疼痛患者は痛みの発生条件を記憶しており，それを基に環境や視覚情報から予め痛みの発生を予測するとされ，これは予測シグナル (prediction signal) と表現される<sup>6)</sup>。加えて，慢性疼痛では痛みへの破局的思考が行動の抑制をしてしまう fear avoidance



図3 VRリハビリテーションにおけるマルチチャネルバイオフィードバック

意図した動作が成功した瞬間にリアルタイムに視覚、聴覚、触覚刺激を用いてフィードバックを行うことで効率的な脳皮質の再編成を目指す。

モデルの負の連鎖からの脱却が重要であると言われている<sup>4)</sup>。また、慢性疼痛には情動や感情といった心理的側面も影響することが知られており、これらを司る内側前頭前野や扁桃体、側坐核などの相互作用の機能不全によって下降性疼痛抑制機能が阻害される報告が存在するため<sup>4,5)</sup>、これらの脳部位を刺激するような娯楽性のあるリハビリテーションが効果的であると考えられることもできる。このような観点からmediVRカグラ<sup>®</sup>では顔全体を覆う没入型のHMDを用いてVR空間で体の一部を意図的に再現しない手法を取ることで、患者が自身の関節可動域が見えない状態を作りつつ、娯楽性の高いリハビリテーションを行えるような構成とした(図4)。これは主として視覚から入力される痛みの予測シグナルの遮断に加えて、コンテンツの娯楽性により運動への注意を逸らし、恐怖心を軽減させる等の効果を複合的に得るために実装した機能である。

また、廃用性の身体機能障害も慢性疼痛の一要因であるとの視点から慢性疼痛治療ガイ



図4 mediVRカグラ<sup>®</sup>の操作パネル

運動バリエーションと運動回数の豊富なメニューが提供される一方で、視野画像に示される通り娯楽性のあるゲームをしているようにリハビリテーションが行われる。

ドラインにおいて強度や方法に注意した運動療法が慢性疼痛の症状緩和に有効であることが指摘されている<sup>4)</sup>。VRリハビリテーションによる身体機能改善効果は、脳卒中例での上肢における機能改善を中心にある程度確立されていると考えることができ<sup>3)</sup>、慢性疼痛患者におけるVRリハビリテーションが身体機能改善効果を介して慢性疼痛の症状緩和に繋がることも十分に期待できると考えている。

## おわりに

VR医療機器の臨床応用が本邦でも本格的に始まろうとしている。今後慢性疼痛患者における応用が広がるにつれ、上述したような機器の特徴がどの程度効果を発揮し得るのか、また、その場合どのような機序が強く影響しているのか検証を進めていきたいと考えている。一方で、慢性疼痛の治療に際しては理学・作業療法、薬物療法、認知行動療法、電気刺激等を用いたNeuromodulation等を患者の状態に応じて適切に組み合わせる集学的アプローチが必要である<sup>4)</sup>。VR医療機器を上手

く使いこなしつつも、包括的なアプローチを身に着ける姿勢が大切である。

#### 利益相反

筆者は株式会社 mediVR の代表取締役であり会社株式を保有している。

#### 文 献

- 1) Omon K, Hara M, Ishikawa H. Virtual reality-guided dual-task body trunk balance training in a sitting position improved walking ability without improving leg strength. *Prog Rehabil Med* 2019; 4: 20190011.
- 2) Mallari B, Spaeth EK, Goh H, et al. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis. *J Pain Res* 2019; 12: 2053-85.
- 3) Ahn S, Hwang S. Virtual rehabilitation of upper extremity function and independence for stroke: a meta-analysis. *J Exerc Rehabil* 2019; 15: 358-69.
- 4) 厚生労働行政推進調査事業費補助金 慢性の痛み政策研究事業「慢性の痛み診療・教育の基盤となるシステム構築に関する研究」研究班. 慢性疼痛治療ガイドライン. 真興貿易 医書出版部, 東京, 2018: 16-27.
- 5) 上勝也, 田島文博, 仙波恵美子. 運動による疼痛抑制(exercise-induced hypoalgesia)の脳メカニズム: mesocortico-limbic system の役割. *日本運動器疼痛学会誌* 2019; 11: 175-81.
- 6) Seymour B. Pain: A Precision Signal for Reinforcement Learning and Control. *Neuron* 2019; 101: 1029-41.
- 7) 道免和久, 小山哲夫, 長谷公隆, 他. ニューロリハビリテーション. 医学書院, 東京, 2015: 309.