

バーチャルリアリティ（VR）技術を用いた高齢者の リハビリテーションに関する文献的研究 Literature Review about Rehabilitation for the Elderly Using Virtual Reality

辻下 守弘

Morihiro Tsujishita

要旨（Abstract）

2016年は「VR元年」と呼ばれ、コンピュータサイエンスの発展によってバーチャルリアリティ（Virtual Reality：VR）技術が身近になり、医療や福祉の分野にも急速に普及するようになった。一方で、わが国は急速なスピードで超高齢社会が進行し、要介護状態の高齢者が急増する中で、高齢者のリハビリテーションが注目されている。そこで、本論文では、VRの定義と特徴を解説した上で、主にWiiとKinectセンサーを用いた高齢者リハビリテーションへの応用に関する国内外の現状と課題を文献的に考察した。その結果、WiiとKinectセンサーを用いたトレーニングが高齢者の心身機能に及ぼす影響を明らかにした良質な無作為化比較対照試験（RCT）は少ないものの、高齢者の機能的なバランス能力を改善させる効果のあることが多くの論文で示唆されていた。VRを用いた高齢者のリハビリテーションには課題もあるが、より没入感の強いヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display：HDM）が普及することで、今後は高齢者リハビリテーションへの応用可能性が拡大すると考えられた。

キーワード：（バーチャルリアリティ：VR）（高齢者リハビリテーション）（没入感）（Wiiフィット）（Kinectセンサー）

I. 研究の背景と目的

総務省は、わが国の総人口に占める65歳以上の割合が26.7%となり、80歳以上の高齢者が1千万人を超えたと2015年9月に発表した。わが国は、世界でも類を見ないスピードで超高齢社会が進行し、身体機能の老化や転倒事故などによる要介護状態の高齢者が急増しており、予防や機能回復を目的とした高齢者に対するリハビリテーションの重要性が高まっている。

高齢者のリハビリテーションを効果的に実施するには、日常生活場面に特異的で機能的なトレーニングを長期に反復させることが必要であり、気力や体力が弱った状態で、リハビリテーションに対するモチベーションをいかに維持・向上させるかが大きな課題となっている。特に、リハビリテーション室という無機質な環境では、高齢者の日常生活場面を再現することは困難であり、いわゆる「できるADL」と「しているADL」とのギャップが生じやすい¹⁾。また、従来のような徒手や機器を使った筋力増強練習や室内をただ回遊したり往復したりする歩行練習では、トレーニングの意味や目的が認識されず、単調な反復訓練として捉えられ、リハビリテーションに対するモチベー

ションを低下させることになる。

従来のリハビリテーションにおけるこれらの問題点を解決するため、最近では、機能回復の神経基盤が use-dependent plasticity（使用依存的可塑性）であるという理論的背景に基づいた課題指向型練習が注目されるようになった²⁾。課題指向型練習の特徴は、高齢者の生活環境および文脈に依存した練習課題について学習理論に基づいて難易度を調整しながら集中的に反復することで、その練習成果を日常生活へスムーズに移行させることを重視している³⁾。しかし、従来のリハビリテーション室の中で、練習課題に日常生活の環境および文脈を設定し、難易度を調整することは容易ではなかった。

そこで、最近ではコンピュータサイエンスの進歩により、バーチャルリアリティ（Virtual Reality：VR）技術が身近になり、このような課題指向型練習が抱える課題を解決できる可能性が高まり、特に欧米では高齢者に対するリハビリテーションの標準的な治療として広く応用されつつある⁴⁾。本論文では、わが国においても今後導入が広まるであろう VR 技術を用いた高齢者のリハビリテーションに関して、その国内外での現状と課題を文献的に考察する。

II. バーチャルリアリティ（VR）とは何か

VR とは、舘⁵⁾によると「みかけは現実ではないが、実質的には、現実であること」であり、一般的な日本語訳では「仮想現実」と訳されるが、彼は「人工現実感」という表現の方が適していると述べている。つまり、VR が提示するのは偽りの現実ではなく、それは本当の現実に近い感覚を人に与える技術と定義されている。VR の基本的な構成要素は、出力システムとしてのディスプレイによる感覚提示、入力システムとしてのデバイスによる操作、そして感覚提示と操作をインタラクティブにシミュレーションするコンピュータシステムであり、感覚提示と操作がインタラクティブに連動することが人工現実感を生じさせるためのポイントとなる。例えば、VR の体験でよく使われるのは、ヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display：HDM）と呼ばれるゴーグル型の視覚ディスプレイであり、この HMD には加速度センサーが内蔵され、視野に連動する頭の動きに追従した画像がリアルタイムに表示される仕組みとなっている。つまり、頭の動きという操作に対して画像という感覚提示が変化するといったインタラクティブなメカニズムが人工現実感を生じさせる。

このメカニズムの基本は、頭の動きに対してリアルタイムに画像が追従することであり、このインタラクティブなタイミングにズレが生じると VR 酔いといった一種のめまいを生じさせ強い違和感を与えることになる。VR 酔いの原因には、このようなタイミングのズレだけでなく、視覚情報と前庭系・体性感覚情報の不一致により生じるミスマッチ、広範囲の視野に動きのある映像によって生じるバクシオン（自己運動感覚）なども考えられているが⁶⁾、現在ではタイミングのズレを極限に小さくするコンピュータ性能の向上が VR 酔いを防ぎ、2016年の「VR 元年」といわれる VR 普及に大きく貢献したといえる。

このようなコンピュータが生成する VR 環境は、「3次元の空間性」、「実時間の相互作用性」、「自己投射性」といった三要素によって成立するといわれている⁵⁾。「3次元の空間性」とは、人を取り囲む360°の立体的な視覚空間および聴覚空間のことであり、前述した頭部の動きとリアルタイムに追従することで「実時間の相互作用性」を実現し、あたかも自分が人工環境の中に入り込んだかのような没入感を生む「自己投射性」を成立させることが VR 技術の核心である。

Ⅲ. 高齢者のリハビリテーションにおけるVR技術の応用

前述した三要素に基づいたVR技術は、コンピュータ性能の向上と PlayStation®VR (SONY社製)、Oculus Rift (Oculus社製)、HTC VIVE (HTC社製) といった HMD の登場により身近になり、今後はリハビリテーションにおいても導入が進むと思われる。しかし、HMD を使った VR には、現在であつてもかなり高性能なパソコンが必要であり、高齢者に対するリハビリテーション用のソフトも揃っていないため、これまでは主に HMD ではなく液晶ディスプレイに画像を提示する方式が使われてきた。その方式において国内外でよく使われているのは、安価で操作が分かりやすく、ゲームソフトも豊富な Wii (任天堂社製) であり、HMD のような没入感は期待できないが、インタラクティブな感覚を十分体験できることが人気を集めている。また、Kinectセンサー (Microsoft社) や CCD (電荷結合素子) カメラなどを使って、身体の動きをセンシングし、ゲーム画像内に人の動きを取り込むことで、ゲームへの没入感を高めるシステムもよく使われている。

1) Wii の応用について

Wii は、2006年の発売以来、全世界規模で約1億台以上が販売されており、子供から高齢者まで幅広い年代層で遊ばれている。同じように全世界で約1億台以上が販売された PlayStation よりも Wii がリハビリテーションに受け入れられた理由は、Wii が従来の入力装置であるゲームパッドと呼ばれるジョイスティックとボタンという構成のコントローラーではなく、Wii リモコンというモーションセンサーを導入したことにある。このコントローラーによって、今まで手先の操作に熟練が必要であったゲームのコントロールが不要となり、直感的な操作によってゲームをコントロールできるようになったことが、指先が不自由な高齢者や障害者にも受け入れられたと考えられる。さらに、Wii のオプションデバイスである Wii フィットというバランスボードは、荷重センサーが内蔵されており、その上に立って運動すると人体の重心を投射した質量中心の移動が計測されることで、モーションセンサーとして機能する。この Wii フィットと Wii リモコンを組み合わせると、かなり自由度の高い運動を直感的にコントロールして遊ぶことが可能となる。

欧米では、Wii が持つこれらの利点を生かしたりハビリテーションを「Wii-habilitation」と呼び、幅広いリハビリテーションに応用されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾。特に、脳卒中のリハビリテーションについては、システムティックレビューがあり、Wii-habilitation の応用可能性や効果に関する8論文の検討結果として、脳卒中患者の介入方法として使われていくべきだと結論している¹⁰⁾。また、Esculier ら¹¹⁾ は、10名の中等度パーキンソン病患者と8名の健康な高齢者を対象として、家庭での Wii フィットを使ったトレーニングを6週間にわたり実施させて、機能的バランス能力への効果を検討した。その結果、パーキンソン病患者では、Sit-to-Stand test (STST)、Timed-Up-and-Go (TUG)、Tinetti Performance Oriented Mobility Assessment (POMA) などの機能的バランス能力や歩行能力が有意に向上しており、Wii フィットを使った家庭でのトレーニングはパーキンソン病患者の静的・動的なバランス能力とパフォーマンスを改善させる効果のあることが示唆されたと報告している。この研究では、健康な高齢者であっても、パーキンソン病患者と同様な能力の有意な改善を認めており、Wii フィットは障害の有無に関係なく高齢者の身体運動機能を向上させる効果のあると考えられる。その一方で、Gozde と Sibel¹²⁾ は、慢性期脳卒中患者30名を Wii フィットによるバランストレーニング (WBT) 群15名と従来のバランストレーニング (PBT) 群15名へと無作為に割付けた無作為比較対照試験 (RCT) を実施し、両群ともに機能的なバランス機能、バランスへの有能感、日常生活に関して有意に向上したものの、両群間での有意な差異を認めなかったと報告している。また、Dorothy らは¹³⁾、Wii フィットによる外傷例を報告しており、2年間において39例の報告を認め、その中で特に Wii スポーツテニスを原因とするものが46%を占めており、外傷の種類では手の裂傷が最も多かったと報告している。

以上のように、Wii フィットによる高齢者のリハビリテーションは、Wii-habilitation と名付けられるほど国際的に普及しているが、実施される対象者の属性、使われるゲームの種類、トレーニング時間や期間、そして評価方法の違いによって効果の有無が異なるため、十分なエビデンスが確定されていないのが現状である。また、Wii フィットの使用方法を誤ったり、過剰なトレーニングを行ったりすると外傷などの合併症を生じることが確認されており、今後はこれらの問題点を解決するための工夫が必要となるであろう。

2) Kinect センサーの応用について

Kinect センサーは、Microsoft 社が開発した深度画像センサーであり、当初は同社の Xbox360というゲーム機専用のモーションセンサーデバイスとして2010年に発売された。その後、2012年に同社の WindowsOS 上でも動作するKinect for Windowsが発売されると同時に、SDK (Software Development Kit: ソフトウェア開発キット) が公開されたことにより、このセンサーを使った多様なアプリケーションが世界中で開発されるようになった。Kinect センサーには、赤外線プロジェクターと赤外線センサーが内蔵されており、この赤外線プロジェクターから照射された赤外線パターンが物体に反射する際の歪みからその物体までの距離を計測する非接触型の生体計測機器である¹⁴⁾。Wii は、Wii フィットと Wii コントローラーという入力デバイスを介して人の運動をセンシングするのに対して、Kinect センサーは、そういった入力デバイスを全く介することなく、完全無拘束の状態での人の運動をセンシングすることを可能としたのが特徴である。

Kinect センサーは、Wii よりも自由度の高い人の運動をセンシングすることが可能であるため、単なる子供が遊ぶゲームエンターテイメント用デバイスという位置づけにとどまらず、今後はリハビリテーションや介護予防の場面で応用されていく可能性が高いと考えられている¹⁵⁾¹⁶⁾。すでに、Kinect センサーを用いた高齢者ケアと脳卒中リハビリテーションに関するシステムティックレビューが報告されている¹⁷⁾。これらの論文では、高齢者ケアに関して、転倒の検出 (6 論文) と転倒リスクの軽減 (4 論文) に使われた事例とゲームによる心身機能の活性化 (15 論文) に使われた事例について検討されていた。転倒の検出や転倒リスクの軽減については、各研究者が独自の計測方法とアルゴリズムを開発しており、98%といった高い精度で転倒を検出できるレベルまでに達していたが、Kinect センサーの測定範囲や部屋の環境によって、検出精度に影響を及ぼすことと転倒リスクを軽減させるための有効な支援方法が課題として挙げられていた。また、心身機能の活性化については、未だ良質な RCT 論文が不足しているために結論付けることはできないが、大部分の論文では高齢者の体力やバランス機能を高めるとともに、QOL (生活の質) を改善させる効果も報告されていた。

筆者らは、2015年にソフト開発企業である株式会社考道館 (代表: 井上悦治) と共同で、Kinect センサーを用いた高齢者向けの VR システム「キネリハシステム」(以下: キネリハ) を開発し、実際に高齢者を対象としたパイロット研究を実施した (図1) ¹⁸⁾¹⁹⁾。キネリハには、「風船割り」、「動物追いつき」、「リフティング」、「ブロック崩し」、「カルタ取り」、「追いかけて」といった合計 6 種類のゲームが含まれており、手や足を使ってモニター画面上の VR 空間に現れる風船などのアイテムを手足で触れることで、風船が割れるなどのアクションが生じるといったインタラクティブな VR ゲームとなっていた。また、ゲームの時間や難易度を自由に設定することが可能であり、対象者の能力に合わせたゲームを選択できるようになって



図1 Kinect センサーを用いた高齢者のリハビリテーション場面

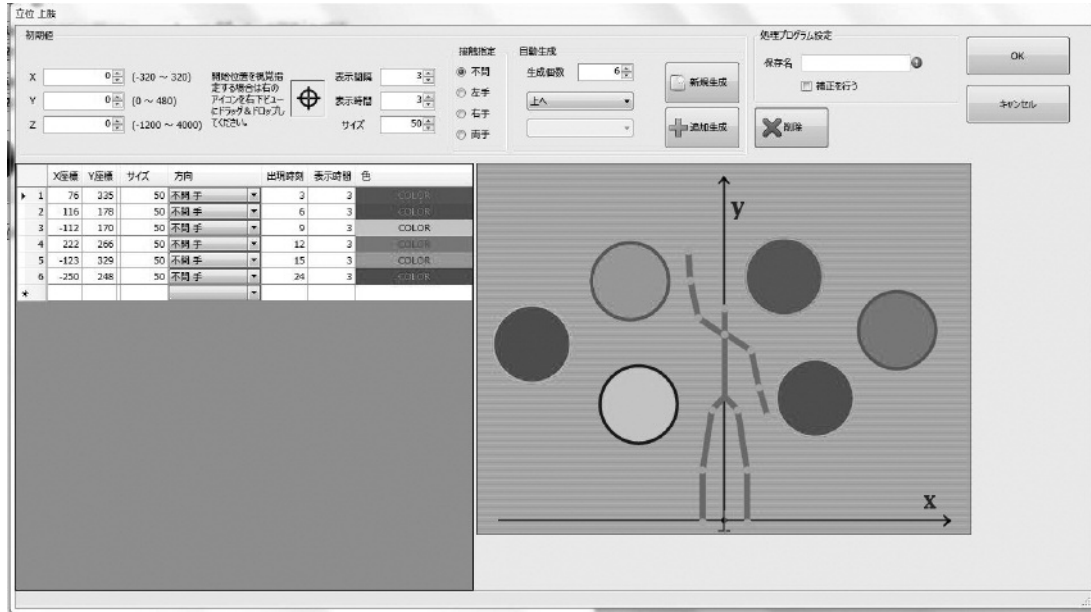


図2 開発したキネリハのトレーニング設定画面
対象者に合わせて風船の位置・数・頻度など難易度を設定することが可能

いた (図2)。キネリハの効果検証は、クリニック併設のデイケアに週2回以上通う虚弱高齢者23名 (平均年齢78.1歳) を対象として、キネリハを使ったトレーニングを週2回以上4週間実施した。その結果、4週間実施前後の10m歩行には有意な変化が認められなかったものの、TUG や5 Step Test といった機能的なバランス能力が有意に改善していた。本研究は、RCT ではなく、非対照群設定の介入研究ではあったが、パイロット研究としてキネリハに高齢者の身体機能を改善させる効果のあることが示唆された。また、同様な研究は、Lee²⁰⁾ が1日1時間を毎日連続で6週間とかなり長期にわたり集中的に実施しており、この研究の結果では上肢筋力と日常生活動作機能が有意に改善したと報告されていた。

このように、Kinect センサーを用いた高齢者に対するリハビリテーションは、RCT による効果検証が十分に行われているわけではないが、高齢者の運動機能やバランス機能を改善させる効果が期待できると考えられる。また、Kinect センサーは無拘束で操作が可能であるため、Wii のような入力デバイスによる事故例の報告もなく、安全に実施できるリハビリテーションツールとして今後も活用されていくであろう。

IV. まとめ

本論文では、VR の定義と特徴を解説した上で、主に Wii と Kinect センサーを用いた高齢者リハビリテーションへの応用に関する国内外の現状と課題を文献的に考察した。これまでは機器自体が安価で世界的に普及していることとゲームアプリケーションが豊富である Wii と Kinect センサーを用いた VR トレーニングが一般的ではあったが、これらは主に液晶テレビやプロジェクターを使用しているためマイルドな VR と位置づけられる。未だ Wii と Kinect センサーを用いたトレーニングが高齢者の心身機能に及ぼす効果に関しては不明な部分も多いが、限られた空間に拘束されたトレーニングからは解放され、マイルドであっても VR 空間の中で課



図3 VR 技術を用いたリハビリテーションの応用可能性

題指向型トレーニングが可能となったことは、リハビリテーションの可能性を大きく拡大したのは間違いない。「VR元年」である2016年を境にして、今後は本格的なVRであるゴーグル型のHMDが普及することにより、「3次元の空間性」、「実時間の相互作用性」、「自己投射性」といったVR環境の三要素が成立し、高齢者のリハビリテーションに大きな革命が起こるのであろう。Plante²¹⁾が指摘しているように、VRがもたらす効果はリアルな没入感によるトレーニングへの注意集中とモチベーションの増強という要素が極めて大きいと考えられる。近年、認知症をはじめとする高齢者の認知機能に対する関心が高まっており、VRを用いたリハビリテーションは心身機能だけでなく、脳機能の改善効果も大きいと考えられ、さらなる応用可能性が期待できるであろう(図3)²²⁾。

文献

- 1) 岩井信彦, 山下和樹, 他: 回復期脳卒中および大腿骨頸部骨折患者のいわゆる「できるADL」と「しているADL」-FIM運動項目の得点差の特徴-. 理学療法学 42(1): 58-64, 2015
- 2) 宮井一郎: 脳卒中リハビリテーション最前線. 神経治療 33(3): 389-393, 2016
- 3) 潮見泰藏: 課題指向型トレーニングの考え方. 理学療法学 42(suppl-3): 68, 2014
- 4) Park J, Yim J: A new approach to improve cognition, muscle strength, and postural balance in community-dwelling elderly with a 3-D virtual reality kayak program. Tohoku J Exp Med, 238 (1), 2016,1-8
- 5) 舘 暲, 佐藤 誠, 廣瀬 通孝 (監修): バーチャルリアリティ学. 日本バーチャルリアリティ学会, 2010, 2-9
- 6) 西池季隆: Virtual Realityと平衡失調. Equilibrium Res 62(3): 268-269, 2003
- 7) Farrell L: Wii rehabilitation. British Medical Journal (Online); London338 (Mar 25), 2009
- 8) Daniel P, Keith W: Wii-habilitation: Is there a role in trauma? Injury 41(9): 883-885, 2010
- 9) Diny GMW, Anke IRK, et al: Wii™-habilitation of upper extremity function in children with Cerebral Palsy. An explorative study. Developmental Neurorehabilitation 16(1):44-51, 2013
- 10) Mullika S, Jagkapong P, Wantanee P: Wii-habilitation in stroke patients: a systematic review. i-CREAtE '12 Proceedings of the 6th International Conference on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology Article No. 33, 2012
- 11) Esculier JF, Vaudrin, J, et al: Home-Based Balance Training Programme Using Wii Fit with Balance Board for Parkinson's Disease: A Pilot Study. Journal of Rehabilitation Medicine 44(2): 144-150, 2012
- 12) Gozde IY, Sibel AY: Wii Fit balance training or progressive balance training in patients with chronic stroke: a randomised controlled trial. Journal of Physical Therapy Science 27 (4): 1145-1151, 2015
- 13) Dorothy S, Daniel C, Lisa C: Wii have a problem: a review of self-reported Wii related injuries. Inform Prim Care 17:55-57, 2009
- 14) 西林 孝, 小野憲史: キネクトハッカーズマニュアル. ラトルズ, 東京, 2011, pp10-20
- 15) Belinda L, Chien-Yen C, et al: Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the microsoft kinect sensor. Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE, 2011
- 16) Belinda L, Sebastian K, et al: Interactive game-based rehabilitation using the Microsoft Kinect. Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW), 2012 IEEE, 2012
- 17) David W, Ozkan C: Systematic review of Kinect applications in elderly care and stroke rehabilitation.

Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 11:108, OpenAccess, 2014

- 18) 小貫睦巳, 有田元英, 井上悦治, 辻下守弘 : 生体センシング技術を使った仮想現実によるゲームが 高齢者の運動機能に及ぼす影響について. 理学療法科学 30(6) : 811- 815, 2015
- 19) 小貫睦巳, 有田元英, 井上悦治, 辻下守弘 : KinectTMセンサーを使った仮想環境が高齢者の運動機能に及ぼす影響について. バイオフィードバック研究 42(1) : 57-62, 2015
- 20) Lee G : Effects of Training Using Video Games on the Muscle Strength, Muscle Tone, and Activities of Daily Living of Chronic Stroke Patients. Journal of Physical Therapy Science 25(5): 595 – 597, 2013
- 21) Plante T, Aldridge A, Bogdan R, Hanelin C : Might virtual reality promote the mood benefits of exercise? Journal of Community Psychology 19 : 495 – 509, 2003
- 22) Pedro G, Jorge O, et al : Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. Journal of Disability and Rehabilitation 39: 385-388, 2017