

Tinjauan Kepustakaan

Teknologi Imersif *Virtual Reality* untuk Neurorestorasi Anggota Gerak Atas Stroke

Immersive Virtual Reality Technology in Neurorestoration of the Upper Extremity After Stroke

Hendry Gunawan¹, Irene Gunawan²

¹Departemen Neurologi FK UGJ dan RSUD Waled, Cirebon, Jawa Barat, Indonesia

²Departemen Ilmu Penyakit Dalam FK UGJ Cirebon, Jawa Barat, Indonesia

Korespondensi ditujukan kepada Hendry Gunawan; drhendrygunawansps2020@gmail.com

Editor Akademik: Prof. Dr. dr. Kiking Ritarwan, Sp.N(K), MKT

Hak Cipta © 2022 Hendry Gunawan dkk. Ini adalah artikel akses terbuka yang didistribusikan di bawah Creative Commons Attribution License, yang mengizinkan penggunaan, distribusi, dan reproduksi tanpa batas dalam media apa pun, asalkan karya aslinya dikutip dengan benar.

ABSTRACT

Stroke is leading cause of disability in Indonesia. Approximately 80% of stroke patients experience disabilities in their upper extremities. In recent years, immersive Virtual Reality (VR) technology has been used as a promising modality for neurorestoration. The use of VR itself provides advantages inpatient neurorestoration because it can create an environmental state that matches daily activities under safe conditions. VR-based neurorestoration can induce neuroplasticity, Mirror-Neuron System (MNS) and Brain Reward System, leading to contrasted improvements in the upper extremity after stroke. In addition, the use of VR can also be integrated with motor training, so that several types of exercises can be done simultaneously together. Nevertheless, trials using VR in neurorestoration of post-stroke patients are currently limited. This review prompts systematic understanding of the mechanisms of VR-based stroke neurorestoration and summarizes the emerging evidence for ongoing innovation of VR systems and application in stroke neurorestoration.

Keywords: neurorestoration, stroke, upper extremity, virtual reality

ABSTRAK

Stroke adalah penyakit penyebab kecacatan utama di Indonesia. Sekitar 80% penderita stroke mengalami kecacatan pada ekstremitas atas. Dewasa ini, teknologi imersif *Virtual Reality* (VR) telah dipakai sebagai modalitas neurorestorasi yang menjanjikan. Kegunaan VR pada pasien neurorestorasi dapat membantu membuat lingkungan yang disimulasikan pada aktivitas hidup sehari-hari. VR Neurorestorasi dapat meningkatkan neuroplastisitas, *Mirror Neuron System* (MNS), dan *Brain Reward System*, untuk memperbaiki kelemahan anggota gerak atas stroke. Selain itu VR dapat diintegrasikan dengan latihan motorik, sehingga neurorestorasi motorik dapat dilakukan secara bersama-sama. Penelitian VR Neurorestorasi pada pasien stroke masih sangat terbatas. Tinjauan ini akan membahas mekanisme VR Neurorestorasi dan merangkum literatur inovasi teknologi VR Neurorestorasi dan aplikasi pada neurorestorasi stroke.

Kata Kunci: ekstremitas atas, neurorestorasi, stroke *virtual reality*

1. Pendahuluan

Stroke adalah penyakit penyebab utama kematian dan kecacatan di dunia.^[1,2] Sekitar 80% penderita stroke mengalami kecacatan pada ekstremitas atas, termasuk tangan, lengan dan pergelangan tangan, sehingga harus bergantung penuh pada orang lain. Hal ini dapat menyebabkan kecacatan seumur hidup.^[3,4] Pendekatan modalitas neurorestorasi yang baik dan komprehensif sangat dibutuhkan untuk mengurangi angka kecacatan akibat stroke. Modalitas neurorestorasi saat ini sangat berkembang, mulai dari modalitas konvensional dan menggunakan teknologi neurorestorasi yang tercanggih seperti *Virtual Reality* (VR) dan *Brain Computer Interface* (BCI).^[5,6]

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi VR telah muncul sebagai modalitas yang menjanjikan pada penderita stroke. VR telah terbukti meningkatkan fungsi anggota gerak atas bila

digunakan bersama-sama terapi konvensional. VR merupakan salah satu teknologi neurorestorasi yang dapat dilakukan lebih menyenangkan dan dapat meningkatkan kepatuhan. Beberapa penelitian telah merekomendasikan VR sebagai modalitas teknologi neurorestorasi terkini untuk membantu pemulihan anggota gerak atas pada penderita stroke.^[7-9]

2. Pembahasan

Neurorestorasi Pada Stroke

Konsep Neurorestorasi pada penyakit neurologi sangatlah penting. Pada tahun 2009 dikeluarkan definisi tentang Neurorestorasi yaitu suatu pendekatan disiplin ilmu neurosains yang baru untuk memperbaiki, mengembangkan dan menjaga integritas hilangnya fungsi dan struktur saraf yang terganggu.^[10] Neurorestorasi pada stroke sangatlah penting untuk meningkatkan

kualitas hidup penderita. Pendekatan neurorestorasi ini sangat penting sehingga kecacatan akibat stroke dapat dikurangi dan dapat membantu penderita stroke dan keluarganya.^[11]

Modalitas Anggota Gerak Atas Stroke

Penelitian modalitas neurorestorasi anggota gerak atas pada penderita stroke telah banyak dilakukan. Pada tahun 2021, dilakukan penelitian meta analisis terhadap neurorestorasi non konvensional pada penderita stroke dengan defisit neurologis pada tangan. Kemajuan neurorestorasi maksimal setelah 3 bulan paska stroke dan stabil pada 6 bulan. Pada penelitian tersebut didapatkan modalitas neurorestorasi yang efektif jika dibandingkan dengan rehabilitasi konvensional adalah *modified constraint induced movement therapy*, *high frequency repetitive transcranial magnetic stimulation*, *mental imagery*, *bilateral arm training*, *intermittent theta-burst stimulation*, *cathodal transcranial direct current stimulation*, *action observation*, *low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation*, *mirror therapy*, *neuromuscular electrical stimulation*, dan VR.^[12]

Teknologi VR

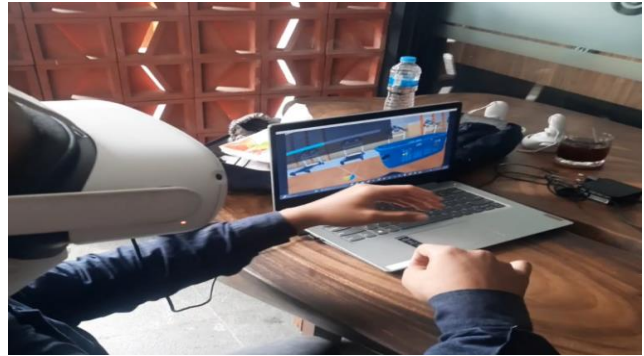
Teknologi VR banyak dikaitkan dengan bidang hiburan dan permainan. Namun pada saat ini pemanfaatan VR juga banyak digunakan pada bidang pendidikan, kedokteran dan industri. VR adalah sebuah teknologi yang membuat pengguna dapat berinteraksi dengan lingkungan yang ada dalam dunia maya yang disimulasikan oleh komputer, sehingga pengguna merasa benar-benar berada di dalam lingkungan tersebut. Menurut *American Libraries Association (ALA)*, VR merupakan simulasi gambar atau seluruh lingkungan yang dihasilkan komputer yang dapat dialami menggunakan peralatan elektronik khusus, yang memungkinkan penggunaanya “hadir” di lingkungan alternatif seperti di dunia nyata terhadap objek dan informasi virtual tiga dimensi (3D) dengan data tambahan seperti grafik atau suara.^[13,14]

Beberapa jenis kategori VR berbeda dalam tingkat kedalaman emosi dan juga aplikasi VR yang digunakan berdasarkan pengalaman dari pengguna. Imersif VR adalah teknologi yang menggunakan perangkat keras seperti tampilan yang dipasang di kepala dan penggunaan pendeteksi gerakan untuk menstimulasi semua indra pengguna. Dengan kondisi seperti ini, pengguna mampu diberikan pengalaman yang realistis dengan menampilkan bidang pandang lebih luas, kecepatan dan tingkat kontras yang lebih tinggi ke dalam tampilan.^[13,15]

Kondisi imersi VR dapat dicapai dengan memadukan 3 elemen, perangkat keras/*hardware*, perangkat lunak/*software* dan organ serta saraf sensorik. *Head-mounted display (HMD)* merupakan perangkat keras memanfaatkan output visual, auditorik serta sensor gerak untuk memaksimalkan pengalaman sensorik pengguna pada lingkungan virtual yang tercipta. *Trackpads*, *joystick*, *treadmill*, dan *tracker* yang dipasang pada pakaian dapat memberikan sensasi bergerak secara real time. Perangkat lunak berperan dalam pemrosesan input/output *real-time*, rendering, simulasi, dan akses ke *database* dunia di mana lingkungan didefinisikan.^[14,16]

VR Neurorestorasi Anggota Gerak Atas

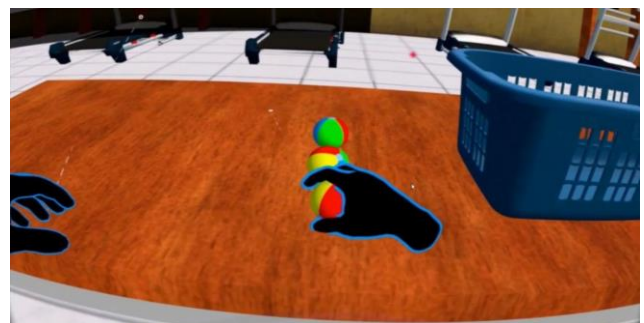
VR dapat memberikan hasil yang baik untuk penderita stroke. Pertama VR memungkinkan terapis untuk dapat memberikan latihan berulang-ulang dan mengontrol lingkungan yang diciptakan dalam dunia maya dibandingkan dalam kehidupan nyata. Kedua, penggunaan VR memungkinkan kegiatan rehabilitasi bisa dilakukan di rumah sakit dan tempat lain sehingga tugas-tugas yang diberikan dalam lingkungan maya dapat dilakukan dengan baik. Ketiga, VR lebih murah dan efisien dalam melakukan intervensi rehabilitasi. VR dapat bermanfaat untuk memperbaiki aktivitas fungsional lengan atas, keseimbangan dan gait, nyeri phantom, kognisi, dan memperbaiki gejala neuropsikiatri. Selain itu, penderita stroke bisa dilatih untuk mempraktikkan tugas virtual secara mandiri sehingga target terapi *Activities Daily Living (ADL)* menjadi lebih baik.^[16-18]



Gambar 1. Penderita Stroke menggunakan VR untuk Neurorestorasi Ekstremitas Atas

Disfungsi motorik pada anggota gerak atas adalah gangguan yang paling sering dialami penderita stroke. Untuk menghasilkan perbaikan fungsional motorik yang maksimal dibutuhkan latihan jangka panjang, berulang, melakukan tugas spesifik tertentu, memotivasi penderita dan secara terus-menerus. VR dapat digunakan untuk melakukan serangkaian latihan, di mana penderita dapat bergerak dan menerima umpan balik visual dari gerakan yang dilakukan. Umpan balik sensorimotor ini dapat dilakukan dengan VR. VR dapat menggabungkan mekanisme resonansi umpan balik sensorimotor, kognitif, *mirror-therapy*, dan observasi kegiatan motorik. Hal ini dapat meningkatkan aktivasi kortikal ipsi-lesi.^[19,20] Teknologi VR dapat memberikan pengalaman sensorik berupa cahaya, pendengaran dan sentuhan sehingga memberikan umpan balik pada motorik. Selain itu VR dapat meningkatkan motivasi penderita karena menyenangkan, memberikan pengalaman unik pada penderita dan memfasilitasi pemulihan fungsional dengan melibatkan saraf yang tepat pada sirkuit dalam sistem motorik.^[20,21]

Latihan neurorestorasi VR dilakukan dengan melakukan tugas spesifik tertentu untuk melatih gerakan pada ekstremitas atasnya. Tugas-tugas tersebut mulai dari menyentuh bola, mengambil bola dengan tangan dan memasukkan dalam keranjang, sampai dengan tugas yang lebih rumit yaitu mengambil balok dan mendirikan balok tersebut untuk melatih gerakan motorik halus.^[21,22]



Gambar 2. Tugas spesifik VR untuk mengambil bola dengan *Hand Tracking*

Mekanisme VR Neurorestorasi

Pada penelitian Gustavo Sasponik, ditemukan 3 mekanisme VR pada neurorestorasi otak manusia yaitu meningkatkan neuroplastisitas, mengaktifkan *Mirror Neuron System (MNS)* dan *Brain Reward System*.^[23] Mekanisme cara kerja VR inilah yang menyebabkan VR menjadi salah satu modalitas neurorestorasi pada stroke terkini untuk meningkatkan fungsional motorik anggota gerak atas.^[24]

VR dapat meningkatkan neuroplastisitas pada otak. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya koneksi sel saraf sehingga kemampuan proses belajar oleh otak meningkat pada beberapa penelitian. Penggunaan VR selama 20-60 menit, 3-5x/minggu, dalam rentang waktu 2-3 minggu, dapat meningkatkan neuroplastisitas otak.^[24]

Selain itu, itu, VR juga dapat meningkatkan mekanisme *Mirror Neuron System (MNS)* di otak. MNS akan bekerja di otak, ketika seseorang melakukan suatu kegiatan dan melihat orang lain melakukan kegiatan tersebut, Pengamatan sederhana gerakan tangan, kaki dan mulut, dapat mengaktifkan daerah spesifik yang sama dari kortek motorik, seolah-olah pengamat melakukan gerakan yang sama. Penggunaan VR dapat memberikan manfaat pada neurorestorasi dengan memberikan stimulus MNS.^[24-25]

VR dapat memperbaiki perilaku penderita gangguan neurologis agar lebih termotivasi untuk melakukan latihan neurorestorasi dengan mekanisme *Brain Reward System*. VR dapat mendorong perubahan perilaku tersebut dengan memanfaatkan cara otak belajar dan fungsi *Brain Reward System*. *Brain Reward System* adalah proses alami di mana otak mengasosiasikan beragam rangsangan (substansi, situasi, peristiwa, atau aktivitas) dengan hasil yang positif atau diinginkan. Ini menghasilkan penyesuaian perilaku individu, yang pada akhirnya mengarahkan mereka untuk mencari stimulus positif tertentu. Ketika *Brain Reward System* bekerja, otak merespons dengan meningkatkan pelepasan neurotransmitter dopamin. Jalur dopamin mesolimbik dianggap memainkan peran utama dalam *Brain Reward System*.^[25]

Penelitian dan Guideline

Efektivitas penggunaan VR neurorestorasi terutama untuk anggota gerak atas paska stroke, sudah banyak digunakan. *American Heart Association/American Stroke Association (AHA/ASA)* telah memasukkan VR sebagai modalitas neurorestorasi untuk penderita stroke dalam “*Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery*”. Berdasarkan Guideline AHA/ASA VR memiliki rekomendasi Kelas IIa dengan *Level Evidence B* untuk dipakai penderita stroke dengan kelemahan anggota gerak atas. Rekomendasi *Canadian Stroke Best Practice* untuk Rehabilitasi dan *Recovery Stroke* tahun 2019 juga telah dikeluarkan. VR merupakan modalitas neurorestorasi untuk penderita stroke. Keunggulan penggunaan VR pada neurorestorasi stroke adalah keterlibatan aktif penderita, umpan balik, pengulangan, intensitas dan berorientasi pada tugas tertentu (Rekomendasi *Evidence Level A*).^[26,27]

Penelitian VR Neurorestorasi pada penderita stroke yang mengalami kelemahan anggota gerak atas, telah banyak dilakukan. Teknologi VR merupakan salah satu modalitas neurorestorasi yang menjanjikan karena dapat membantu penderita stroke dan meningkatkan *outcome* neurorestorasinya. Berikut ini beberapa penelitian VR Neurorestorasi pada penderita stroke.

Tabel 1. Penelitian VR Neurorestorasi pada Penderita Stroke.^[26-29]

Penulis (Tahun)	Judul	Jenis Studi	Populasi	Hasil
Lee, Kimand Lee, (2016)	<i>Effect of Virtual Reality-based Bilateral Upper Extremity Training on Upper Extremity Function after Stroke: A Randomized Controlled Clinical Trial</i>	<i>Randomized Controlled Trial</i>	n=18 → Stroke akutrawat inap waktu: 1 bulan	Peningkatan signifikan pada fungsi dan kekuatan ekstremitas atas kelompok <i>Virtual Reality-Based Bilateral Upper Extremity Training (VRBT)</i> dibanding kelompok <i>Bilateral Upper Limb Training (BT)</i> setelah 6 minggu (p<0.05).
Aşkın et al., (2018)	<i>Effects of Kinect-based virtual reality game training on upper extremity motor recovery in chronic stroke</i>	<i>Randomized Controlled Trial</i>	n=38 → stroke kronis usia: 34-72 tahun. •27 laki-laki •11 perempuan Waktu: 4 minggu	Kinect-based VR game training dilakukan 1 jam/hari, 5 hari/minggu, selama 4 minggu. Didapatkan peningkatan signifikan pada fungsi motorik dalam semua hasil klinis kecuali <i>Brunnstrom Recovery Stages (BRS)</i> , <i>Modified Ashworth Scale (MAS-distal)</i> , dan <i>MAS</i> pada tangan (p<0.05).
Park et al., (2019)	<i>Effects of virtual reality-based planar motion exercises on upper extremity function, range of motion, and health-related quality of life: a multicenter, single-blinded, randomized, controlled pilot study</i>	<i>Randomized Controlled Trial</i>	n=26 → Stroke (Kelompok intervensi=13, Kelompok kontrol=13) Waktu: 1 bulan	Intervensi VR-based planar motion exercise selama 1 bulan. Peningkatan signifikan hasil <i>Fungsional Fugl-Meyer Assessment (FMA)</i> , <i>Wolf Motor Function Test (WMFT)</i> , dan <i>Modified Barthel Index (MBI)</i> pada kelompok intervensi dan kontrol (p < 0.05). <i>Active Range Of Motion (AROM)</i> meningkat pada kelompok intervensi terutama abduksi bahu dan rotasi internal (p = 0.038).
Shin et al., (2016)	<i>Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-blinded, randomized controlled trial</i>	<i>Randomized Controlled Trial</i>	n=46 → Stroke (Kelompok intervensi=23, Kelompok kontrol=23) Waktu: 1 bulan	Peningkatan skor <i>Fugl-Meyer Assessment (FM-total (P=0.006), FM- prox (P=0.007), dan FM-dist (P = 0.024))</i> , <i>Jebsen-Taylor Hand Function Test (JTT-total (P=0.032) dan JTT-gross (P=0.025))</i> , signifikan pada kelompok intervensi setelah 1 bulan. Tidak ada perbedaan signifikan pada <i>Stroke Impact Scale SIS</i> (komposit dan keseluruhan <i>SIS</i> , <i>SIS-partisipasi sosial</i> , dan <i>SIS- mobilitas</i>) (P=0.889).

Penelitian Cochrane yang telah dilakukan pada 37 penelitian yang melibatkan 1019 partisipan, memberikan hasil bahwa VR merupakan modalitas neurorestorasi yang secara statistik bermanfaat meningkatkan fungsional motorik anggota gerak atas pada penderita stroke. Sementara itu penelitian metaanalisis untuk menilai efektivitas VR untuk penderita stroke juga telah dilakukan. Hasil penelitian tersebut adalah VR merupakan teknologi baru dan sangat potensial untuk dikombinasikan dengan rehabilitasi konvensional untuk memperbaiki fungsi motorik anggota gerak atas pada penderita stroke.^[28-30]

3. Kesimpulan

Stroke adalah penyakit penyebab kecacatan utama di Indonesia. Sekitar 80% penderita stroke mengalami kecacatan pada anggota gerak atas, termasuk tangan, lengan dan pergelangan tangan, sehingga harus bergantung penuh pada orang lain. Untuk mengurangi kecacatan pada anggota gerak atas akibat stroke dan memperbaiki kualitas hidup penderita, diperlukan pendekatan teknologi neurorestorasi terkini. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi VR telah muncul sebagai modalitas yang menjanjikan

pada penderita stroke. VR merupakan salah satu teknologi neurorestorasi yang dapat dilakukan lebih menyenangkan dan dapat meningkatkan kepatuhan. VR dapat meningkatkan *Brain Reward System* dan meningkatkan plastisitas otak. Penelitian VR Neurorestorasi pada penderita stroke yang mengalami kelemahan anggota gerak atas, telah banyak dilakukan. Teknologi VR merupakan salah satu modalitas neurorestorasi yang menjanjikan karena dapat membantu penderita stroke dan meningkatkan *outcome* neurorestorasi, terutama pada anggota gerak atas.

4. Daftar Pustaka

- [1] World Health Organization. The top 10 cause of death; 2014.
- [2] Parmar P, Krisnamurthi R, Ikram M A, Hofman A, Mirza S, dkk. The Stroke Riskometer™ App: Validation of a data collection and stroke risk predictor. *International Journal of Stroke*. 2015;10(2):231-44.
- [3] Buma F, Kwakkel G. Understanding upper limb recovery after stroke. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2013; 31(6): 707-22.
- [4] Coupar, F. Predictor of upper limb recovery after stroke: a systemic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*. 2011; 26(4): 291-313.
- [5] Hatem SM; Saussez G, dkk. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Frontiers in human neuroscience*. 2016; 10(442).
- [6] Salvalaggio S; Cacciante L; Maistrello L, dkk. Clinical predictors for upper limb recovery stroke rehabilitation: retrospective cohort study. *Healthcare (Basel)*. 2023;11(3),335.doi: 10.3390/healthcare11030335.
- [7] Juan MC. Immersive virtual reality for upper limb rehabilitation: comparing hand and controller interaction. *Virtual Reality*. 2023; 27(3):1157-1171
- [8] Laver KE, George S, Thomas S, dkk. Virtual reality for stroke rehabilitation (review). *Cochrane database of systemic reviews*. The Cochrane Collaboration: JohnWiley& Sons. 2015
- [9] Herreva V, Vallejo D. Rehab-Immersive: a framework to support the development of virtual reality applications in upper limb rehabilitation. *SoftwareX*. 2023; 23(3):75-80.
- [10] International Association of neurorestoratology. Beijing Declaration of International Association of Neurorestoratology (IANR). *Cell Transplant*. 2009; 18(487)
- [11] Widjaja H, Putra IBK. Neurorestorasi pasca stroke: harapan baru penderita stroke. *Cermin Dunia Kedokteran*. 2009; 42(04)
- [12] Saikaley M, Pauli G, Sun H. Network meta-analysis of non conventional therapies for upper limb motor impairment poststroke. *Stroke*. 2022; 53(12).
- [13] Gunawan H, Herlambang PM. *Neurologi 4.0. Neurokomunitas: perspektif integrative dari dua sudut pandang*. Unpad Press. 2019.
- [14] Herlambang PM, Aryoseto L. Potensi virtual reality berbasis smartphone sebagai media belajar mahasiswa kedokteran. *Cermin Dunia Kedokteran*. 2016; 43(6): 412-5.
- [15] Jamil M. Pemanfaatan teknologi virtual reality (VR) di perpustakaan. *Buletin Perpustakaan Universitas Islam Indonesia*. 2018; 1(1): 99-113
- [16] Arif S.A, Gunawan H, Herlambang PM. Peluang penerapan teknologi virtual reality pada bidang neurologi. *Seminar Nasional Informatika Medis (SNIMed)*. 2019.
- [17] Luca RD, Manuli A, Domenico CD, dkk. Improving neuropsychiatric symptoms following stroke using virtual reality: a case report. *Journal of Medicine*. 2019; 98(12): 19-23
- [18] Vourvopoulos A. Efficacy and brain imaging correlates of an immersive BCI-driven vr system for upper limb motor rehabilitation: a clinical case report. *Frontiers Hum Neuroscience*. 2019; 13(6); 479-86
- [19] Sip P, Kozłowska M. Perspective of motor functional upper extremity recovery with the use immersive virtual reality in stroke patients. *Sensors*. 2023; 135(147): 60-545
- [20] Thielbar K. Home based upper extremity stroke therapy using a multiuser virtual reality environment: a randomized trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2019; 101(2); 402-54
- [21] Wong Seok Kim. Clinical application of virtual reality for upper motor rehabilitation in stroke: a review of technologies and clinical evidence. *Journal of Clinical Medicine*. 2020; 9(10): 3369
- [22] Erhardsson M, Murphy MA. Commercial head-mounted display virtual reality for upper extremity rehabilitation in chronic stroke: a single case design study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2020; 17; 154-9
- [23] Saposnik G. Effectiveness of virtual reality exercises in stroke rehabilitation (EVREST): rationale, design, and protocol of a pilot randomized clinical trial assessing the wii gaming system. *Journal Compilation and 2010 World Stroke Organization International Journal of Stroke*. 2010; 5(9): 47-51.
- [24] Daniel PM, Melanie BA, Andrea S, dkk. Virtual Reality as a vehicle to empower motor-cognitive neurorehabilitation. *Journal Frontiers in Psychology*. 2014; 43(5); 21-8
- [25] Patrice L, Weiss T, Tirosh E, dkk. Role of virtual reality for cerebral palsy management. *Journal of Child Neurology*. 2014; 23(4): 234-7
- [26] Winstein CJ. Guideline for adult stroke rehabilitation and recovery a guideline for healthcare professionals from the American heart association/American stroke association. *Stroke*. 2016; 9(10): 3369
- [27] Teasell R. Canadian stroke best practice recommendations: rehabilitation, recovery and community participation following stroke. 2019
- [28] Laver KE, George S, Thomas S, dkk. Virtual reality for stroke rehabilitation (review). *Cochrane database of systemic reviews*. The Cochrane Collaboration: JohnWiley&Sons. 2015.
- [29] Saposnik G. Virtual Reality in stroke rehabilitation: A metanalysis and implications for clinicians. *Stroke*. 2011; 42(5); 1380-6
- [30] Marcos DP, Chevalley O, Serino A, dkk. Increasing upper limb training in chronic stroke using embodied virtual reality: a pilot study. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*. 2017; 14:119