



가상현실을 이용한 뇌졸중 재활

김 덕 용* · 박 종 범 | 연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

Virtual reality based stroke rehabilitation

Deog Young Kim, MD* · Jong Bum Park, MD

Department Rehabilitation Medicine and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

*Corresponding author: Deog Young Kim, E-mail: kimdy@yuhs.ac.kr

Received December 26, 2012 · Accepted January 10, 2013

Virtual reality (VR) is defined as an approach to user-computer interface that involves real-time simulation of an environment, scenario, or activity that allows for user interaction via multiple sensory channels. In recent years, virtual reality has grown immensely with rapid advancement of VR technologies in the field of stroke rehabilitation. In this paper, current VR applications to the field of rehabilitation are reviewed. In the field of stroke rehabilitation, many clinical trials related to VR-based assessment and treatment have been performed to assess and treat arm dysfunction, walking ability, visuospatial problems, cognitive dysfunction, etc. Among them, VR is beneficial in improving arm function when compared with conventional therapy with limited evidence. Whether VR improves walking, visuospatial problems, or cognitive function has not been well established yet. However, VR can simulate the real environment without the risks arising from errors, and can also give a sense of immersion in the simulated environment and a concomitant feeling of 'presence'. Moreover, VR provides the motivation of gaming factors. With these advantages, VR will be one of the major advanced technologies for assessment and managing post-stroke dysfunction in the future.

Keywords: Virtual reality; Stroke; Rehabilitation

서 론

가상현실(virtual reality)이란 용어는 1989년 미국의 Jarson Lanier가 처음으로 사용하기 시작하면서 현재 대중에 널리 알려진 기술로, 가상현실은 '컴퓨터가 만들어낸 감각몰입이 이루어지는 가상세계에서 이용자가 실시간으로 상호작용을 할 수 있는 인간-컴퓨터 인터페이스'라고 정의할 수 있다[1]. 정의에서 보여주듯이 가상현실은 감각몰입, 상호작용, 자율성이 기본 3대 요소로 기존의 컴퓨터 화면과는 달리 사용자의 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각, 체성감각 등의 특정 감각이 가상현실 시스템으로의 몰입을 유도하고, 사용자의 의도대로 조절할 수 있고, 반대로 가상환경이 사용자

에게 피드백을 줄 수 있으며, 마지막으로 가상환경에서 자율적으로 작동하는 자율성을 갖고 있다.

이러한 환상적이고, 유연한 가상현실의 특성과 시간이 흐르면서 소프트웨어의 발달뿐만 아니라 컴퓨터, 디스플레이 장치 등의 하드웨어의 급속한 발달로 인해 가상현실은 현재 새로운 건축물 및 제품의 설계, 고대도시의 복원, 전투 시뮬레이션, 항공기 조종 훈련, 자동차 운전 훈련, 로봇의 원격제어 훈련, 가상 옷 입어보기, 가상현실 게임 등에 이용되고 있으며, 그 외에도 통신, 유통, 의료 등 다양한 분야에 널리 이용되고 있다.

의료에 있어서는 제일 먼저 가상현실 기술이 도입된 것은 군사의료 분야이다. 전쟁 중에 발생하는 위급한 상황에 대

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

처하기 위한 방안으로 시작되어 민간의료 분야로 확대되었으며, 인간을 3차원 데이터로 정확하게 표현하려는 노력을 통해 의학교육, 수술, 실습, 진단 및 치료 분야에서의 새로운 연구를 가능하게 하였다. 또한 시각, 청각, 촉각으로 현실감을 더욱 높이는 기술의 발달로 인해 보다 다양한 의료 시뮬레이션도 가능해졌다. 이를 기반으로 의학에서는 가상현실은 수술 시뮬레이션, 가상내시경 분야가 가장 먼저 발달하였다. 그 밖에도 1990대 중반부터 가상현실은 특히 정신과학 및 재활 분야 등에 도입되어 연구되기 시작하였다. 이는 가상현실 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어가 발달하여 가상환경이 인공적임에도 불구하고, 다양한 감각정보를 이용자들에게 제공하고, 상당한 현실감을 줄 수 있게 되었고, 가상현실이 보편화되는 외부환경의 변화뿐만 아니라, 기존 재활 치료가 제한된 환경에서 제한된 치료사에 의해 수행되는 한계를 극복하고 다양한 가상환경에서 정확히 평가하고, 동일한 조건에서 지속적으로 치료를 시행할 수 있다는 가상현실의 장점을 이용하여 새로운 첨단기술을 재활에 접목해 보고자 하는 시도로부터 시작되어[2], 분야에 있어 임상에 적용할만한 새로운 기법으로 각광받고 있다[3]. 현재 뇌졸중 재활, 척수손상 재활, 뇌성마비 재활, 절단자 재활, 인지 재활 등 많은 재활 분야에서 이용되고 있지만, 본 고에서는 성인 장애의 가장 큰 원인 질환으로 가장 활발한 연구가 진행중인 뇌졸중 환자에서의 가상현실의 적용에 대해 소개하고자 한다.

가상현실 시스템의 구성

가상현실 시스템은 일반적으로 가상환경, 가상환경을 제공하는 출력장치, 가상환경을 조종하는 인터페이스 장치로 구성된다. 가상환경은 컴퓨터 프로그램을 이용하여 모니터나 head-mounted display (HMD)로 표현되는 환경으로 2차원과 3차원 가상환경으로 나누어 생각할 수 있는데 3차원 프로그램에 비해 2차원 프로그램은 집중하기 어렵고 상호작용하기 어려우며 흥미도가 떨어지는 단점이 있어 최근 들어서는 3차원 가상현실이 주로 이용된다. 또한 가상환경 내 실제 환경 포함여부에 따라 가상현실, 증강현실(augmented reality)로도 나눈다. 가상현실은 가상환경 내에 실제환경이

전혀 반영되지 않은 경우를 진정한 가상현실이라 할 수 있으나, 증강현실은 가상환경 내에 실제환경이 포함되어 인터페이스를 아바타로 처리하거나, 중요한 정보를 실제환경에 접목하여 표현하기도 한다.

출력장치는 인간이 외부환경으로부터 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각, 운동감각 등을 사용하여 정보를 얻는데, 사람이 받아들이는 감각 정보의 70% 이상이 시각정보로 감각 몰입을 위해 시각적 디스플레이를 가장 많이 이용한다. 시각적 가상현실은 특히 컴퓨터그래픽 기술의 발달에 따라 상대적으로 구현이 용이하여 가상현실 기술의 주된 연구대상 감각은 시각이었다. 몰입 정도에 따라 일반적인 CRT, LED 모니터와 같은 2차원적 표현은 비몰입형이고, 3차원적 입체적 표현은 반몰입형에 해당되며, 머리의 움직임에 따라 시야가 달라지는 것을 완전몰입형에 해당한다[4]. 또한 시각적 가상현실 시스템은 이용되는 장비에 따라 데스크톱형, 투사형, HMD형의 세 가지로 구분된다. 데스크톱형은 컴퓨터 화면 상에 가상현실을 구현하는 것으로 사람의 시야에 좀 더 근접할 수 있는 휘어진 곡면스크린이 이에 해당하고, 투사형은 대형스크린에 입체감이 있는 형상을 투사시키는 것으로, 2-6개의 스크린으로 방을 만든 후 입체 영상을 출력해서 몰입감을 증가시키는 Cave Automatic Virtual Environment 시스템, Cubby 시스템 등이 대표적이나 아직 수요가 적고 고가이다. HMD형은 안경 모양의 디스플레이 장치를 눈에 착용하여 시각적으로 외부 세계와 완전히 차단된 상태에서 가상현실을 경험하게 하는 방식이다. 이중 가상현실에서 가장 시각적 몰입감을 제공하는 것은 HMD이다. HMD는 안경 모양의 틀에 각각 작은 LCD를 통해 두 눈에 직접 영상을 투사하는 장치로 Sutherland [5]의 연구를 기반으로 가상현실에서 중요한 한 획을 그은 혁신적인 가상환경 출력장치이다. 또한 청각은 입체감 및 몰입감을 높이기 위해 음향기기의 발전으로 여러 가지 방법이 이용되고 있다. 하지만, 타 감각의 가상현실 구현은 기계장치를 포함한 하드웨어의 고 비용과 기술적 한계 등으로 구현이 어려워 촉각, 후각 등에 대해서는 아직 덜 개발된 분야로 많은 시도들이 있다. 특히 HMD는 점차 개발되어 많이 가벼워졌고, 착용감도 향상되어 가장 많이 이용되나, 오랜 시간 동안 착용시 시각 피로를 초래하

고, 가상환경과 시각간의 차이로 인해 어지러움이나 멀미를 일으키는 cyber-sickness를 초래하기도 한다.

인터페이스 장치는 가상현실이 사람과 컴퓨터의 상호작용(human computer interaction)에 근간이 되는 매우 중요한 장치이다. 인터페이스는 사람의 직관과 컴퓨터간의 거리감을 최소화하는 것으로 간단하게는 키보드, 컴퓨터마우스가 이에 해당하며, HMD의 개발과 함께 머리 및 신체의 움직임을 추적하는 장치(tracker)가 가상현실 발전의 원동력이 되었다. HMD에 장착된 머리운동을 감지하는 센서인 head tracker는 머리운동에 따라 그에 맞춘 영상을 구현할 수 있게 하여 일반 모니터와 달리 공간의 제약 없이 사용자 주위의 가상세계 영상을 투사할 수 있는 장점이 있다[6]. 그 밖에도 장갑에 수십 개의 센서를 부착하여 손가락과 손의 움직임을 측정할 수 있는 데이터글로브(dataglove), 전자기장을 이용하여 피험자의 정확한 신체 움직임을 측정하는 6축 tracker, 눈의 움직임을 측정하는 eye tracker, 손의 악력을 측정하여 전달하는 dynamometer, 몸의 중심을 측정하는 힘 판(force plate), 카메라를 이용한 간단히 몸의 움직임을 측정하는 방법 등 최근 들어 활발한 연구가 진행 중이다. 이때 피드백은 실시간으로 전달되어야 가상환경에서의 몰입감이 더욱 좋아진다[7].

가상현실의 임상적 적용

1. 운동재활

운동재활에서 가상환경은 환자의 움직임, 힘 등의 변화에 의해 피드백을 받아 재활훈련이 가능하게 된다. 대부분의 연구는 급성기 환자보다는 만성기 환자를 대상으로 이루어졌는데, 뇌졸중 환자의 상지 기능 회복 척도로 이용되는 Fugl-Meyer scale은 고식적인 치료에 비해 가상현실 치료가 의미 있게 향상되었다고 보고하고 있고[8-10], 7개의 연구, 205명을 대상으로 한 Cochrane review에서도 뇌졸중 환자에서 상지 기능 향상을 위한 가상현실 훈련이 고식적 치료에 비해 더 효과적이었다고 보고하고 있다[11]. 급성기 환자를 대상으로 한 연구들에서도 상지 기능 회복이 보고되고 있으며[12], Cochrane review에서는 발병 6개월을 기준으

로 6개월 이상과 미만의 환자를 대상으로 한 연구들간에 의미 있는 차이를 보이지 않는다고 보고하고 있어 만성기뿐만 아니라 급성기 환자에서도 적용할 만하다[11]. 손 기능 또한 가상현실 치료에서 거의 대부분의 연구에서 의미 있는 향상을 보고하고 있다[13,14].

일상생활동작 수행이 있어서는 Cochrane review에서 가상현실이 일상생활동작 수행에 의미 있는 향상을 보인다고 보고하고 있지만[11], 제시한 세 연구 중 Kang 등[15]의 연구는 상지기능보다는 인지기능 향상에 초점이 맞추어진 연구였다. 기존의 상지에 대한 가상현실 치료가 일상생활동작 수행을 향상시키는가에 대해서는 아직 연구자들에 따라 의견이 분분하다. Broeren 등[16]은 5명의 만성기 뇌졸중 환자에서 haptic force feedback을 이용한 가상현실 치료에서 수행능력이 향상되지만, 일상생활동작 수행은 한 명만이 호전되었고, 오히려 마비 측 상지를 이용하기 시작하여 일상생활동작 수행이 악화된 환자도 있다고 보고한 바 있다[14]. 반대로 Piron 등[17]의 최신 연구들에서는 일상생활동작 수행에 의미 있게 향상되었다고 보고하고 있다.

상지 근력은 가상현실 치료 이후 약간의 호전을 보인다는 연구들도 있지만[8,9], 호전 정도가 일관적이지 않다고 보고한 연구[18]를 미루어 볼 때 가상현실 치료가 뇌졸중 환자에서 근력 향상에 도움을 준다고 보기는 어렵고, Cochrane review에서도 손의 악력 향상은 고식적인 치료와 가상현실 치료 간에 의미 있는 차이를 보이지 않았다고 하였다[11]. Jang 등[9]은 가상현실 치료 전후의 상지 기능 향상 정도와 기능적 자기공명촬영을 이용한 뇌졸중 후 기능적 재조합에 대한 연구에서 치료 후 손상 반구의 뇌 활성화도가 증가되고, 손상 반대 반구의 뇌 활성화도가 감소하는 현상을 보고하면서, 이 현상은 호전 정도와 상관관계가 있다고 하여 가상현실 치료가 뇌 가소성에 영향을 미침을 보고한 바 있다.

뇌졸중 후 상지 기능 향상에 관련된 장기 추적 관찰한 연구들을 살펴보면 수주에서 최대 6개월까지 추적 관찰하였는데, 가상현실 치료 후 기능향상은 일시적이고, 장기 추적 시 치료 전 수준으로 회귀하는 경향을 보인다고 보고하고 있다[13,14]. 하지만 2009년 Housman 등[19]은 만성기 환자를 대상으로 6주간 훈련 후 6개월 추적 관찰 시 Fugl-Meyer

scale의 향상이 유지되었다는 보고를 하여 가상현실 치료가 장기적으로 상지 기능 향상에 도움을 주는지는 아직 단정지을 수는 없다. 최근 들어서는 가상현실 단독으로 적용하는 것 외에도 GENTLE-S, MIT-Manus, PneuWREX와 같은 로봇치료에 가상현실을 접목하는 노력이 있으며, 긍정적인 효과가 보고되고 있다.

보행기능 향상을 위한 가상현실 치료는 상지 기능 향상을 위한 가상현실 치료에 비해 연구가 그리 많은 편은 아니다. 대표적인 연구를 살펴보면 다음과 같다. 2004년 Jaffe 등[20]은 harness를 착용하고 답차 보행을 하면서 가상환경 내에 장애물이 출현 시 충분히 발을 들고, 보폭을 유지하도록 하는 가상현실 훈련프로그램을 개발하여 실제 상황에서의 훈련과 비교하였을 때 모든 대상자가 훈련을 큰 문제없이 마칠 수 있었고, 최대 보행 속도가 의미 있게 향상되었다고 보고하여, 가상현실을 보행훈련에 적용할 만 하다는 가능성을 열어주었다. 그 후 You 등[21]은 15명의 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실 내에서 계단 오르기, 스노우보드 타기 등의 하지 운동을 포함하는 IREX를 이용하여 훈련을 시행하였을 때 고식적인 훈련을 시행하였을 때에 비해 통계학적으로 의미 있게 보행능력이 호전 됨을 보고하였고, 또한 laterality index 즉 손상 반대측 반구의 뇌 활성화 대비 손상 반구의 뇌 활성화도의 비가 증가함을 보고하여 가상현실 치료가 뇌졸중 환자의 보행 향상에 도움을 줄 수 있음을 보고하였다. 또한 Deutsch 등[22]은 발목의 움직임에 따라 비행기 또는 배를 조종하는 Rutgers ankle system을 개발하여 뇌졸중환자에서 4주간 훈련을 시행한 후 보행속도, 지구력이 향상된다고 하여, 가상현실훈련이 실제 상황으로 전이가 가능함을 보고하였다. 그 후 같은 시스템을 이용하여 Mirelman 등[23]은 2009년 가상현실을 적용한 군과 시스템 중 가상현실을 제외한 훈련을 시행하였을 때 가상현실을 적용한 군에서 그렇지 않은 군에 비해 보행속도, 보행거리가 증가됨을 보고하는 등 활발한 시도가 지속되고 있다. 또한 Yang 등[24]은 일정 지역 사회를 기반으로 한 가상환경을 답차 훈련에 접목하여 3주간 시행 시 일반적인 답차 훈련에 비해 보행속도, 총 보행시간이 향상되었다고 보고한 바 있다. 그 밖에도 여러 종류의 가상현실이 뇌졸중 환자의 보행향상에 효과적이라는 증례보

고들은 있으나[25], 아직 이중맹검하 실험-대조군 연구는 부족한 현실이다. 최근 Cochrane review에서도 하지의 보행 능력에 대한 가상현실 치료의 효과를 분석한 결과, 아직 체계화된 연구가 미비하여 보행속도 등 보행능력 개선에 대하여는 효과의 근거가 부족하다고 하였다[11]. 따라서 보행의 증진을 위한 가상현실 훈련은 추가적인 연구를 통한 충분한 근거 확보가 시급하다.

2. 인지재활

인지재활에 있어 전반적으로 가상현실을 이용한 연구는 아직 미비하지만, 그 중 편측 무시에 대해서는 많은 연구들이 보고되고 있다. 편측 무시란 시각과 시야의 이상이 없으면서도 마비된 측의 외부공간에서 오는 시각적 자극을 무시하고 이에 반응을 보이지 않는 현상으로, 일상생활 동작수행 및 기능적 회복의 장애물로 알려져 있다. 가상현실을 이용하여 편측 무시를 평가하려는 시도는 크게 임상평가 방법을 모사(simulation)하거나, 실제 상황을 가상환경으로 구성하여 평가하는 것으로 나누어 볼 수 있다. 임상평가를 모사한 가상현실 프로그램은 임상평가를 잘 반영할 뿐만 아니라 임상평가보다 보다 정확하고 정량적인 평가가 가능하고, Broeren 등[26]이 cancellation test를 모사한 가상현실 평가에서 임상에서는 평가할 수 없는 피검자의 검색 양상까지 볼 수 있다고 보고한 바와 같이 임상평가보다 추가적인 정보를 얻을 수 있다. 그 밖에도 회전초밥, 건넌목 건너기, 삼거리에서 공이 움직이는 상황, 버스정류장에서의 공이 들어오는 상황을 가상환경으로 구성하여 무시를 평가하려는 시도가 있으며, 이런 시도들은 임상평가와 높은 상관관계를 보여 편측 무시의 특성을 잘 반영할 뿐만 아니라 임상평가로는 위험하거나 번거로워 평가하기 어려운 상황에서의 평가도 가능함을 보여준다[27]. 가상현실 훈련을 시도하여 긍정적인 결과를 보고하고 있으나[28], 아직 기존 치료 대비 우월성이나 가상환경에서의 호전이 실제 상황으로 전이되는지의 여부는 증거가 부족하다[29]. 기타 인지기능 평가를 위한 가상현실 프로그램은 몇몇 연구에서 시도되고 있으나[30], 2011년 Cochrane review에서 보고 한 바와 같이 인지기능 향상의 효과를 분석할만한 잘 연구 설계된 연구는 아직 부족한 현실이다[11].

가상현실 재활의 장단점

가상환경은 실제 환경에는 평가 또는 훈련 할 수 없는, 특히 위험할 수 있는 상황에서의 평가와 치료를 대신 할 수 있다. 예를 들어 편측 무시를 보이는 환자에서 횡단보도 건너기는 실제로 측정할 때 매우 위험하여 평가가 어렵지만, 가상현실에서는 수행이 가능하다. 또한 거동이 불편하여 갈 수 없지만 정상인에서는 일상생활의 일부인 시장, 백화점 등에서의 쇼핑하거나 지하철 타기 등을 가상현실에서는 수행이 가능하다. 이는 실제 환경에서 치료사나 타인의 감독하에서 평가하거나, 훈련하는 것은 매우 제한적으로 수행할 수 밖에 없지만, 가상환경에서는 동일한 환경에서 동일한 평가를 무한대로 할 수 있고, 과제 지향적 훈련의 개념에서 요구하는 동일한 과제 훈련을 무한대로 수행할 수 있다는 장점이 있다. 그 밖에도 실제상황에서는 쉽게 하기 어렵지만 가상현실을 이용하여 훈련하는 동안 정확히 측정할 수 있고, 실시간 피드백을 줄 수 있고, 훈련의 성과를 정량화 할 수 있고, 환자의 능력에 따라 가상환경을 변경하거나, 난이도를 조절하여 맞춤형 훈련을 제공할 수 있다. 또 하나의 중요한 장점은 가상현실 훈련 프로그램은 기존의 전통적 치료사 중심의 치료에 비해 훈련의 난이도를 환자의 수행능력에 따라 조절하여 환자에게 더욱 동기부여를 할 수 있고[18], 컴퓨터 게임과 같은 흥미로운 요소로 인해 환자에게 동기부여를 할 수 있다는 장점이 있다[21]. 나아가 치료사의 지지나 피드백 없이도 환자 스스로 평가하고, 훈련 할 수 있는 날이 오리라고 생각된다. 하지만, 가상현실 기술이 최근 들어 매우 발전하고 대중화되었지만 아직 완벽하게 성숙된 기술이 아니며, 비용이 아직 부담스러운 수준이며, 현재 뇌졸중이 잘 발생하는 노인에게는 IT기술이 보편화되어 있지 않아 가상현실 훈련프로그램 및 시스템을 이해하고 적절한 인터페이스를 이용하는데 한계가 있으며, 또한 가상현실 훈련을 하기 위해서는 어느 정도의 인지기능이 필요하여, 뇌졸중으로 인한 인지기능 손상이 심한 경우 적용하기 어렵다. 또한 가상환경에서의 활동을 보여야 피드백이나 가상환경의 변화를 통한 기능 향상을 기대할 수 있으므로 인지 외에도 개선하고자 하는 기능 상태가 어느 정도의 기능이 잔존하는 중등도

정도 이상 보존되어 있는 경우에 시행하는 것이 좋고, 기능 저하가 매우 심한 경우에는 적용하기 어렵다[7]. 그 밖에도 가상현실에서의 기능회복이 실제상황에서도 같이 호전되는지에 대한 연구가 아직은 부족하고, HMD와 같은 몰입감을 중시한 가상현실 시스템의 경우 단기간의 안구피로나 cyber-sickness가 발생하는 경우도 있다[2].

결론

가상현실치료는 지난 10여 년간의 비약적인 기술의 발전을 통해 최근 뇌졸중 재활에서의 연구 및 임상적 적용이 활발해지는 분야로, 시도되고 있는 범위가 점점 넓어지고 있고, 몇몇 세부 분야에서는 그 효과가 입증되어 향후 뇌졸중 재활의 한 축이 될 것으로 기대된다. 또한 나아가 뇌졸중 환자를 위한 원격재활의 기반 마련에 많은 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 아직 뇌졸중 재활에서 가상현실은 도입단계로 재활치료 이론 및 임상 경험을 바탕으로 한 가상현실 프로그램의 개발을 통한 보다 효과적인 치료기술로 자리잡아가야 하며, 기존 고식적인 치료 대비 효과에 대한 체계적인 비교분석 연구, 비용효과 연구, 적용 가능한 여러 세부 분야로의 확산 등 뿐만 아니라 향후 지속적으로 보다 편리하고 저비용의 인터페이스 개발 등 많은 기술적 발전이 필요하리라 생각된다.

핵심용어: 가상현실; 뇌졸중; 재활

REFERENCES

1. Burdea GC. Virtual rehabilitation: benefits and challenges. *Methods Inf Med* 2003;42:519-523.
2. Crosbie JH, Lennon S, Basford JR, McDonough SM. Virtual reality in stroke rehabilitation: still more virtual than real. *Disabil Rehabil* 2007;29:1139-1146.
3. Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav* 2005;8:187-211.
4. Adamovich SV, August K, Merians A, Tunik E. A virtual reality-based system integrated with fmri to study neural mechanisms of action observation-execution: a proof of concept study. *Restor Neurol Neurosci* 2009;27:209-223.
5. Sutherland IE. A head-mounted three dimensional display. In: Association for Computer Machinery. *Proceedings of the Fall*

- Joint Computer Conference, part I; 1968 Dec 9-11. New York: Association for Computer Machinery; 1968. p. 757-764.
6. Barfield W, Furness TA. Virtual environments and advanced interface design. New York: Oxford University Press; 1995.
 7. Oujamaa L, Relave I, Froger J, Mottet D, Pelissier JY. Rehabilitation of arm function after stroke: literature review. *Ann Phys Rehabil Med* 2009;52:269-293.
 8. Holden MK, Dyar T. Virtual environment training: a new tool for neurorehabilitation. *J Neurol Phys Ther* 2002;26:62-71.
 9. Jang SH, You SH, Hallett M, Cho YW, Park CM, Cho SH, Lee HY, Kim TH. Cortical reorganization and associated functional motor recovery after virtual reality in patients with chronic stroke: an experimenter-blind preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:2218-2223.
 10. Piron L, Tonin P, Atzori AM, Zucconi C, Massaro C, Trivello E, Dam M. The augmented-feedback rehabilitation technique facilitates the arm motor recovery in patients after a recent stroke. *Stud Health Technol Inform* 2003;94:265-267.
 11. Laver K, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Cochrane review: virtual reality for stroke rehabilitation. *Eur J Phys Rehabil Med* 2012;48:523-530.
 12. Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, Thorpe KE, Cohen LG, Bayley M; Stroke Outcome Research Canada (SORCan) Working Group. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke* 2010;41:1477-1484.
 13. Boian R, Sharma A, Han C, Merians A, Burdea G, Adamovich S, Recce M, Tremaine M, Poizner H. Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation. *Stud Health Technol Inform* 2002;85:64-70.
 14. Broeren J, Rydmark M, Bjorkdahl A, Sunnerhagen KS. Assessment and training in a 3-dimensional virtual environment with haptics: a report on 5 cases of motor rehabilitation in the chronic stage after stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2007;21:180-189.
 15. Kang YJ, Ku J, Han K, Kim SI, Yu TW, Lee JH, Park CI. Development and clinical trial of virtual reality-based cognitive assessment in people with stroke: preliminary study. *Cyberpsychol Behav* 2008;11:329-339.
 16. Broeren J, Rydmark M, Sunnerhagen KS. Virtual reality and haptics as a training device for movement rehabilitation after stroke: a single-case study. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:1247-1250.
 17. Piron L, Turolla A, Agostini M, Zucconi CS, Ventura L, Tonin P, Dam M. Motor learning principles for rehabilitation: a pilot randomized controlled study in poststroke patients. *Neurorehabil Neural Repair* 2010;24:501-508.
 18. Merians AS, Poizner H, Boian R, Burdea G, Adamovich S. Sensorimotor training in a virtual reality environment: does it improve functional recovery poststroke? *Neurorehabil Neural Repair* 2006;20:252-267.
 19. Housman SJ, Scott KM, Reinkensmeyer DJ. A randomized controlled trial of gravity-supported, computer-enhanced arm exercise for individuals with severe hemiparesis. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23:505-514.
 20. Jaffe DL, Brown DA, Pierson-Carey CD, Buckley EL, Lew HL. Stepping over obstacles to improve walking in individuals with poststroke hemiplegia. *J Rehabil Res Dev* 2004;41(3A):283-292.
 21. You SH, Jang SH, Kim YH, Hallett M, Ahn SH, Kwon YH, Kim JH, Lee MY. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: an experimenter-blind randomized study. *Stroke* 2005;36:1166-1171.
 22. Deutsch JE, Paserchia C, Vecchione C, Mirelman A, Lewis JA, Boian R, Burdea G. Improved gait and elevation speed of individuals post-stroke after lower extremity training in virtual environments. *J Neurol Phys Ther* 2004;28:185-186.
 23. Mirelman A, Bonato P, Deutsch JE. Effects of training with a robot-virtual reality system compared with a robot alone on the gait of individuals after stroke. *Stroke* 2009;40:169-174.
 24. Yang YR, Tsai MP, Chuang TY, Sung WH, Wang RY. Virtual reality-based training improves community ambulation in individuals with stroke: a randomized controlled trial. *Gait Posture* 2008;28:201-206.
 25. Dunning K, Levine P, Schmitt L, Israel S, Fulk G. An ankle to computer virtual reality system for improving gait and function in a person 9 months poststroke. *Top Stroke Rehabil* 2008;15:602-610.
 26. Broeren J, Samuelsson H, Stibrant-Sunnerhagen K, Blomstrand C, Rydmark M. Neglect assessment as an application of virtual reality. *Acta Neurol Scand* 2007;116:157-163.
 27. Kim DY, Ku J, Chang WH, Park TH, Lim JY, Han K, Kim IY, Kim SI. Assessment of post-stroke extrapersonal neglect using a three-dimensional immersive virtual street crossing program. *Acta Neurol Scand* 2010;121:171-177.
 28. Kim K, Kim J, Ku J, Kim DY, Chang WH, Shin DI, Lee JH, Kim IY, Kim SI. A virtual reality assessment and training system for unilateral neglect. *Cyberpsychol Behav* 2004;7:742-749.
 29. Katz N, Ring H, Naveh Y, Kizony R, Feintuch U, Weiss PL. Interactive virtual environment training for safe street crossing of right hemisphere stroke patients with unilateral spatial neglect. *Disabil Rehabil* 2005;27:1235-1243.
 30. Parsons TD, Rizzo AA. Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: virtual reality cognitive performance assessment test. *Cyberpsychol Behav* 2008;11:17-25.



Peer Reviewers' Commentary

본 논문은 최근 재활치료 영역에서 각광받고 있는 가상 현실 치료가 뇌졸중 재활 영역에서 어떻게 적용되고 있는지 기술하고 있다. 또한 가상 현실 시스템의 구성에 대해서도 간결하게 기술하고 있어, 가상 현실 치료에 대한 이해를 도와주고 있으며, 그 동안 연구된 많은 선행 연구들을 이용하여 가상 현실 치료의 효과 및 향후 나아갈 방향에 대해서 객관적으로 저술하였다. 가상 현실 치료는 최근 몇 년 사이 비약적 기술의 발전을 보이고 있는 영역으로 향후 지속적인 연구 및 임상적 적용을 통해 많은 기술적인 발전과 치료적 관점에서의 발전이 이루어지리라 생각되며, 본 논문이 이에 대한 이해를 도와주고 관심을 촉구하는데, 큰 도움이 되리라 판단된다.

[정리: 편집위원회]

자율학습 2012년 12월호 정답 (폐암에서 비디오 흉강경 폐엽절제술)

1. ①

6. ③

2. ②

7. ③

3. ④

8. ④

4. ②

9. ①

5. ③

10. ②