
상지재활 훈련동안 자기수용감각의 훈련 및 평가를 위한 가상현실 시스템 개발: 예비 연구

Development Of Virtual Reality System For The Training And Assessment Of Proprioception During Upper-limb Reaching Task: A Pilot Study

조상우, Sangwoo Cho*, 구정훈, Jeonghun Ku****, 한기완, Kiwan Han**, 이형래, Hyeongrae Lee**, 박진식, Jinsick Park**, 이원호, Wonho Lee**, 신영석, Youngseok Shin**, 김홍준, Hongjoon Kim****, 강윤주, Younjo Kang***, 김인영, Inyoung Kim**, 김선일, Sun I. Kim**

요약 자기수용감각은 신체 내부에서 몸의 발란스, 근육의 강도, 민첩성을 이용하여 공간의 위치나 관절의 움직임을 조절하는 능력으로 정의된다. 기존의 연구에서는 자기수용감각을 발달시키기 위하여 reaching 훈련을 이용한 시각적인 feedback을 제시하여 훈련을 하고 feedback을 차단하고 측정하는 방법이 사용했지만 시각적인 feedback이 있는 상황은 자기수용감각만 유도할 수 없는 문제점이 있다. 가상현실 기술은 훈련 동안 실시간으로 시각적인 feedback을 다양하게 제공하는 것으로 기존의 연구의 문제점을 해결할 수 있다. 본 연구에서는 가상현실 기술을 이용한 자기수용감각을 발달시키기 위한 훈련 및 평가시스템을 개발하고 파일럿 스터디를 하였다. 가상환경 task는 3개로 구성되었다. mode 1은 신체 움직임을 실시간으로 시각적인 feedback을 제시하는 환경이다. mode 2는 피험자의 반응에 의해서만 신체 움직임에 대한 시각적인 feedback을 제시하는 환경이다. mode 3은 시각적인 feedback을 제시하지 않는 환경이다. 가상환경의 task는 각 mode에서 3지점을 한 번씩 수행하는 것을 1회기로 5회기씩 수행하였다. 본 연구의 결과에서, target을 획득하기 위하여 이동하는 시간은 mode 3에서 mode 1보다 더 짧게 소요되었다($p=0.001$). mode 2와 mode 3에서 1회기에서는 상관관계를 가지고 2-5회기 동안에는 mode 2와 mode 3에서 상관관계가 보이지 않았다($p = 0.012$). mode 1의 환경에서는 훈련에 필요한 자기수용감각보다 시각적인 feedback에 의한 훈련이 진행되는 것을 볼 수 있다. mode 2는 첫 회기에서 자기수용감각에 의한 시각적인 feedback을 제공받을 수 있기 때문에 자기수용감각 훈련을 수행할 수 있다. 추후 연구는 시스템의 타당성 검증과 임상실험을 통한 훈련과 평가를 할 계획이다.

Abstract Proprioception defined it as the ability to detect, the spatial position or movement of joints using balance, power of the muscle, agility in the internal parts of the body. In existing study for improvement of proprioception, reaching task training provided a feedback; the assessment was not provided a feedback. But, this has problem that it can not guide a proprioception from situation with visual feedback. Virtual reality technique can solve the problem of way providing feedback during training. In this study, we developed proprioception training program using virtual reality and pilot study is performed. VR task were composed three modes. In mode 1, real-time movement of the body was provided using visual feedback. In mode 2, body position was provided using visual feedback when participant have specific response. And in mode 3, body position was not provided. VR task is performed five sessions at each mode and one session performed one by one a three target. In the result of this study, the moving time toward the target from mode 3 was smaller than the moving time toward the target from mode 1 ($p= 0.001$). The correlation was statistically significant between mode 2 and mode 3 while be offering visual feedback position of mode 2 1session. But, the correlation was not statistically significant between mode 2 and mode 3 after be offered visual feedback position of mode2 1session ($p = 0.012$). Training environment of mode 1 shows which training used visual feedback than proprioception. Mode2 can execute training of proprioception because first session acquires visual feedback by proprioception. The next study will be verification of the system for training or assessment by clinical experiment.

핵심어: 자기수용감각, 가상현실, 재활, 실시간 피드백

* 주저자 : 한양대학교 의용생체공학과

** 공동저자 : 한양대학교 의용생체공학과

*** 공동저자 : 을지병원 을지대학 의과대학 재활의학과

**** 교신저자 : 한양대학교 의용생체공학과 ; e-mail: kujh@ibme.hanyang.ac.kr

1. 서론

자기수용감각 이란, 시각적인 자극을 확인에 의한 정보 획득이 아닌 중추신경계에서 받아들여지는 정보를 통한 공간의 위치 또는 관절의 움직임의 찾아내는 능력을 말한다 [1]. 사람의 신체는 자기수용감각을 유지하기 위하여 몸의 발란스, 근육의 강도, 민첩성 등 많은 정보들을 유자조절하며 살아간다. 하지만, 사회에는 여러 원인에 의한 사고의 후유증으로 독립적인 동작수행능력이 떨어지는 사람들이 있다. 독립적인 동작수행능력이 떨어진 사람들의 저하된 자기수용감각을 발달시키기 위한 평가와 훈련방법의 연구가 필요하다.

기존연구에서는 상지재활 훈련을 통한 자기수용감각의 발달을 알아보기 위하여 신체움직임의 시각적인 feedback을 제시하는 훈련환경에서 training을 받고 자기수용감각의 능력을 평가할 때는 신체움직임의 시각적인 feedback을 차단하는 환경을 제시하는 연구가 있었다[2]. 하지만, 다른 연구에서는 자기수용감각을 향상시키는 것을 확인하기 위하여 시각적인 feedback을 제공하는 방법의 차이를 제시하고 신체의 움직임을 목표지점 또는 목표 각도를 맞추는 능력의 따른 자기수용감각의 사용정도를 확인하는 연구들을 통하여 시각적인 feedback이 제시되는 상황보다 시각적인 feedback이 제시되지 않는 상황에서 자기수용감각의 사용도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다[3,4,5,6]. 이것은 기존연구에서 자기수용감각의 발달을 위해서는 training동안 시각적인 feedback을 제시하지 않는 방법을 이용한 훈련환경을 제시하지 못한 단점을 가진다. 따라서, 자기수용감각을 발달을 위한 훈련환경에서 지속적으로 제시되는 시각적인 feedback을 제한적으로 표현해 줄 필요가 있다.

이와 같은 단점을 보완하기 위하여 가상현실 기술이 손상된 신체의 훈련을 위한 재활분야에서 새로운 방안으로 부각되고 있다[7]. 가상현실 기술은 자기수용감각 연구에서 신체움직임의 시각적인 feedback을 다양한 방법으로 제공해 줄 수 있다. 따라서 훈련 과정에서 실시간으로 제공하는 시각적인 feedback을 제한적으로 제시하여 자기수용감각을 이용할 수 있는 훈련 방법을 제공할 수 있는 장점을 가진다.

본 연구에서는 가상현실 기술을 이용하여 자기수용감각의 특성을 측정하여 이를 훈련 및 평가를 위한 시스템 개발을 목표로 하였다. 가상현실기술의 실시간으로 다양한 시각적인 feedback을 제시할 수 있는 방법을 제시한 mode들의 특징들을 이용하여 훈련 동안에도 자기수용감각을 이용할 수 있는 훈련 환경을 제공할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 시각적인 feedback의 제시방법이 다른 mode들의 특징을 통한 시스템 검증에 위하여 일반인을 대상으로 파일럿 스터디를 시행하였다.

2. 방법

실생활에서 동작수행능력을 발달시키기 위하여 자기수용감각을 훈련할 수 있도록 가상현실공간을 제시할 수 있는 A6gamestudio프로그램을 이용하여 3차원 공간을 제시하였다. 가상공간에서 신체움직임과 interacting하는 시각적인 feedback을 제공하기 위하여 POLHEMUS 사의 Patriot 6 자유도 Tracker를 이용하였다. 그림 1은 자기수용감각을 발달 훈련하는데 사용되는 가상현실 시스템의 훈련 환경이다.

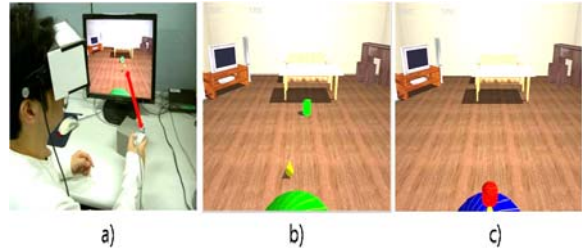


그림 1 자기수용감각 발달을 위한 가상현실과 interacting하는 훈련시스템 환경 a) 실험 환경, b) target으로 향하는 모습의 가상현실 환경, c) 획득한 target을 시작지점으로 돌아오는 가상현실 환경

훈련환경에서 훈련자는 훈련할 신체 부위에 Tracker를 부착한 후 HMD를 이용하여 가상현실공간을 바라본다. 가상공간에서는 훈련할 신체부위와 interacting하는 시각적인 feedback을 제공한다. 가상현실 Task의 수행방법은 좌측과 중앙, 우측 지정한 3지점에 순차적으로 나타나는 target을 향하여 그림 1의 b)처럼 신체와 interacting하는 것을 제공하는 시각적인 feedback 노란 원뿔을 움직여 target을 획득한 후 그림 1의 c)처럼 target을 시작 지점으로 가져오는 것을 반복한다. 자기수용감각의 훈련 및 평가를 위하여 개발한 시스템에서는 시각적인 feedback을 제공하는 방법을 다음과 같이 3가지로 나눌 수 있다.

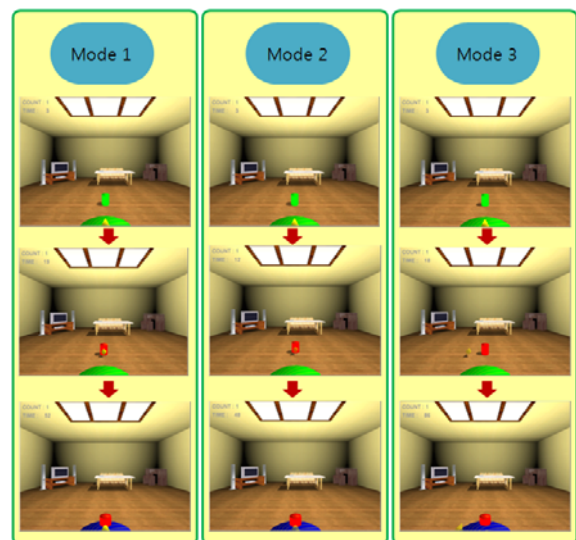


그림 2 상지재활을 위한 훈련동안 각 Mode별로 훈련 진행 방법 (노란 원뿔 불투명: 시각적인 feedback 제시하는 상황, 노란 원뿔 반투명: 시각적인 feedback 제시하지 않는 상황)

그림 2는 시각적인 feedback을 제공하는 방법이 다르게 설정된 mode들의 각 진행방법을 보여준다. mode 1은 신체 움직임의 시각적인 feedback을 3차원 공간에 실시간으로 제시하는 방법으로 신체의 움직임을 확인하면서 target을 획득하도록 훈련한다. mode 2는 기본적으로 신체 움직임의 시각적인 feedback을 제시하지 않은 상태에서 target으로 향하도록 한다. 그리고 신체 움직임의 현 위치를 알아보기 위한 반응을 보이면 시각적인 feedback이 일정시간만 제시된다. 이처럼 부분적으로 제공되는 시각적인 feedback을 이용하여 신체 움직임을 확인해가면서 target으로 획득하도록 훈련한다. mode 3은 신체 움직임의 시각적인 feedback을 제시하지 않는다. 신체 움직임의 시각적인 feedback에 의하여 target으로 향하는 것이 아닌 자신의 자기수용감각을 이용하여 자신의 신체 움직임이 target까지 향하였다고 판단할 때 무조건 target을 획득하는 훈련을 한다.

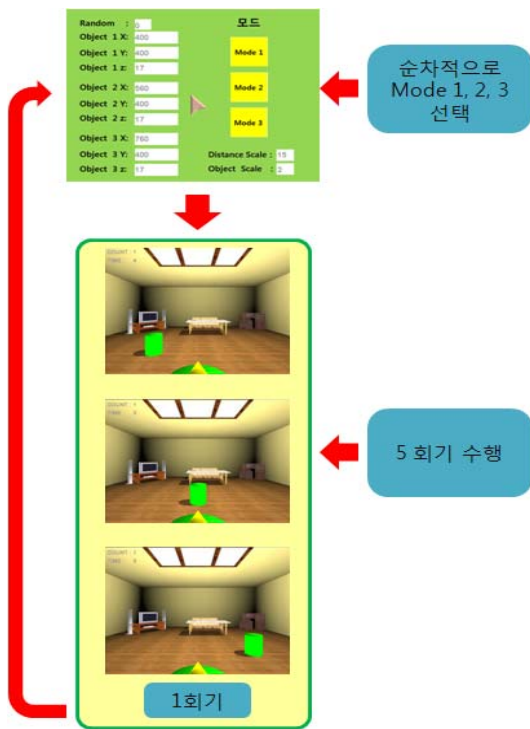


그림 3 가상현실을 이용한 상지재활 훈련 실험 진행순서

실험에 참가한 피험자는 오른손을 사용하는 정상인 남자 5명으로 나이는 평균 27.6세(25-30세)였다. 그림 3은 가상현실을 이용하여 상지재활 훈련 실험의 진행순서를 나타낸 것이다. Tracker를 오른손에 부착한 후 각 3가지 지점에서 순차적으로 제공되는 target을 시작지점으로 가져오는 훈련을 한 번씩 수행하는 것을 1회기로 정하고 mode별로 5회기씩 반복하였다.

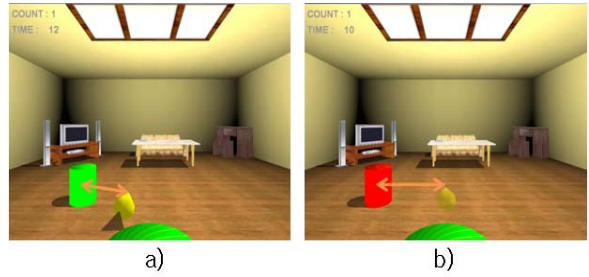


그림 4 가상현실에서 시각적인 feedback이 제시되지 않는 mode 2와 mode 3에서 시각적인 feedback과 target 사이의 오차거리 측정. a) mode2에서 현재의 시각적인 feedback의 위치를 확인할 때 나타난 노란 원뿔의 위치와 target과의 오차거리 측정 b) mode 3에서 피험자가 제시되지 않는 시각적인 feedback이 target과 일치한다고 판단할 때 실제의 feedback의 위치와 target과의 오차거리 측정

그림 4는 feedback이 제시되지 않는 mode2와 mode3에서의 feedback의 위치와 target의 오차거리를 측정하는 것을 보여준다. 실험에서 시각적인 feedback을 제시하는 방법이 다른 mode들을 경험하는 동안 자기수용감각의 차이를 알아보기 위하여 시각적인 feedback이 target을 획득할 때까지의 시간, target을 획득할 때 시각적인 feedback의 위치와 target의 중심값과의 오차거리값을 측정하였다.

3. 결과

그림 4은 시각적인 feedback이 실시간으로 제공되는 mode 1 과 시각적인 feedback을 항상 제공되지 않는 mode 3에서 target을 향하는데 걸리는 시간의 결과를 보여준다. 시각적인 feedback이 존재하지 않는 mode 3에서 시각적인 feedback이 존재하는 mode 1보다 짧은 시간에 target으로 도달하였다.

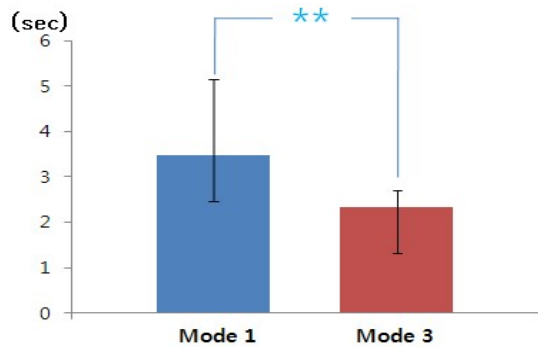


그림 5 시각적인 feedback의 존재유무에 따른 target으로 도달하는데 걸리는 시간 ($P = 0.001$, ** : $P < 0.01$)

mode 2에서 target을 향하여 움직인 후 첫 시각적인 feedback을 확인한 위치와 target의 중심값과의 거리 오차값을 각 회기별로 구하고, mode 3에서는 자기수용감각을 이용하여 예측한 target의 중심위치와 실제 target의 중심값과의 거리 오차값을 각 회기별로 구했다. 표 1은 mode 2와 mode 3에서 각 회기별로 구한 오차값을 이용하여 상관관계를 나

타낸 것이다. mode 2와 mode 3의에서 3가지 지점을 한 번 씩 순차적으로 수행하는 5회기를 수행했을 때, 1회기에서만 유의미한 상관관계를 보이며, 2~5회기에서는 유의미한 상관관계가 보이지 않았다.

표 1. mode 2와 mode 3의 이동 후 target의 중심과 확인 위치 사이의 오차 값으로 mode 2와 mode 3의 상관관계 (* : $P < 0.05$)

	1	2	3	4	5
mode 2의 오차 값	91,9026	64,2269	65,5094	89,5550	86,5612
mode 3의 오차 값	124,641	103,165	119,305	132,416	151,744
γ	.953	.215	-.224	-.162	-.848
P값	.012*	.728	7.17	.794	.069

4. 결론

본 연구에서는 자기수용감각의 훈련 및 평가를 위한 가상 현실 시스템을 개발하였다. 개발한 가상현실시스템의 mode 별로 실시간으로 시각적인 feedback의 제시방법의 차이를 이용하여 각 mode들의 특징들을 검증하기 위하여 파일럿 스터디를 시행하였다.

mode 1과 mode 3에서 target을 획득하는데 걸리는 시간은 mode 1 보다 mode 3에서 더 짧은 시간이 걸렸다. mode 1과 mode 3의 차이점은 시각적인 feedback의 제공유무에 있다. mode 1에서는 시각적인 feedback이 제공되는 것을 확인하여 target을 찾아가는 것이고, mode 3은 시각적인 feedback의 제공이 없이 자신의 자기수용감각을 이용하여 예측한 위치로 움직이는 것이므로 mode 3이 mode 1보다 수행시간이 빠른 것이다. 이것은 목표지점을 향하여 팔의 각도를 움직이는 연구에서 시각적인 feedback이 제시된 상황보다 시각적인 feedback이 제시되지 않은 상황에서 이동 속도가 빨랐던 결과와 유사한 결과이다[5]. 이것은 시각적인 feedback을 항상 제공하는 mode 1의 환경에서는 신체 행동의 동작의 정보로 자기수용감각보다 시각적인 정보가 더 우선시 된다는 것을 보여 준다.

mode 2와 mode 3의 공통점은 시작지점에서 target을 향하여 움직인 후 처음 위치를 확인하는 과정까지 시각적인 feedback이 제시되지 않는 것이다. mode 2와 mode3의 차이점은 mode 2는 제한적으로 확인할 수 있는 시각적 feedback으로 target을 획득할 때까지 확인한 시각적인 feedback의 위치들이 저장되고 mode 3은 제시되지 않는 시각적인 feedback을 확인하는 순간 target이 선택되는 것으로 시각적인 feedback의 위치와 target사이의 오차거리만 측정할 수 있는 것이다. 표 1을 확인하면 mode 2와 mode 3이 제공된 시각적인 feedback이 없는 첫 번째 회기에서는 서로 간에 상관관계가 나타났다. 이후에, 2 - 5회기동안

mode 2는 누적된 시각적인 feedback이 제공받은 것과 mode 3은 누적된 시각적인 feedback이 없는 것의 차이처럼 서로 간에 상관관계가 나타나지 않았다. 이것으로 mode 2는 자기수용감각을 평가하는 환경의 시각적인 feedback을 차단하는 조건으로 자기수용감각을 이용하도록 하고, 제한적으로 확인할 수 있는 시각적인 feedback으로 자기수용감각을 더 발달 시키도록 훈련할 수 있는 환경을 제시할 수 있을 것이다.

따라서 개발한 가상현실 시스템은 각각의 mode가 가지고 있는 시각적인 feedback의 표현방법의 특성을 이용하여 자기수용감각 훈련과 평가에 모두 사용할 수 있는 시스템으로 판단된다.

향후 계획으로는 개발된 시스템으로 임상실험을 진행하여 시스템의 타당성과 신뢰도를 검증할 계획이다. 나아가 실제 자기수용감각 상실에 의해 신체 기능의 일부를 사용하지 못하는 뇌병변 환자를 대상으로 환자의 증상평가 및 훈련에 적용시킬 계획이다.

참고문헌

- [1] M. Bayramoglu, R. Toprak and S. Sozay, "Effects of Osteoarthritis and Fatigue on Proprioception of the Knee Joint" Comm. APRM, Vol. 88, No. 3, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, pp.346~350, 2007.
- [2] S. Hocherman, "Proprioceptive guidance and motor planning of reaching movements to unseen targets" Comm. EBR, Vol. 95, No.2, Experimental Brain Research, pp.349~358, 1993.
- [3] R. Barrack, H. Skinner and S. Cook, "Proprioception of the knee joint: Paradoxical effect of training" Comm. AJPM, Vol. 63, No. 4, American Journal of Physical Medicine, pp.175~181, 1984.
- [4] J. E. Lateiner and R. L. Sainburg, "Differential contributions of vision and proprioception to movement accuracy" Comm. EBR, Vol. 151, No. 4, Experimental Brain Research, pp.446~454, 2003.
- [5] L. B. Bagesteiro, F. R. Sarlegna and R. L. Sainburg, "Differential influence of vision and proprioception on control of movement distance" Comm. EBR, Vol. 171, No. 3, Experimental Brain Research, pp.358~370, 2006.
- [6] L. Carey, L. Oke and T. Matyas, "Impaired limb position sense after stroke: A Quantitative test for clinical use" Comm. APMR, Vol. 77, No. 12, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, pp.1271~1278, 1996.
- [7] A. L. Betker, T. Szturm, Z. M. Moussavi and C. Nett, "Video game-based exercises for balance rehabilitation: a single-subject design" Comm. APMR,

