

Original Article

Open Access

노인의 균형증진을 위한 가상현실 기반 훈련의 몰입도에 따른 균형능력 비교

김영성 · 박민철†

부산성모병원 재활의학과, ¹부산가톨릭대학교 물리치료과

Comparison of Balance Ability according to the Immersion Level of Virtual Reality-based Training for the Balance Enhancement of the Elderly

Yeoung-Sung Kim · Min-Chull Park†

Department of Rehabilitation Medicine, Busan St. Mary's hospital

¹Department of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

Received: May 23, 2018 / Revised: July 18, 2018 / Accepted: July 18, 2018

© 2018 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation 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.

| Abstract |

Purpose: This study aimed to compare balance ability according to the immersion level of virtual reality-based training for the balance enhancement of the elderly.

Methods: This study included 48 elderly people aged 65 years and older (male 16, female 32). According to the immersion level of applied virtual reality training, 16, 17, and 15 persons were randomly assigned to full immersion, semi-immersion, and control groups. The subjects who were assigned to the full immersion group and semi-immersion group received virtual reality training for 6 weeks at 20 min at a time, 3 times per week. The control group received no intervention. Balance ability was evaluated by measuring the stability limit and the tandem walking test before and after the intervention.

Results: Results showed significant differences among the three groups in the limit of stability of all directions and the tandem walking test after the intervention. The results of the limit of stability showed a significantly higher value in the full-immersion group than in the control group, and the results of the tandem walking test showed a significantly lower value in the full-immersion and semi-immersion groups than in the control group.

Conclusion: The results indicate that the head-mounted display equipment for applying full-immersion virtual training is the most effective in enhancing the balance ability of the elderly.

Key Words: Virtual-reality-based training, Immersion level muscle, Head-mounted display, Elderly balance enhancement

†Corresponding Author : Min-Chull Park (mcpark@cup.ac.kr)

I. 서론

낙상은 노인의 기능을 감소시키고 높은 사망률과 유병률을 초래하는 흔하고 복합적인 증후군이다(Ungar et al., 2013). 매년 노인의 셋 중 한명이 낙상을 겪고 있으며, 이들 중 20~30%는 독립적인 생활이 어려울 정도의 손상을 받는다(Alexander, 1992). 이에 노인의 낙상을 예방하는 것이 노인의 삶의 질과 생존을 위해서 매우 중요하다.

노화가 진행되면서 노인의 근육과 관절의 생리학적 퇴행 뿐 아니라 운동의 협응 및 조절기능이 저하된다(Woollacott et al., 1986). 노화는 모든 감각체계의 퇴행을 유발시키고, 특히 균형과 높은 관계를 보이는 고유수용성 감각과 진정감각의 저하를 유발시켜 일상 생활을 수행하는데 영향을 주는 정도의 균형능력의 감소를 유발시킨다(Goble et al., 2009). 노화로 인한 생리적인 퇴행은 균형능력을 저하시켜 보행 시 몸의 흔들림을 증가시키고 체중이동에 대한 불안감을 느끼게 한다(Bronstein, 1996). 또한, 보행 중 낙상을 유발시키게 될 것이다(Rubenstein, 2006). 이 같은 문제를 해결하기 위해서 노인의 낙상예방을 위한 프로그램과 구체적인 균형훈련에 대한 연구는 최근까지 지속적으로 이루어지고 있지만(Hyun et al., 2014), 노인의 균형능력을 증진시키는 것은 쉽지 않다.

기존의 연구들은 노인의 낙상예방을 위한 방법으로 다양한 균형 훈련 및 활동을 수행하였다(Balsalobre-Fernández et al., 2018; Mortazavi et al., 2018). 이와 더불어 시각적 자극을 이용한 되먹임 방법을 이용하여 훈련의 효과를 높이고자 하기도 하였다. 이 시각적 되먹임을 이용한 방법의 경우 전정계 손상이 많은 노인에게 균형을 조절하여 안정적인 자세를 유지하는데 효과적인 방법으로 보고되었다(Anson et al., 2018). 최근 가상현실(virtual reality, VR)이 현대사회에 유용하게 사용되면서 환자의 신체적 능력향상을 목적으로 하는 의료기술 융합, 복합 연구가 활발하게 진행되고 있다(Egger et al., 2017). 특히 머리착용 디스플레이(head mount display, HMD) 장비의 발달로 균형

훈련에서 시각적 피드백을 보다 효과적으로 제공할 수 있을 것이다. 기존에도 닌텐도 Wii와 같은 장비를 이용하여 가상현실 훈련을 수행할 수 있었지만, 머리착용 디스플레이를 통한 현실감 높은 가상현실을 제공함으로써 현재의 가상현실 훈련은 기존과는 차별화된 시청각자극을 제공할 것이다.

가상현실이란 가상의 공간에 피사체와 자신을 일치시켜 실제적으로 본인의 몸을 조절하기 때문에 집중력과 입체감이 극대화 된다. 자극에 대한 지속적인 반응이 필요하며 현실에서 행하지 못하는 다양한 경험을 주어 시각, 청각, 그리고 체성감각 등의 감각을 효율적으로 받아들여지게 하기 때문에 사용자에게 더 몰입감 있는 가상현실 체험을 제공할 수 있다(Witmer & Singer, 1998). 그렇기 때문에 가상현실에서의 몰입 정도는 훈련의 효과에 지대한 영향을 미칠 수 있다. 기존의 가상현실 훈련은 모니터를 통해 수행한 방법이었다면, 지금은 머리착용 디스플레이 장비를 활용하여 1인칭 시점의 가상현실 공간 내 훈련으로 완전한 몰입을 이끌어 내는데 효과적일 것이라 생각된다. 재활분야에서는 기존의 가상현실을 이용한 방법들에 대한 연구들은 여러 수행되었지만(Saposnik et al., 2016). 아직 머리착용 디스플레이 장비를 활용한 균형 훈련에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 머리착용 디스플레이 장비를 활용하여 몰입도를 증대시킨 가상현실 공간에서의 균형훈련 재할이 노인의 균형능력에 미치는 영향을 알아보려고 하였고, 이를 알아보기 위해 가상현실 훈련의 몰입 정도에 따른 균형능력의 비교를 수행하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 65세 이상 노인 48명으로(남성 16, 여성 32), 연구의 목적과 방법을 듣고 자발적으로 참여한 자를 기준으로 선발하였다. 선발된 대상자는

적용될 가상현실 균형훈련방법에 따라 완전몰입군, 반몰입군, 그리고 대조군에 임의로 배정되었다. 모든 대상자는 각 집단에 16명(남성 6, 여성 10), 17명(남성 6, 여성 11), 그리고 15명(남성 4, 여성 11)이 배정되었다. 대상자 선정기준은 연구자의 지시에 대해 이해와 협조가 가능하며, 한국판 간이 정신 상태 검사(MMSE-K) 30점으로 인지 기능에 문제가 없는 자로 정하였다. 또한 가상현실 증재를 적용 받기 때문에 안과질환이 없는 자, 그리고 균형 훈련 및 평가를 수행하기 위해 독립적으로 보행이 가능한 자를 참여 기준으로 정하였다. 본 연구의 전 과정은 연구윤리를 준수하여 수행되었으며, 부산가톨릭대학교 윤리위원회의 승인을 받았다(CUPIRB-2016-020).

2. 실험 방법

1) 실험과정

본 연구의 실험은 부산광역시 소재의 B병원에서 수행되었고, 모든 대상자는 실험장소에 도착하여 실험 실시 전 10분간 휴식을 취한 뒤 실험에 참여하였다. 완전몰입군, 반몰입군, 그리고 대조군에 배정된 모든 대상자는 증재 전과 후에 안정성한계와 일자건기검사를 받았고, 완전몰입군과 반몰입군에 배정된 대상자는 1회 20분 가상현실 훈련을 주 3회로 6주간 총 18회를 적용받았다.

2) 가상현실 균형훈련

(1) 완전몰입군

완전몰입 가상훈련은 머리착용 디스플레이 장비(head mount display, HMD)로 구성된 가상현실 장비를 착용하여 가상의 환경에서 수행되는 훈련으로 정의된다(Park, 2003). 이는 360도 입체적으로 수용되는 시각 정보를 이용하기 때문에 몰입도가 2차원적인 또는 3차원적인 반몰입에 비해 높기 때문에 완전몰입으로 분류된다. 본 연구에서는 Galaxy7(SM-G930S, Samsung inc, Korea)을 장착한 머리착용 디스플레이 장비(VR

MAX, TENKYO, China)를 이용하여 가상현실 훈련을 적용하였고, App Teeka가 개발한 Rope Crossing Adventure VR (UAE, 2016) 어플리케이션을 이용하여 균형훈련을 받았다. 균형 훈련은 가상현실에서의 외줄에 올라 좌우방향으로 이동하는 체 중심을 중앙으로 조절하여 외줄타기를 안정된 방식으로 수행하게 하는 과제를 수행하였다.

(2) 반몰입군

반몰입 가상훈련은 완전몰입 가상훈련과 달리 일정거리에 놓여진 영상장비를 통해 보여 지는 가상환경 속에서 수행하는 훈련으로 정의된다(Park, 2003). 본 연구에서는 iPhone6(A1586, Apple inc, USA)를 미리 링한 24인치 모니터(S24D300, SAMSUNG inc, Korea)를 사용하여 가상현실 훈련을 적용하였고, Wasted Pixel에서 개발한 Tight Wire (USA, 2016) 어플리케이션을 이용하여 균형훈련을 받았다. 반몰입군에서도 적용된 어플리케이션도 완전몰입군에서 적용된 어플리케이션과 같이 동일한 방식으로 가상현실에서의 외줄에 올라 좌우방향으로 이동하는 체 중심을 중앙으로 조절하여 외줄타기를 안정된 방식으로 수행하게 하는 과제를 수행하였다.

3) 균형능력 측정방법

(1) 안정성 한계검사

본 연구에서 측정된 안정성 한계검사는 Biorescue (RM, INGENIERIE, France)장비를 이용하여 동적균형을 측정하였고, 측정은 양다리를 30°바깥쪽으로 회전시켜(30°로 외회전) 편안하게 선 뒤, 눈높이에 위치한 화면을 주시하여 측정을 수행하였다. 측정은 프로그램이 지시하는 8개 방향에 따라 몸의 중심을 능동적으로 유지할 수 있는 곳까지 최대한 유지하여 그 면적을 분석하는 방법으로 이를 통해 앞, 뒤, 좌, 우 전체 안정성 한계 값을 구할 수 있다. 안정성 한계 값이 클수록 독립적으로 균형을 유지하고 최대한 움직일 수 있는 체중이동 범위가 큰 것을 의미한다. 또한, 선행 연구에 따르면 검사-재검사 방법에서 장비의 신뢰도

는 급간대상관계수(ICC)가 0.84로 입증됨을 보고하여, 높은 신뢰도를 보였다(Song & Park, 2016).

(2) 일자걸기 검사

본 연구에서 측정된 일자걸기 검사는 하지의 운동 능력과 보행 시 균형을 측정할 수 있는 방법으로 바닥에 테이프를 일직선으로 3m 길이로 부착하여 측정을 준비한다. 측정방법은 시작점과 도착점을 설명한 뒤 대상자를 출발선에 서게 한 다음 검사자의 지시에 따라 출발하여 도착하는 시간을 측정하는 것이다. 일자걸기는 앞발의 뒤꿈치가 뒷발의 앞꿈치와 맞닿도록 수행하며, 최대한 빠르게 수행하도록 한다. 선을 이탈한 경우 재측정 하였고, 총 3회 측정된 값을 평균을 내어 사용하였다. 일자걸기 시간이 짧을수록 보행균형능력이 좋음을 나타낸다(Stijntjes et al., 2016). 또한, 선행연구에 따르면 검사-재검사 방법에서 일자걸기 검사의 신뢰도는 급간대상관계수(ICC) 0.88로 높은 신뢰도를 보였다(Rinne et al., 2001).

3. 자료 처리

실험을 통해 얻어진 모든 데이터는 SPSS for Window 12.0을 사용하여 분석하였고, 모든 자료는 평균과 표준 편차로 표기하였다. 측정된 균형검사에 대한 집단 간 비교는 통계적인 검증을 위해서 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하였고, 사후검정은 Fisher's LSD검정을 실시하였다. 그리고 측정된 균형검사에 대한 집단 내 전후 비교는 통계적인 검증을 위해서 대응 t검정을 이용하였다. 통계적 유의수준

(α)은 0.05로 정하였다.

III. 연구 결과

1. 대상자의 일반적 정보

각 집단에 배정된 대상자의 일반적 정보는 Table 1과 같으며, 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다.

2. 가상현실 기반 균형훈련의 몰입도에 따른 안정성한계 값의 비교

균형훈련 후 안정성한계 값은 모든 방향에서 집단 간 통계적인 차이를 보였고($p<0.05$), 완전몰입군이 대조군에 비해 유의하게 높은 값을 보였다($p<0.05$). 균형훈련 전 안정성한계 값은 모든 방향에서 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 균형 훈련 후 안정성한계 값은 완전몰입군에서는 좌, 우, 전방 및 전체 안정성한계에서, 반몰입군에서는 좌, 전, 후방 및 전체 안정성한계에서, 그리고 대조군에서는 좌방 안정성한계에서 균형훈련 전에 비해 유의하게 높은 값을 보였다($p<0.05$)(Table 2).

3. 가상현실 기반 균형훈련의 몰입도에 따른 일자 걸기검사 값의 비교

균형훈련 후 일자 걸기 검사 값은 집단 간 통계적인 차이를 보였고($p<0.05$), 완전몰입군과 반몰입군이 대

Table 1. The characteristics of general subject

	Full-immersion (n=16)	Semi-immersion (n=17)	Control (n=15)	F	p
Age (years)	68.00±2.98	69.33±3.77	68.50±3.39	0.63	0.54
Height (cm)	163.00±3.50	162.40±4.87	161.50±4.56	0.51	0.60
Weight (kg)	57.76±5.13	58.87±4.67	57.81±5.75	0.22	0.80
sex (M:F)	6:10	6:11	4:11		

$p^*<0.05$

Different letters represent statistical differences between groups by Fisher's LSD.

Table 2. Comparison of the limit of stability according to immersion level of virtual-reality-based balance training (unit : mm²)

	Full-immersion (n=16)	Semi-immersion (n=17)	Control (n=15)	F	p	
Pre LOS	L	2757.18±758.62	2340.33±771.10	2273.63±592.37	2.24	0.12
	R	2706.18±706.43	2547.53±884.36	2370.63±557.72	0.89	0.42
	F	3045.00±788.67	2531.00±771.46	2561.75±626.08	2.54	0.09
	B	2418.35±702.52	2356.87±906.13	2082.50±542.34	0.98	0.38
	T	5463.35±1435.70	4887.87±1632.68	4644.25±1140.67	1.47	0.24
Post LOS	L	3076.65±939.69 ^{a#}	2666.27±579.58 ^{ab#}	2285.00±611.97 ^{b#}	3.68	0.03 [*]
	R	3039.53±779.60 ^{a#}	2867.93±653.70 ^{ab}	2379.94±581.25 ^b	4.13	0.02 [*]
	F	3342.59±860.52 ^{a#}	2929.67±590.50 ^{ab#}	2644.63±656.85 ^b	3.95	0.03 [*]
	B	2773.59±853.49 ^a	2604.53±644.47 ^{ab#}	2107.19±554.12 ^b	3.98	0.03 [*]
	T	6116.18±1683.47 ^{a#}	5534.20±1197.37 ^{ab#}	4764.94±1162.60 ^b	3.97	0.03 [*]

p^{*}<0.05

Different letters represent statistical differences between groups by Fisher's LSD.

Indicates a statistically significant difference between pre-post.

LOS (limit of stability), L (left), R (right), F (front), B (back), T (total)

조군에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다(p<0.05). 균형 훈련 전 일자걸기 검사 시간은 집단 간 통계적인 차이를 보이지 않았다. 균형 훈련 후 일자 걸기 검사 값은 완전몰입군과 반몰입군에서는 균형훈련 전에 비해 유의하게 낮은 값을 보였고(p<0.05), 대조군에서는 통계적인 차이를 보이지 않았다(Table 3).

IV. 고 찰

본 연구에서 완전몰입군이 받은 머리착용 디스플레이를 이용한 6주간의 가상현실 균형훈련이 노인의 균형능력을 증진시키는데 가장 효과적이라는 것을 알 수 있었고, 이는 안정성 한계와 일자걸기 검사 결과를

통해 보여주었다. 이에 머리착용 디스플레이 장비를 활용한 완전 몰입형의 가상현실 훈련이 기존의 가상현실 훈련에 비해서 노인의 균형능력 증진에 효과가 있음을 알 수 있었다.

선행연구들은 가상현실을 이용한 동적균형훈련이 노인의 균형능력을 향상시키고(Cho et al., 2014), 낙상의 위험을 감소시켜 노인의 사회적 참여에 도움을 줄 수 있다고 보고하였다(Rendon et al., 2012). 가상현실 훈련은 압력중심에서의 동요 거리를 감소시켜 갑작스러운 자세반응을 향상시킬 수 있고, 체성감각입력을 통하여 동적 균형능력을 향상시키기 때문에 재활 목적으로 다양한 질병에 유용하게 사용되어 왔다(Kim et al., 2014; Liao et al., 2015). 이에 본 연구에서도 노인의 균형능력을 증진을 위한 중재로 가상현실을

Table 3. Comparison of the tandem walking test according to immersion level of virtual-reality-based balance training (unit : second)

	Full-immersion (n=16)	Semi-immersion (n=17)	Control (n=15)	F	p
Pre	10.54±1.72	10.85±2.02	11.47±2.27	0.92	0.41
Post	9.84±1.33 ^{a#}	10.09±1.74 ^{a#}	11.86±2.28 ^b	5.92	0.01 [*]

p^{*}<0.05

Different letters represent statistical differences between groups by Fisher's LSD.

Indicates a statistically significant difference between pre-posts.

기반으로 한 균형훈련을 사용하였다. 본 연구에서 적용된 Rope Crossing Adventure VR과 Tight Wire, 두 가지 가상현실 훈련은 현실에서는 노인들에게 적용하기 위험한 과제들이지만 가상현실에서는 안전하고 흥미롭게 진행 할 수 있었다. 물론 두 어플리케이션이 동일하지 않기 때문에 약간의 그래픽이나 디자인 등에서 차이가 있을 수 있으나 조작 방법 및 훈련 수행 방법과 목적, 그리고 과제가 동일하기 때문에 균형훈련을 하는데 큰 영향을 미치지 않은 것으로 생각된다.

결과적으로 본 실험에서 균형훈련 중재 후 일자걷기 검사는 균형 훈련 후 집단 간 비교에서 완전몰입군과 반몰입군에서 통계적으로 대조군과 유의한 차이를 보였고, 전후 비교에서도 완전몰입군과 반몰입군만 균형훈련 후 증가된 값을 보였다. 본 연구의 중재에 적용된 가상 외출타기 균형훈련은 좌, 우 방향의 안정성 한계를 향상시키는 훈련에 속하기 때문에 일자걷기 검사에서 균형능력의 유의한 증진됨을 나타내었다고 생각된다. Maki 등(1994)은 노인이 눈을 뜬 상태에서 앞, 뒤 흔들림의 총 길이보다 좌, 우의 흔들림이 낙상발생에 더 큰 요인이 된다고 하였다. 특히 본 연구에서 적용된 일자 걷기 검사(tandem walking test)는 좌, 우 흔들림과 밀접한 관계가 있어 반복되는 낙상의 예측치가 높은 검사라 주장 하였다(Stel, 2011). 결과적으로 본 연구에서 완전몰입군과 반몰입군에 적용된 중재는 노인의 균형능력 증진 뿐 아니라 낙상의 예방에 도움이 된다는 것을 알 수 있다. 반면, 안정성 한계의 경우 완전몰입군만 대조군과 통계적인 차이를 보였다. 안정성 한계(limit of stability)는 기저면(base of support)내에서 중력중심선(center of gravity)이 벗어나서있는 자세를 유지할 수 있는 이차원적인 양으로써 넘어지기 전 몸이 움직일 수 있는 최대범위를 말한다. 안정성 한계는 자세조절을 위한 균형능력과 밀접한 관계가 있다(Alexander, 1994). Duque 등(2013)의 경우 머리착용 디스플레이를 활용하여 가상훈련을 수행하여 6mm 정도의 안정성 한계의 증진을 보고하였고, 적용된 가상현실 균형훈련은 안전하고 효율적이라 주

장하였다. 본 연구에서는 비록 전후 비교에서는 통계적인 수치상의 차이에 의해서 완전몰입군과 반몰입군 사이의 큰 차이를 보이지 않았지만 두 집단 모두 실험 전과 비교하여 안정성한계 값이 증가하는 경향을 보였으며, 집단 간 비교에서는 완전몰입군이 유일하게 대조군과의 통계적인 차이를 보였다. 이에 완전몰입군에 사용된 가상현실 기반의 균형훈련이 반몰입군에 비해 균형능력 증진에 보다 효과적인 결과를 보였다고 생각된다. 머리착용 디스플레이를 적용한 완전몰입형 대상자에서 높은 입체감과 넓은 시야각, 그리고 실제시간 추적 등 몰입의 긍정적인 요소에 비교적 많은 영향을 받아 대상자가 느끼게 되는 시각과 지각 그리고 시물레이션의 정도를 높여 몰입도를 향상 시켜주기 때문이라 생각된다(So, 2016). 결과적으로 완전몰입형 머리착용 디스플레이를 활용한 가상현실 기반 균형훈련이 기존의 가상현실 기반 균형훈련에 비해서 노인의 균형증진에 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구에서 통계적인 차이를 보였으나 머리착용 디스플레이를 적용한 완전몰입군의 훈련은 실제 머리 움직임과 가상환경의 이미지 일치도의 차이로 인해 시간격차를 발생시켜 이에 몰입도의 저하를 유발시켰을 것이라 생각되며, 또한 본 연구에서 가상현실 훈련으로 적용된 두 균형훈련 소프트웨어는 서로 달라 완벽한 난이도의 일치를 보이지 못했다는 점에서 한계가 있다. 하지만 이 점은 가상현실 장비의 발전단계인 만큼 앞으로 콘텐츠의 개발과 함께 가상현실 디스플레이의 발달로 보완될 것이며, 추후 과제로 남겨질 것이라 생각된다. 위와 같은 한계점이 있지만 본 연구는 노인을 위한 가상현실 균형훈련의 몰입정도에 따른 과학적 기초자료를 제공하여 앞으로의 가상현실 균형훈련 및 재활 연구에 참고 될 것이라 사료된다. 앞으로의 연구에서는 청각 및 다양한 감각자극을 추가로 적용하여 보다 더 높은 몰입도의 가상현실 훈련을 통한 연구가 진행될 것이다.

V. 결론

머리착용 디스플레이 장비를 적용한 완전몰입형 가상현실 균형훈련은 높은 입체감과 넓은 시야각, 그리고 실제시간 추적 등 몰입의 긍정적인 요소의 증진 통해 높은 몰입감을 제공하고 가상환경 이미지의 일치도를 높여 노인의 균형능력을 증진시키는 훈련으로 적용되기에 기존의 가상현실 장비에 비해 더욱 효과적이다.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2017학년도 부산가톨릭대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Alexander BH, Rivara FP, Wolf ME. The cost and frequency of hospitalization for fall-related injuries in older adults. *American Journal of Public Health*. 1992;82(7):1020-1023.
- Anson E, Ma L, Meetam T, et al. Trunk motion visual feedback during walking improves dynamic balance in older adults: Assessor blinded randomized controlled trial. *Gait Posture*. 2018;62:342-348.
- Balsalobre-Fernández C, Cordon A, Unquiles N, et al. Movement velocity in the chair squat is associated with measures of functional capacity and cognition in elderly people at low risk of fall. *PeerJ*. 2018;6:e4712.
- Bridenbaugh SA, Kressig RW. Laboratory review: the role of gait analysis in seniors mobility and fall prevention. *Aviation, space, and environmental medicine*. *Gerontology*. 2011;57(3):256-264.
- Cho GH, Hwangbo G, Shin HS. The effects of virtual reality-based balance training on balance of the elderly. *Journal of Physical Therapy Science*. 2014;26(4):615-617.
- Duque G, Boersma D, Loza-Diaz G et al. Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers. *Clinical Interventions in Aging*. 2016;8:257-263.
- Egger J, Gall M, Wallner J, et al. HTC Vive MeVisLab integration via OpenVR for medical applications. *PLoS One*. 2017;12(3):e0173972.
- Goble DJ, Coxon JP, Wenderoth N, et al. Proprioceptive sensibility in the elderly: degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2009;33(3):271-278.
- Hyun J, Hwangbo K, Lee CW. The effects of pilates mat exercise on the balance ability of elderly females. *Journal of Physical Therapy Science*. 2014;26(2):291-293.
- Kim SS, Min WK, Kim JH, et al. The effects of VR-based Wii Fit yoga on physical function in middle-aged female LBP patients. *Journal of Physical Therapy Science*. 2014;26(4):549-552.
- Liao YY, Yang YR, Cheng SJ, et al. Virtual reality-based training to improve obstacle-crossing performance and dynamic balance in patients with Parkinson's disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2015;29(7):658-667.
- Maki BE, Holliday PJ, Topper AK. A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *The Journals of Gerontology*. 1994;49(2):72-84.
- Mortazavi H, Tabatabaeichehr M, Golestani A, et al. The effect of Tai Chi exercise on the risk and fear of falling in older adults: a randomized clinical trial. *Materia*

- Socio-Medica*. 2018;30(1):38-42.
- Park SW. Prototype of operation room environment in CAVE™-like system. Ewha womans University. Dissertation of Master's Degree. 2003.
- Rendon AA, Lohman EB, Thorpe D, et al. The effect of virtual reality gaming on dynamic balance in older adults. *Age Ageing*. 2012;41(4):549-552.
- Rinne MB, Pasanen ME, Miilunpalo SI, et al. Test-retest reproducibility and interrater reliability of a motor skill test battery for adults. *International Journal of Sports Medicine*. 2001;22(3):192-200.
- Rubenstein LZ, Josephson KR. Falls and their prevention in elderly people: what does the evidence show? *Medical Clinics of North America*. 2006;90(5):807-824.
- Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, et al. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *The Lancet Neurology*. 2016;15(10):1019-1027.
- So YH. Relationship with educational effects and medium characteristics in virtual reality learning based on immersion gear VR. *CDAK Society of Communication Design*. 2016;54:226-238.
- Song GB, Park EC. The effects of balance training on balance pad and sand on balance and gait ability in stroke patients. *Journal of The Korean Society of Physical Medicine*. 2016;11(1):45-52.
- Stel VS, Smit JH, Pluijm SM, et al. Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2003;56(7):659-668.
- Stijntjes M, de Craen AJ, van der Grond J, et al. Cerebral microbleeds and lacunar infarcts are associated with walking speed independent of cognitive performance in middle-aged to older adults. *Gerontology*. 2016;62(5):500-507.
- Ungar A, Rafannelli M, Iacomelli I, et al. Fall prevention in the elderly. *Clinical Cases in mineral and bone metabolism*. 2013;10(2):91-95.
- Witmer BG, Singer MJ. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. *Browse Journals & Magazines*. 1988;7(3):225-240.
- Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner LM. Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *International Journal of Aging & Human Development*. 1986;23(2):97-114.