



고령의 만성 일측전정장애 환자에서 가상현실 기반 전정운동의 효과와 만족도 조사

최광동, 최서영

부산대학교병원 신경과, 의생명연구원

Satisfaction and Effect Research on Virtual Reality-Based Vestibular Exercise for the Elderly Patients with Chronic Unilateral Vestibulopathy

Kwang-Dong Choi, Seo-Young Choi

Department of Neurology and Biomedical Research Institute, Pusan National University Hospital, Busan, Korea

• Received Oct 26, 2020
Revised Nov 25, 2020
Accepted Nov 25, 2020

• Corresponding Author:
Seo-Young Choi
Department of Neurology, Pusan National University Hospital, 179 Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 49241, Korea
Tel: +82-51-240-7805
Fax: +82-51-240-7805
E-mail: csy035@hanmail.net
ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-5320-7828>

• Copyright © 2020 by
The Korean Balance Society.
All rights reserved.

• This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objectives: To survey the satisfaction of customized vestibular exercise using virtual reality system with mobile head-mounted display (HMD) in the elderly patients with chronic unilateral vestibulopathy, we analyzed questionnaires before and after exercise.

Methods: Sixteen patients (male, 6; median age, 69 years [interquartile range, 65–75 years]) with chronic unilateral vestibulopathy were prospectively enrolled from March 1 to December 31 in 2018. They exercised once a week for 20 to 25 minutes for 4 weeks using the HMD inserted the virtual reality exercise program. Dizziness visual analogue scale (DAS), Korean vestibular disorders activities of daily living scale (ADL), and visual vertigo analogue scale (VVAS) were performed before and after the exercise. After all of the program, the patients were surveyed to measure the satisfaction for the tool and effect of exercise.

Results: DAS, ADL, and VVAS were significantly improved after the vestibular exercise. No one answered unsatisfactory, and at least 62.5% of the patients satisfied the used tool and exercise program. The patients of 50% answered that they satisfied or very satisfied to the efficacy of exercise program. The patients who recovered VVAS more after the exercise were more satisfied to our tools and efficacy of exercise program.

Conclusions: Customized vestibular exercise using virtual reality system with HMD can not only improve dizziness and quality of life, but also made more satisfied to the elderly patients with chronic unilateral vestibulopathy.

Res Vestib Sci 2020;19(4):127-132

Keywords: Customized vestibular exercise; Vestibular rehabilitation; Chronic unilateral vestibulopathy; Virtual reality; Head-mounted display

서 론

전정재활치료는 어지럼 환자에서 적극적으로 고려해

야 하는 치료방법으로, 2016년 임상진료지침은 말초성 전정기능장애에서 반드시 시행해야 하는 치료로 수준 1에 근거하여 추천하였다[1]. 임상에서 가장 흔하게 사용되는

고전적 전정재활치료는 Cawthome-Cooksey의 방법으로, 1940년대 2차 세계대전 이후 군인에게 발생한 많은 어지럼 환자의 증상 개선을 목적으로 만들어진 운동 요법이다[2]. 그 이후 전정재활의 개념이 갱신되고 그 임상적 의미가 강조되면서[3], 개개인의 신체적 증상과 질환의 병인에 따라 운동법을 맞추어 처방하여 전정기능을 회복하게 하려는 맞춤형전정재활치료가 활발히 시도되고 있다[4].

우리나라에서도 대한평형의학회의 지속적인 노력으로 2017년부터 맞춤형전정운동이 신의료기술로 지정되어, 환자의 상태에 따라 적절한 전정재활운동을 처방하여 시행할 수 있게 되었다. 그러나, 만성 지속적 어지럼을 호소하는 고령의 환자에서는 적극적 운동을 꾸준히 수행하기 어려운 것이 현실이다. 이전 한 연구에서도 65세 이상의 균형 장애가 있는 환자 556명을 대상으로 개인의 신체 상태에 맞춰진 운동법을 개인별로 교육해서 처방하였으나, 실제 일주일에 5일 이상 시행한 사람은 9.2%, 아예 운동을 하지 않은 사람은 36.6%에 달했다. 설문조사 결과 운동을 하지 않은 이유는 동기 부족, 운동이 너무 힘들어서, 너무 길어서 등이었다[5].

따라서, 맞춤형전정운동을 지속적으로 할 수 있게 하기 위해서는 치료자의 독려, 개인의 동기 부여와 흥미 유발이 중요하며, 동시에 적절한 운동 강도와 안전성이 고려되어야 한다. 경험이 많은 훈련자나 보호자, 혹은 감시자의 감독 하에 매일 일정 시간 이상 운동하는 방법이 가장 이상적일 수 있으나, 현재의 의료 현실에서는 인력과 공간의 부족, 환자의 경제적 문제, 보험 수가의 문제 때문에 처방을 해도 수행이 쉽지 않은 것이 사실이다. 결국, 환자가 가능한 공간과 시간에서 스스로 효과적인 운동을 지속적으로 할 수 있게 하는 새로운 대안이 필요하다.

최근 의학 분야에서 활발히 연구되고 있는 가상현실(virtual reality, VR)은 다양한 시각 자극을 중심으로 하여 신체의 움직임을 유도하고, 이를 모니터링하여 다시 치료에 응용할 수 있게 할 수 있는 다각적 접근이 가능한 도구로, 정신과의 불안과 우울, 인지 치료 뿐만 아니라 뇌졸중의 재활치료에서도 효과가 인정된 시스템이다[6,7]. 특히 게임화를 접목한 프로그램 수행이 가능하므로 순응도 유지에 긍정적인 효과를 줄 수 있어, 재활 치료의 난관을 극복할 수 있는 치료 도구로 사용되고 있다.

본 연구에서는 3개월 이상 어지럼이 지속되어 내원한 환자 중 만성 일측전정장애로 진단된 60세 이상의 고령 환자에서 VR 기반 맞춤형전정운동을 수행하고, 증상의 호

전 여부와 프로그램을 수행했던 VR 도구, 운동 방법, 그 효과에 대한 개인의 만족도를 조사해보고자 한다.

대상 및 방법

2018년 8월 1일부터 2019년 12월 31일까지 부산대학교 병원 신경과에 어지럼을 주소로 내원한 환자 중, 나이가 만 60세 이상이면서 만성 일측전정장애로 확진된 환자를 대상으로 하였다. 만성 일측전정장애는 비디오두부충동 검사에서 한쪽 수평반고리관의 전정안반사 이득이 0.7 미만이면서 보상성 신속운동이 관찰되고, 급성 현훈의 과거력이 내원일 기준 3개월 이상 이전에 있었던 경우로 정의하였다. 전정안반사 이득이 양쪽 수평반고리관에서 저하되어 있거나, 중추성 어지럼이 의심되는 경우, 인지기능 문제로 운동에 협조가 되지 않거나 운동법을 이해할 수 없는 경우, 이전 뇌경색이 있었던 경우, 정형외과적 혹은 기타 문제로 독립 보행이 어려운 경우는 연구에서 제외하였다. 이 연구는 저자들의 소속 연구기관의 기관윤리심의위원회의 심의를 통과하였다(No. 1903-001-076).

등록 환자는 등록 당일 설문 평가와 비디오두부충동검사(SLMED, Seoul, Korea)를 통해 상태를 확인한 후, 운동 방법에 대해 충분히 설명을 들은 후 동의서를 작성하고 운동을 시작하였다. 이후 VR 기반 mobile head-mounted display (HMD) 기기를 착용하고 의자에 앉은 상태에서 감시자의 감시 하에 운동하였다. 약 20분에서 25분 가량, 일주일에 1회 운동하였으며, 4주에 걸쳐 4번의 운동 이후 같은 설문과 검사를 통해 그 효과를 확인하고 프로그램을 수행했던 VR 도구, 운동 방법, 그리고 효과 만족도에 대한 질문에 답했다.

VR 프로그램에서 목표물은 시야의 가운데 위치하고, 운동 방향을 소리와 글자로 지시할 수 있도록 설계되었다. 목표물을 보면서 환자가 전정안반사 시선안정운동, 머리와 눈을 같은 방향으로 함께 움직일 수 있는 운동, 270도의 시야 안에서 눈-머리 운동을 통해 목표물을 찾아 점수를 획득하는 운동으로 구성했다. 처음에는 느리게 시작하고 환자가 힘들어하지 않을 정도까지 선택해서 빠르게 할 수 있도록 단계를 나누었다(0.5-1.0 Hz). 프로그램에 사용된 HMD는 머리를 움직이는 각도를 모니터링할 수 있기 때문에, 운동을 할 때 pitch 혹은 yaw 축을 중심으로 양 옆, 아래 위로 15도씩 10번을 충분히 움직여야 다음 단계로 step-up이 가능하게 설계했다.

운동 전후 전정안반사의 확인을 위해 비디오두부충동 검사를 시행하였다. 환자는 앉은 상태에서 우안에 카메라가 있는 고글을 머리에 단단히 장착한 후 1 m 앞에 있는 목표물을 주시한 상태로 검사하였다. 검사자가 환자 뒤에서 머리를 잡고 양쪽으로 빠른 속도로 돌려 눈과 머리의 속도 그래프를 확인하고, 양쪽 수평반고리관 전정안반사 이득과 교정단속운동을 확인하였다. 이득이 0.7 미만이고 교정단속운동이 관찰되는 경우 전정장애로 확인하였다.

운동 전후 설문으로, 증상 확인을 위해 dizziness visual analogue scale (DAS)와 visual vertigo analogue scale (VVAS), 일상생활 중 삶의 질에 미치는 영향에 대한 전정질환 일상생활 수행척도 설문도구(Korean vestibular disorders activities of daily living scale, ADL)을 확인하였다. 치료 전후 설문 결과뿐만 아니라, 각 설문 결과의 치료 전후 차이인 Δ DAS (DAS before treatment-DAS after treatment), Δ VVAS (VVAS before treatment-VVAS after treatment), Δ ADL (ADL before treatment-ADL after treatment)도 함께 분석하였다.

만족도의 평가를 위해, (1) ‘4주간의 운동기간 동안 사용했던 기기와 방법에 만족하십니까?’와 (2) ‘4주간의 운동 효과에 만족하십니까?’의 질문에 매우 만족한다, 만족한다, 보통이다, 만족하지 않는다, 매우 만족하지 않는다는 5개 중 하나로 답하게 하였다. 마지막으로 이 훈련기기를 구입할 의사가 있는지 질문했다.

통계적 검증은 IBM SPSS Statistics ver. 20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 치료 전후의 차이를 확인하였으며, 모수적 통계로는 Student *t*-test, chi-square test, 비모수적 통계법으로 Mann-Whitney test, Fisher test를 통해 각 군의 차이를 비교하였고, 유의한 *p*값은 0.05 미만으로 해석하였다.

결 과

총 16명의 환자가 등록되었으며, 남자는 6명이었고, 나이 중간값은 69세(사분위수, 65-75세)였다. 대상 환자의 비디오두부충동검사의 수평반고리관 전정안반사 이득은 병변측 0.4±0.2, 정상측 0.9±0.1로, 운동 후와 통계적인 차이를 보이지 않았다(paired *t*-test, *p*=0.051) (Table 1). 운동 전 DAS는 5.5±2.3, VVAS는 23.0±20.0이었으며, 운동 후 모두 통계적으로 유의하게 호전되었다(Table 1).

훈련 기기인 HMD와 훈련 방법에 대한 만족도는 16명이 모두 보통 이상의 만족도로 대답했고(100%), 이중 10명(62.5%)이 만족하거나 혹은 매우 만족한다고 대답했다(Fig. 1). 운동의 효과에 대한 만족도를 질문했을 때, 1명이 불만족한다고 대답했고, 나머지 15명(93.8%)은 보통 이상으로 만족하며, 8명(50.0%)이 만족하거나 매우 만족한다고 대답했다(Fig. 1).

훈련 기기와 방법에 대한 만족도 조사에서 보통이라고 대답한 환자(6명)와 만족 혹은 매우 만족으로 대답한 환자(10명)로 나누어 설문조사 결과를 분석했다. 만족도가 보통이라고 대답한 환자의 Δ VVAS 중간값은 1.5, 만족 이상으로 대답한 환자의 Δ VVAS 중간값은 11로, 통계적 유의성은 없었으나 만족도가 높은 군에서 VVAS가 더 많이 호전되는 경향을 확인했다(*p*=0.065) (Fig. 2A). 나이, 치료 전후 DAS, VVAS, ADL, 전정안반사 이득, Δ ADL, Δ DAS는 두 군 간에 차이를 보이지 않았다.

운동의 효과에 대한 만족도에서 불만족과 보통이라고 대답한 환자(8명)와 만족 혹은 매우 만족으로 대답한 환자(8명)로 나누어 특징을 분석하면, Δ VVAS는 중간값이 각각 1.5와 14.5로 만족도가 높은 군에서 VVAS가 유의하게 호전된 것으로 확인되었다(*p*=0.005) (Fig. 2B). 훈련 기기에 대한 만족도 결과와 마찬가지로, 나이, 치료 전후 DAS, VVAS, ADL, 전정안반사 이득, Δ ADL, Δ DAS는 두

Table 1. The result of VOR gain from horizontal canal using video head impulse test and subjective scores

Variable	Before treatment	After treatment	<i>p</i> -value
Ipsilesional VOR gain	0.4±0.2	0.5±0.2	0.051
Contralesional VOR gain	0.9±0.1	0.9±0.1	0.410
Dizziness visual analogue scale	5.5±2.3	4.0±2.6	<0.0001
Vestibular activities of daily living	60.3±24.3	48.0±15.5	0.008
Visual vertigo analogue scale	23.0±20.0	13.9±17.3	0.002

Values are presented as mean±standard deviation.
VOR, vestibulo-ocular reflex.

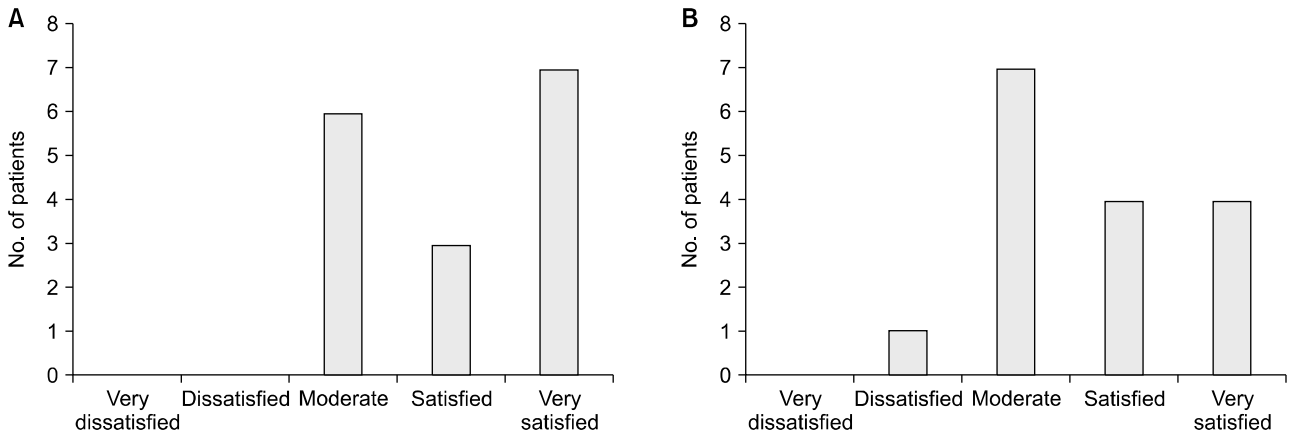


Fig. 1. The results of survey for satisfaction to the virtual reality exercise program with mobile head-mount display (A) and the efficacy of exercise program during 4 weeks (B).

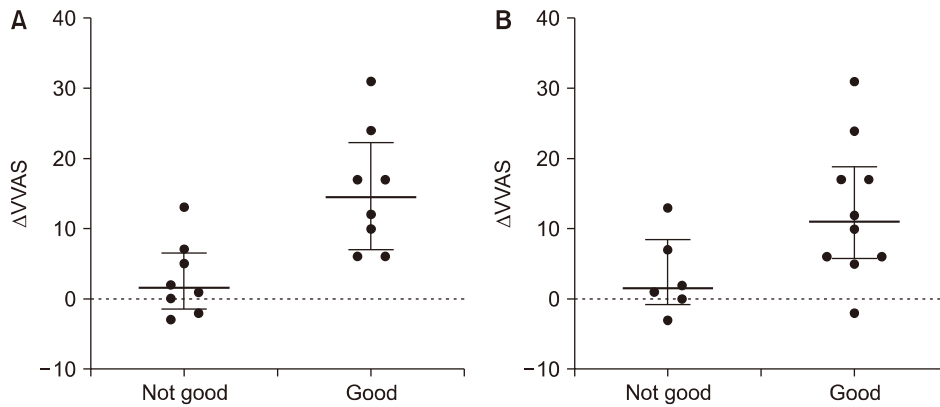


Fig. 2. The change of visual vertigo analogue scale (Δ VVAS) between before and after exercise (VVAS before treatment–VVAS after treatment) depending on the satisfaction level. The patients who answered that he/she was satisfied to the virtual reality exercise program with mobile head-mount display (A) and the efficacy of exercise program during 4 weeks (B) were more improved visual vertigo after exercise than before. The patients who were more satisfied with the exercise program ($p=0.065$, Mann-Whitney test) and the efficacy after the exercise ($p=0.005$, Mann-Whitney test) tend to score higher Δ VVAS.

군 간에 차이를 보이지 않았다.

구입 의사 문의에 대해 구입하겠다고 답한 사람은 9명 (56.3%), 구입하지 않겠다고 답한 사람은 7명(43.8%)이었다. 구입 의사에 따라 치료 전, 치료 후 DAS, VVAS, ADL 은 차이를 보이지 않았고, Δ DAS, Δ ADL, Δ DVAS 모두 구입 의사가 있는 환자와 없는 환자 간에 차이를 보이지 않았다.

고 찰

본 연구에서 개발된 HMD를 이용한 VR 기반 맞춤형 전정운동은 고령의 만성 일측전정장애 환자에서 주관적

어지럼을 줄이고, 시각 어지럼을 개선시키며, 삶의 질을 유의하게 높일 수 있는 치료법임을 확인했다. 운동 도구와 방법, 효과에 대해서는 환자의 90%–100%에서 보통 이상으로 만족하며, 50%–63%가 만족하거나 매우 만족한다고 하였다. 특히, 시각 어지럼이 많이 개선된 군에서 훈련 기기에 대한 만족도와 운동 효과에 대한 만족도가 높았다.

최근에는 다양한 도구를 이용한 VR 기반 재활에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전정재활운동도 스크린에 프로젝터로 원하는 장면을 송출하거나[8,9], 이미 시장에서 구입할 수 있는 닌텐도 위(Wii) 게임을 활용한 연구들이 있고[10], 더 최근에는 게임용 HMD나 스마트폰 VR

프로그램을 사용한 연구들이 있다. 그중 스마트폰을 사용한 VR 전정재활운동을 사용한 한 연구에서는[11], 만성 일측전정장애 환자의 어지럼 장애척도(Dizziness Handicap Inventory, DHI)와 정적 자세검사(static posturography) 결과가 호전됨을 확인했다. 이 연구에서는 VR 기반 전정재활(4주간 매일 하루 20분 이상 레이스 게임)과 고전적 전정재활운동(일주일 2번 이상, 30분 이상 감시자 감시 하 전정재활운동)의 결과를 비교했으며, 두 군에서 모두 비슷한 정도로 주관적 어지럼 증상과 객관적 균형능력, 전정안반사 이득이 호전되는 것이 확인되었다. 저자들은 이를 수평반고리반 기원 전정안반사의 이득의 적응(adaptation)으로 인한 증상의 호전으로 설명하고 있으며[11], 이는 본 연구의 결과와는 차이를 보인다. 본 연구에서는 전정안반사 이득의 호전이 없음에도 불구하고 실제 주관적 증상이 호전되는 결과를 보였으며, 이는 적응보다는 재활운동을 통한 습관화(habituation)에 근원한 증상의 호전으로 생각된다.

만성 양측전정장애 환자에서 전정안반사 보상 맞춤형 훈련법을 2년간 꾸준히 했을 경우 자세나 보행뿐만 아니라 전정안반사 이득이 회복되는 것으로 미루어 보아[12], 운동량과 시간이 전정안반사의 적응을 통한 이득의 회복으로 연결될 수 있음을 유추해 볼 수 있다. 본 연구에서는 노인 환자를 대상으로 운동을 진행했기 때문에 기기 조작 등의 문제로 운동 시간을 늘리는 것이 제한적이었으며, 추후 임상에서는 이를 개선할 수 있는 적용법이 개발되기를 기대해 볼 수 있겠다.

VR 기반의 시각자극을 사용한 재활 프로그램은 말초 전정장애와 시각 어지럼을 가지고 있는 환자들의 증상을 호전시키는 데 유용한 도구임이 밝혀져 있다[8]. 그 기전으로, 복잡한 시각 자극에 노출시킴으로써 습관화를 통해 감각계의 reweighting을 유도하여 증상을 경감시킨다고 알려져 있다[13]. 본 연구에서는 시각 어지럼의 개선이 환자의 증상 개선 만족도뿐만 아니라 훈련의 방법, 기기의 만족도와도 직접적으로 연관됨을 확인하였다. 시각 어지럼 환자의 전정재활에 대한 여러 이전 연구들이 밝혔듯이, 시각 어지럼은 동적 시각 자극이 포함되어 있는 운동을 수행했을 때 유의하게 호전되었다[8,13]. 동적 시각 자극의 종류 중 어떤 것이 더 유용한지는 아직 밝혀져 있지 않으나, 각 개인의 일상생활이나 주변에서 많이 접할 수 있는 시각 자극이 좀 더 증상을 호전시킬 수 있기 때문에 HMD를 통해 실제 현실과 가장 비슷한 자극을 사용했던

본 연구의 방법이 환자 만족도 상승에 좀 더 유리했다고 생각한다[8]. 또, 노인들은 일반적으로 사회·경제활동이 많은 젊은 사람에 비해 실외에서 활동하는 시간이 적을 수 있고, 복잡한 시각 자극에 노출되는 기회도 많지 않을 수 있다. 따라서 VR을 통한 적극적 동적 시각 자극의 제공이 만족도의 향상에 도움을 주었을 수도 있겠다.

전정재활치료는 고령의 환자에서도 환자의 나이와 관계없이 어지럼 증상과 삶의 질을 개선시키는 데 도움을 주고 충분한 회복 효과가 증명되어 있기 때문에[14], 나이보다는 개인의 전정기능과 기저 근골격계 등 관련 질환, 안전한 주위 환경을 고려하여 처방되어야 한다. HMD는 VR을 가장 현실적으로 보여주는 하나 현실 시야를 가리기 때문에, 기기를 착용하고 걷거나 움직이면 바닥이나 진행방향에 장애물이 있을 때 넘어지거나 부딪힐 수 있는 위험이 있다. 특히 노인은 항상 낙상의 위험이 있기 때문에, 본 연구에서는 반드시 앉은 상태에서 감시 하에 운동을 수행하도록 하였다. 따라서 걷는 운동이나 서서 균형을 잡는 운동은 연구에서 배제되었다. 그럼에도 불구하고 본 연구에 사용된 운동을 통해 어지럼 정도, 삶의 질 지수가 향상된 결과를 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 DAS가 운동 후 유의하게 호전되었으나, 이는 만족도와 통계적 유의성을 보이지 않았다. 이전 한 연구에서는 자세검사를 포함한 전정기능검사 결과는 DHI와 상관관계를 보이지 않으며, 적응이 잘 되어있는 전정장애 환자에서는 DHI가 좀 더 낮게 확인된다는 결과를 발표한 바 있다[15]. 결국 객관적 기능과 주관적 증상이 일치하지 않는다는 결론이며, 이는 만족도 조사에서도 확인할 수 있었다. 병원과의 접근성, 사회·경제적 여건, 개인의 기대치 등이 모두 조사에 반영될 수 있기 때문에 상호 연관성이 명확하지 않을 수 있다.

마찬가지로, 구입 의사를 물었을 때 기기를 구입하겠다고 대답한 사람은 56.3%였으나, 이는 실제 환자의 증상이나 증상의 호전 여부, 혹은 만족도와는 관련이 없었다. 설문 조사 당시 환자에게 가격이나 시장성에 대한 정보를 주지 않았기 때문에, 운동 자체에 대한 만족도와 증상 호전에 대한 고려보다 경제적인 상황 등의 기타 요소가 변수로 작용했을 가능성이 높다고 생각된다.

노인에서 VR을 이용한 전정재활운동은 어지럼의 호전과 삶의 질 개선에 도움이 될 뿐 만 아니라, 환자의 만족도 또한 높은 것으로 확인되었다. 서두에서 밝힌 것처럼, 이미 전정재활은 말초성 전정장애에서 그 유용성이 입증

되어 있다[1]. 본 연구에서는 고식적 전정재활을 한 대조군이 없었기 때문에 VR 프로그램이 고식적 전정재활보다 유용한지에 대해서는 더 연구가 필요하다. 다만, 젊은 사람들에게 게임으로 주로 이용되는 HMD 기반 VR 프로그램이 노인에게도 어렵지 않게, 효과적으로 적용될 수 있는 치료라고 결론 내릴 수 있다. 또한, 이 프로그램의 정확한 치료 효과를 판정하기 위해서는 다기관 무작위배정 연구가 필요하며, 이 연구의 결과는 비교적 짧은 기간 동안 소수의 환자에서 확인했기 때문에 그 해석에 주의할 필요가 있다. 추후 정밀한 기기와 프로그래밍을 통한 VR 전정재활운동이 개발되면 임상에서 유용하게 사용할 수 있을 것이라 기대한다.

중심 단어: 맞춤형전정운동, 전정재활, 만성 일측전정장애, 가상현실, 두부타재형 디스플레이

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자들은 이 논문과 관련하여 이해관계의 충돌이 없음을 명시합니다.

감사의 글(ACKNOWLEDGMENTS)

이 논문은 2020년도 부산대학교병원 임상연구비 지원과 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2018R1D1A1B07040986). 공동 개발과 공동 특허 출원에 애써주신 제이에스씨(주)와 이세환 소장님께 감사드립니다(특허 출원 10-2019-0028899).

REFERENCES

- Hall CD, Herdman SJ, Whitney SL, Cass SP, Clendaniel RA, Fife TD, et al. Vestibular rehabilitation for peripheral vestibular hypofunction: an evidence-based clinical practice guideline: from the American Physical Therapy Association neurology section. *J Neurol Phys Ther* 2016;40:124-55.
- Cooksey FS. Rehabilitation in vestibular injuries. *Proc R Soc Med* 1946;39:273-8.
- Lacour M, Helmchen C, Vidal PP. Vestibular compensation: the neuro-otologist's best friend. *J Neurol* 2016;263 Suppl 1:S54-64.
- Lacour M, Bernard-Demanze L. Interaction between vestibular compensation mechanisms and vestibular rehabilitation therapy: 10 recommendations for optimal functional recovery. *Front Neurol* 2015;5:285.
- Forkan R, Pumper B, Smyth N, Wirkkala H, Ciol MA, Shumway-Cook A. Exercise adherence following physical therapy intervention in older adults with impaired balance. *Phys Ther* 2006;86:401-10.
- Park MJ, Kim DJ, Lee U, Na EJ, Jeon HJ. A literature overview of virtual reality (VR) in treatment of psychiatric disorders: recent advances and limitations. *Front Psychiatry* 2019;10:505.
- Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;2015:CD008349.
- Pavlou M, Kanegaonkar RG, Swapp D, Bamiou DE, Slater M, Luxon LM. The effect of virtual reality on visual vertigo symptoms in patients with peripheral vestibular dysfunction: a pilot study. *J Vestib Res* 2012;22:273-81.
- Rosiak O, Krajewski K, Woszczak M, Jozefowicz-Korczynska M. Evaluation of the effectiveness of a virtual reality-based exercise program for unilateral peripheral vestibular deficit. *J Vestib Res* 2018;28:409-15.
- Jahn K, Saul AK, Elstner M, Sapa K, Kellerer S. Vestibular rehabilitation therapy and Nintendo Wii balance board training both improve postural control in bilateral vestibulopathy. *J Neurol* 2018;265(Suppl 1):70-3.
- Micarelli A, Viziano A, Augimeri I, Micarelli D, Alessandrini M. Three-dimensional head-mounted gaming task procedure maximizes effects of vestibular rehabilitation in unilateral vestibular hypofunction: a randomized controlled pilot trial. *Int J Rehabil Res* 2017;40:325-32.
- Gimmon Y, Migliaccio AA, Kim KJ, Schubert MC. VOR adaptation training and retention in a patient with profound bilateral vestibular hypofunction. *Laryngoscope* 2019;129:2568-73.
- Pavlou M, Lingeswaran A, Davies RA, Gresty MA, Bronstein AM. Simulator based rehabilitation in refractory dizziness. *J Neurol* 2004;251:983-95.
- Hall CD, Heusel-Gillig L, Tusa RJ, Herdman SJ. Efficacy of gaze stability exercises in older adults with dizziness. *J Neurol Phys Ther* 2010;34:64-9.
- Yip CW, Strupp M. The Dizziness Handicap Inventory does not correlate with vestibular function tests: a prospective study. *J Neurol* 2018;265:1210-8.