

## 균형감각 증진용 가상현실 기반 전정재활 시스템 개발 및 사용성 평가

박근홍 · 이현민<sup>†</sup>

침단우암병원, <sup>1</sup>호남대학교 보건과학대학 물리치료학과

### Development and Usability Evaluation of A Virtual Reality-Based Vestibular Rehabilitation System for Balance Enhancement

Geun-Hong Park, PT, MS · Hyun-Min Lee, PT, PhD<sup>†</sup>

Department of Rehabilitation Center, Cheomdan Wooam Hospital

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Honam University

Received: November 13 2023 / Revised: November 13 2023 / Accepted: November 23 2023

© 2023 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** The primary objective of this study was to develop a virtual reality-based vestibular rehabilitation system to enhance balance perception, target rehabilitation specialists, and evaluate its usability. A key goal was establishing a system refinement strategy based on the collected data.

**METHODS:** We conducted a study involving ten adults aged 10 to 29 in Gwangju Metropolitan City to evaluate the usability of a virtual reality-based vestibular rehabilitation system to enhance balance perception. After introducing the product and explaining its use to the participants, balance assessments and training were conducted using computerized dynamic posturography (CDP) (also called the test of balance

[TOB]). Subsequently, participants were given a questionnaire to evaluate subjective stability, operability, and satisfaction. Frequency analysis was utilized to determine the frequency of the variable values of the measurement items in the survey for descriptive statistics.

**RESULTS:** We found that the average usability score was 2.587. When broken down by category, stability received an average rating of 2.725, operability scored an average of 2.783, and satisfaction averaged 2.454. These findings suggest that most participants experienced positive sentiments and considerable satisfaction.

**CONCLUSION:** The study successfully developed a virtual reality-based vestibular rehabilitation system, which was an improvement over the previous model and addressed its shortcomings. The results show that users with vestibular impairments are satisfied and more engaged with this system, indicating that additional studies are warranted.

<sup>†</sup>Corresponding Author : Hyun-Min Lee  
leehm@honam.ac.kr, <http://orcid.org/0000-0001-8001-5066>

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.

**Key Words:** Balance, Posture, Usability, Vestibular Rehabilitation, Virtual Reality

## I. 서론

급격한 사회환경의 변화와 노령인구의 증가에 맞물려 면역력 저하에 따른 내이질환과 신경성 질환으로 어지럼증 환자가 증가하고 있지만 명확히 정립된 치료 방법이 부족하다[1,2]. 심리적 혹은 평형감각 자체의 정량화 방법이 개발되지 않은 상황에서 만성적인 어지럼을 호소하는 경우 낙상이라는 이차적인 문제로 이어져 삶의 질을 저하시키고 사회로의 복귀가 지체된다[3,4]. 기존 어지럼증 증상 완화를 위한 치료로 임상 현장에서는 전정 재활 운동보다 대중치료에 해당하는 약물 처방이 주로 이뤄지고 있다[2]. 수면제 성분의 전정 억제제 남용이 우려되며, 약물 사용도 권장 기간보다 최대 43.8배 긴 것으로 나타나고 있다.

현재 균형장애나 어지럼증 환자의 진단에 널리 이용되고 있는 전통적인 전정기능 검사는 주로 눈떨림을 이용하는 안뜰눈운동계(vestibulo-ocular system)를 평가하게 되며, 몸감각(somatosensation)이나 운동계(motor system)를 같이 평가할 만한 적당한 검사는 많지 않다[5]. 전통적인 안뜰기능 검사와 달리 전산화 동적 자세 측정기(computerized dynamic posturography; CDP)는 신체의 평형유지에 필요한 눈, 몸, 미로 감각을 조합하여, 자세 유지 기능의 인지계통과 운동계통의 기능을 평가하는 전산화된 설비로 최근 각광 받는 기술이다[6]. 이 장비는 감각구성 검사와 운동제어 검사로 구분할 수

있다. 감각구성 검사는 여러 감각 조건 변화 시에 균형유지를 위한 감각기능을 분석, 평가하는 검사로서 균형유지 상태를 알 수 있고, 감각 기능의 상태를 개별적으로 분석하는 것이 가능하며, 치료 중 회복되는 정도를 반복 검사를 통하여 알 수 있다. 운동제어 검사는 여러 유형의 지지면의 움직임 발생시켜 나타나는 자세의 반응을 기록하는 검사 방법으로 주어진 자극에 의지와 상관없이 나타나는 반사 반응을 알 수 있다[7].

CDP를 이용하여 안뜰 기능 환자의 균형유지의 측정을 입증하였으나[8], 기존의 측정 장치는 자세 균형 재할에 필요한 눈, 몸, 미로 감각 등을 통합적으로 자극하지 못할 뿐 아니라 환자가 단조로움을 느끼게 되는 단점이 있다[9]. 또한 CDP 장비에 가상 현실을 적용하여 균형 훈련 중재에 관한 연구 및 서비스는 많지 않고 근거도 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 균형감각 증진용 가상현실 기반 전정 재활 시스템의 개발을 통해 사용성 평가를 실시하고 수집된 정보를 이용하여 고도화 적용 방안을 마련하기 위함이다.

## II. 연구방법

1. 균형감각 증진용 가상현실 기반 전정재활 시스템  
본 서비스는 동적 자세균형 검사 및 기능적 훈련



Fig. 1. Computerized dynamic posturography.

시스템(Balance CDP, Cybermedic Inc, Korea)의 제품으로 본체, 하네스, 노트북, 사용자용 모니터 등으로 구성되어 있으며, 운동 실조 정도를 측정하기 위한 동적 자세 균형 검사를 실시하는 장비이다. 동적 자세 균형 검사의 결과를 토대로 동적 균형 훈련 프로그램을 제공한다. 또한 무게 센서를 통해 앞뒤 움직임, 위아래 기울기(tilt) 움직임 등을 유도하여 무선 센서 위에서 신체 동요량 등을 측정한다. 측정된 자료는 소프트웨어가 설치된 PC에 전송하여 사용자의 정적 및 동적인 균형 능력 평가 및 훈련이 가능한 발란스 CDP를 개발하였다(Fig. 1).

본 서비스는 지각조절 검사(sensory organization test; SOT), 운동조절 검사(motor control test; MCT), 적응 검사(adaptation test; ADT), 8가지 방향별 자세 안정성 검사(limitation of stability test; LoST) 등 동적 자세 균형 검사 프로그램을 제공하고, 4가지 기본 훈련, 8가지 방향성 훈련, 4가지 방향성 게임, 6가지 전정 훈련 등 동적 자세 균형 훈련 프로그램을 제공한다.

## 2. 균형감각 증진용 가상현실 기반 전정재활 시스템 구성

### 1) 동적 자세 균형 검사 프로그램

#### (1) 지각조절 검사

지각조절 검사는 힘판(force plate)의 움직임 여부와 시각계의 선택적 자극을 위한 눈뜨기 상태, 눈감은 상태, 혼동시각을 조합하여 여섯 조건의 운동 실조량 검사로 구성된다[10].

#### (2) 운동조절 검사

운동조절 검사는 힘판의 움직이는 속도 및 시간에 따라 결정되는 앞쪽, 뒤쪽 방향을 조절하여 여섯 조건의 운동 실조량 검사로 구성된다[11].

#### (3) 적응 검사

적응 검사는 힘판의 각도에 따라 결정되는 toes-up, toes-down 방향을 조절하여 운동 실조량 검사로 구성된다[12].

#### (4) 안정성 한계 검사

안정성 한계 검사는 넘어지지 않기 위한 8가지 방향

별 안정성 한계점을 확인하는 운동 실조량 검사로 구성된다. 눈뜨기 상태에서 스크린 화면과 힘판이 고정된 상태에서 앞, 뒤, 좌, 우, 사선 4방향 총 8가지 방향별 측정되며, 힘판에서 무게중심 상태를 화면에 볼 형태로 표시한다[12]. 검사 방법은 화면상의 볼이 각 방향으로 이동할 때, 사용자가 바른 자세를 유지하며 넘어지지 않는 한계까지 몸을 기울이는 것으로 측정된다.

### 2) 동적 자세 균형 훈련 프로그램

동적 자세 균형 훈련 프로그램에는 지각조절 검사, 운동조절 검사, 적응 검사, 안정성 한계 검사 등의 훈련 요소와 이와 관련된 게임들이 포함되어 제공된다.

## 3. 사용성 평가

### 1) 연구대상

본 연구의 대상자는 G광역시 만 19세 ~ 29세 성인 남녀 10명으로 선정하였다. 모든 대상자는 연구의 목적과 방법에 대해 충분한 설명을 들었으며, 자발적으로 연구 참여에 동의 하였다.

대상자 선정기준은 첫째, 본 연구의 목적을 이해하고 연구 참여에 동의 한 자, 둘째, 보행과 운동에 제한이 없는 자, 셋째, 인지기능에 이상이 없고 의사소통이 가능하며 설문지에 응답이 가능한 자, 넷째, 신체검진, 병력 등에서 이상이 없는 건강한 자로 하였다[13].

본 연구의 제외기준은 첫째, 운동 콘텐츠 사용이 어려운 신체적 어려움을 갖고 있는 자, 둘째, 특정 질환이나 질병을 갖고 있는 자로 하였다.

### 2) 평가방법

균형감각 증진용 가상현실 기반 전정재활 시스템 사용성 평가 방법으로 각 대상자에게 제품 소개 및 사용 방법 설명 후 발란스 CDP를 이용한 균형 검사와 균형 훈련을 시행 후 다음 설문지를 작성하여 사용자의 반응을 분석하였다.

기초설문자료 설계를 위해 대상자의 성별, 연령, 인구통계학적 특성을 먼저 파악하였다. 기초 설문은 크게 세 영역으로 구성되며, 인구통계학적 특성과 본 서비스에 대한 전반적인 인식, 제안된 제품의 특성에 대한 인식

을 안전성, 조작성, 만족도로 구분하여 조사하였다. 특히 제안된 제품 특성에 대한 설문은 제품에 대한 설명을 듣지 않았을 때를 전제로 하고 설문을 진행하였다.

### 3) 설문조사

본 서비스 이용이 끝난 대상자에게 설문지를 배부하여 작성하게 함으로서 개별 사용자의 주관적인 안전성, 조작성, 만족도를 데이터로 얻었다. 설문조사는 균형감각 증진용 프로그램 개발과 관련된 설문조사 항목들을 본 서비스에 맞도록 수정하여 안전성 4개 항목, 조작성 6개 항목, 만족도 13개 항목으로 총 23개 항목으로 ‘그렇다’, ‘보통이다’, ‘아니다’ 3점 척도로 제시하였다[14].

### 4. 분석방법

본 연구에서 수집된 모든 자료는 Mac 용 SPSS 26.0 버전을 이용하여 분석하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계로 분석하였다. 자료의 조사는 인쇄된 설문지에 대하여 배포와 회수 또는 인터뷰 방식으로 진행하였고, 제안사항은 서술형태로 작성하였다. 설문조사 관련 기술 통계는 측정항목의 변수 값의 빈도와 비율을 알아보기 위해 빈도 분석을 사용하여 평균, 표준편차, 최소값, 최대값, 왜도 및 첨도를 분석하였다[15].

## III. 연구결과

### 1. 대상자의 일반적 특성

본 연구의 사용성 평가에 참여한 대상은 남자 4명, 여자 6명이었으며, 평균 나이는 23.20세, 평균 신장은 167.90cm, 평균 몸무게는 63.70kg이었다. 대상자의 일반적인 특성에 관한 세부 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of the participants

Category	Mean ± SD
Age (years)	23.20 ± 1.75
Gender (male / female)	4 / 6
Height (cm)	167.90 ± 7.57
Weight (kg)	63.70 ± 17.44

### 2. 설문내용 분석

본 연구의 설문내용 분석은 사용된 측정항목의 변수 값의 빈도를 알아보기 위해 빈도분석을 사용하여 안전성 4문항(Table 2), 조작성 6문항(Table 3), 만족도 13문항(Table 4)의 빈도를 분석하였다. 전체 설문 문항의 최소값, 최대값, 평균, 표준편차, 왜도 및 첨도 분석에 관한 세부 내용은 Table 5와 같다.

사용성 평가결과 평균점수는 2.59로 나타났고, 각 항목의 평균 점수는 안전성 항목 2.72, 조작성 항목 2.78,

Table 2. Safety survey analysis

Questionnaire	Frequency		
	3 Agree	2 Neutral	1 Disagree
1. Is the assessment and instruction for exercise accurate and appropriate in terms of movement speed?	9	1	0
2. Did your body shake significantly or feel dizzy during exercise?	5	5	0
3. Did you fall during exercise?	8	1	1
4. Is the user manual well-structured to ensure safety?	9	0	1

Table 3. Operability survey analysis

Questionnaire	Frequency		
	3 Agree	2 Neutral	1 Disagree
1. Is the arrangement of information displayed on the screen appropriate?	9	1	0
2. Is the information presented on the screen useful?	7	3	0
3. Is the information displayed on the screen neat?	9	1	0
4. Is the size of the screen content appropriate?	8	2	0
5. Does the screen content provide the desired information?	6	4	0
6. Is the font size and screen size appropriate?	9	0	1

Table 4. Satisfaction survey analysis

Questionnaire	Frequency		
	3 Agree	2 Neutral	1 Disagree
1. Do you feel the effectiveness of the exercise?	5	4	1
2. Did you not feel bored with the exercise program?	5	1	4
3. Does it provide motivation for improving your health?	3	4	3
4. Do you feel a sense of accomplishment after exercising?	3	2	5
5. Do you exercise comfortably in a safe environment?	7	0	3
6. Is there no visual discomfort regarding the video?	8	2	0
7. Is there no stress regarding the pace or movement instructions during exercise?"	5	4	1
8. Does the menu and on-screen information delivery not cause visual fatigue?	7	3	0
9. Is the text and images appropriately arranged?	9	1	0
10. Is all the information on the screen listed as necessary information?	8	2	0
11. Was the exercise assessment conducted considering your own condition?	7	2	1
12. Are the exercise types and difficulty levels diverse and appropriate, considering your own condition?	8	2	0
13. Do you believe that the exercise program actually helps improve your health?	4	4	2

Table 5. Analysis of questionnaire

Questionnaire	Min	Max	Mean	Standard deviations	Skewness	Kurtosis	
Safety	1	2	3	2.90	.32	-3.162	10.000
	2	2	3	2.50	.53	.000	-2.571
	3	1	3	2.70	.68	-2.277	4.765
	4	1	3	2.80	.63	-3.162	10.000
Operability	1	2	3	2.90	.32	-3.162	10.000
	2	2	3	2.70	.48	-1.035	-1.224
	3	2	3	2.90	.32	-3.162	10.000
	4	2	3	2.80	.42	-1.779	1.406
	5	2	3	2.60	.52	-.484	-2.277
	6	1	3	2.80	.63	-3.162	10.000
Satisfaction	1	1	3	2.40	.70	-.780	-.146
	2	1	3	2.10	.99	-.237	-2.300
	3	1	3	2.00	.82	.000	-1.393
	4	1	3	1.80	.92	.473	-1.807
	5	1	3	2.40	.97	-1.035	-1.224
	6	2	3	2.80	.42	-1.779	1.406
	7	1	3	2.40	.70	-.780	-.146
	8	2	3	2.70	.48	-1.035	-1.224

Table 5. (Continued)

Questionnaire	Min	Max	Mean	Standard deviations	Skewness	Kurtosis	
9	2	3	2.90	.32	-3.162	10.000	
10	2	3	2.80	.42	-1.779	1.406	
Satisfaction	11	1	3	2.60	.70	-1.658	2.045
12	2	3	2.80	.42	-1.779	1.406	
13	1	3	2.20	.79	-.407	-1.074	

만족도 항목 2.45로 나타나 대부분 사용자에서 높은 만족도와 긍정적인 소감을 얻었다.

서술 형태로 작성된 제안 사항으로는 안전성과 만족도 항목에서 각각 2가지씩 있었다. 안전성 항목에서는 발판의 움직임 속도 조절과 훈련 시작 시 화면 및 음성으로 “시작, 3, 2, 1”과 같은 안내가 필요하다는 의견이 제시되었다. 만족도 항목에서는 훈련 중간과 종료 시 피드백을 제공할 수 있는 효과음이나 화면 표시, 그리고 발판의 딱딱하고 차가운 느낌에 대한 개선 요구가 있었다. 더불어 조작성 항목에 대한 한가지 제안으로 훈련 시작 전 각 훈련의 목적을 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 데이터 형식으로 명확하게 표시하는 것이 제안되었다.

#### IV. 고 찰

본 연구의 목적은 균형감각 증진용 가상현실 기반 전정 재활 시스템을 개발하고 사용성 평가를 통한 안전성, 조작성, 만족도를 평가하고, 고도화 적용 방안을 마련하기 위함이다.

본 연구의 안전성 항목 평가 결과 2번 항목을 제외한 모든 문항에서 2.80점의 평균 점수가 산출되었다. 선행 연구에 따르면, 균형은 인체의 평형 유지 능력을 의미하며[16], 균형능력의 저하는 낙상의 위험을 증가시킨다고 보고되었다[17]. 이에 균형감각 증진을 위한 장비는 사용자가 이해하고 안전하게 사용할 수 있도록 설계되어야 한다[14]. 대다수의 응답자가 평가와 운동 지시, 움직임 속도가 적절하며, 넘어지지 않게 안전한 사용을 지원하는 방식으로 구성되어 있다는 것도 확인되었다. 이는 시스템이 전정기능의 손상을 겪는 대상자들의 균

형능력 저하와 낙상 위험을 고려하여 개발되었음을 시사하며, 균형감각 증진을 위한 장비의 중요성을 강조한다. 따라서 사용자의 안전과 용이한 조작성을 고려한 시스템의 개발이 균형능력 향상과 이용 중 낙상 예방에 핵심적인 역할을 하게 될 것으로 사료된다.

균형 유지는 몸감각계, 시각계, 전정계의 정보가 뇌에서 통합되어 이루어지며, 이 과정에서 신체의 무게중심 조절이 필수적이라는 선행연구를 바탕으로 볼 때 [13], 설문지 응답자 중 50%가 2번 항목에서 몸이 흔들리고 어지럽다고 답변하였고, 제안사항에서 발판의 움직임 속도 조절과 훈련 시작 시 화면 및 음성 안내가 필요하다는 의견이 제시되었다. 이는 균형 능력이 저하된 환자들의 필요와 능력에 맞게 운동 방법과 난이도를 조정하고, 안전한 서비스 이용을 위하여 발판 움직임 속도 조절 및 훈련 시작 시 적절한 화면 및 음성 안내가 제공될 수 있도록 수정이 필요하다고 판단된다.

새로운 기기 개발에 있어 사용자의 감각, 인지, 신체적 요구를 최소화 하고, 사용자 중심의 설계를 통한 편의성과 효과성을 강조하는 선행연구를 바탕으로[18], 본 연구에서 개발된 가상현실 기반 전정 재활 시스템의 조작성 평가 결과는 긍정적으로 나타났다. 평균 점수는 2.78점으로 사용자들은 시스템의 화면 구성, 정보 유용성, 디자인, 글자 크기 및 화면 크기의 적절성에 대해 높은 만족도를 보였다. 이는 재활의학과 전문의, 물리치료사, 운동처방사 등의 전문가들이 개발 과정에 참여하여 실제 임상 현장의 요구와 편의성을 반영한 결과로 해석된다. 전문가들의 참여는 시스템의 조작성을 강화하는데 중요한 역할을 하였으며, 사용자가 시스템을 보다 효율적이고 쉽게 사용할 수 있도록 기여하였다. 특히, 글자와 화면 크기에 대한 적절한 평가는 사용자

의 정보 접근성과 이해를 위해 고려된 디자인이 잘 반영되었음을 시사한다.

그러나 조작성 항목 평가에서 완벽한 점수를 받지 못한 것은 개선의 여지를 시사한다. 특히, “화면의 내용이 원하는 정보를 제공하는가?”라는 9번 항목에서 평균 이하인 2.60점을 받았다. 이는 제안 사항에 대한 응답으로 훈련 시작 전 각 훈련의 목적을 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 데이터 형식으로 표기하는 것의 중요성을 부각시킨다. 훈련 시작 전 각 대상자에게 명확한 정보를 제공해야 할 필요가 있다. 또한 재활 과정에서 사용자의 다양한 경험과 능력에 맞는 더운 세밀한 조작성 개선이 필요하다고 판단된다. 이는 사용자 중심의 접근을 통해 시스템을 더 효과적이고 사용하기 쉽게 만들어 전반적인 사용 경험의 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 만족도 항목 평가는 평균 2.45점으로 나타났다. 특히, 시각적인 편안함, 제공되는 정보의 질, 운동의 유형 및 난이도 설정에 대해 사용자들은 높은 만족도를 보였다. 이는 가상현실 프로그램의 사용자 인터페이스(user interface) 디자인이 시각적 가독성과 조작 용이성을 갖추도록 설계되었기 때문으로 평가된다. 또한 균형 훈련 프로그램은 사용자의 안전성을 고려하고, 개인의 균형 능력에 맞춘 난이도 조절이 가능하도록 개발되었다.

선행 연구에 따르면 운동 중 제공되는 즉각적인 피드백은 사용자의 운동 목표 달성, 참여도, 만족감, 운동 지속성에 대한 동기부여를 강화하는 중요한 역할을 한다고 한다[19]. 본 연구에서 만족도 항목에 대한 평가는 훈련 중간과 종료 시점에 효과적인 피드백 제공의 중요성을 부각 시켰다. 사용자들은 훈련 중과 종료 시 피드백을 위한 효과음, 화면 표시의 개선을 요구하였으며, 발판의 물리적 감각에 대해서도 개선이 필요하다고 지적하였다. 이러한 피드백은 훈련 과정에서 사용자의 성취감과 동기부여를 증진시킬 수 있다. 따라서 시스템 개선을 위해 훈련 과정에서의 즉각적인 피드백을 위해 시각적 및 청각적 신호를 추가하고, 발판의 물리적 특성을 개선하여 사용자에게 더 나은 촉각적 경험을 제공해야 한다고 판단된다. 이러한 개선 사항들을 통합함으

로써 사용자 경험을 개선하고 전반적인 만족도를 높이는 동시에 가상현실 기반 전정재활 시스템의 효과성을 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

최근 과학기술의 발전과 건강증진에 대한 관심 증가, 소득 증대, 고령화 사회의 도래로 인해 건강에 대한 수요가 상승하고 있다. 그러나 기존의 전정재활 시스템은 환자가 반복적인 훈련을 통해 단조로움을 느끼는 단점이 있다[9]. 본 연구에서 개발한 제품은 10명을 대상으로 한 사용성 평가에서 높은 만족도를 얻었으며, 사용성 및 조작성 측면에서 편리함을 인정 받았다. 이는 기존 제품의 단점을 극복하고 가상현실을 활용하여 운동의 흥미와 참여율을 높이기 위해 화면 및 프로그램을 설계하고 구성한 결과이다. 따라서 본 연구의 가상현실 기반 전정재활 시스템을 이용한 균형감각 증진 훈련의 제공이 전정기능의 저하로 인한 대상자에게 균형감각 증진을 위해 필요하고 이에 관련된 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. 향후 전정기능 환자의 가상 현실 기반 현실 기반 균형유지의 측정과 훈련을 위한 많은 연구가 이뤄져야 할 것이다.

## V. 결론

본 연구는 가상현실 기반의 균형감각 증진 전정재활 시스템을 개발하고 사용성 평가를 통해 안전성, 조작성, 만족도를 평가하여 고도화 방안을 마련하는 것을 목적으로 하였다. 사용성 평가 결과 대부분의 항목에서 만족할 만한 점수를 얻었으나, 일부 참가자가 몸의 흔들림과 어지러움을 보고함에 따라 이에 대한 추가적인 대응방안이 요구된다. 연구에서 개발한 시스템은 기존 전정재활 시스템의 단조로움을 극복하고 사용자의 흥미와 참여를 높이기 위해 설계 되었으며, 고령화 사회에서 증가하는 건강 수요에 부응할 수 있는 결과를 제시하였다. 앞으로 다양한 연령대와 전정기능 손상을 가진 환자들을 포함한 광범위한 대상에 대한 연구가 필요하다. 전정기능 저하 환자의 균형 능력 증진을 위한 이 시스템의 적용은 지속적인 연구와 개발을 통해 더욱 안전하고 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- athletes. *A. J. Kinesiol.* 2014;16(1):19-29.
- [1] Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *New Engl J Med.* 1988;319(26):1701-7.
- [2] Baek MJ. Autoimmune inner ear disease (AIED) : clinical point of view. *J Clinical Otolaryngol.* 2012;23(1):54-62.
- [3] Salles N, Kressig R, Michel J. Management of chronic dizziness in elderly people. *Z Geschichtswiss.* 2003;36(1):10-5.
- [4] Walther L, Nikolaus T, Schaaf H, et al. Vertigo and falls in the elderly. part 1: epidemiology, pathophysiology, vestibular diagnostics and risk of falling. *HNO.* 2008;56(8):833-41.
- [5] Walsh B, Yardley L, Donovan-Hall M, et al. Implementation of nurse-delivered vestibular rehabilitation in primary care: a qualitative study of nurses' views on involvement in an innovative service. *J Clin Nurs.* 2007;16(6):1072-81.
- [6] Goebel JA. Practical management of the dizzy patient. Philadelphia. Lippincott Williams & Wilkins. 2008.
- [7] Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM. Handbook of balance function testing. San Diego. Thomson Learning. 1997.
- [8] Cass SP, Kartush JM, Graham MD. Clinical assessment of postural stability following vestibular nerve section. *Laryngoscope.* 1991;101(10):1056-9.
- [9] Jeong SH, Chong WS, Kwon TK, et al. Study on the improvement of equilibrium sense of the elderly using virtual bicycle system. *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers.* 2005;42(6):57-66.
- [10] Yoon HM, Oak JS, Park WY. Effects of specific exercises on sensory organization and dynamic balance in female
- [11] Artuso A, Garozzo A, Contucci A, et al. Role of dynamic posturography (Equitest) in the identification of feigned balance disturbances. *Acta Otorhinolaryngo.* 2004;24:8-12.
- [12] Park HG, Jung TW. Limits of stability, tandem walk, and adaptation test in individuals with symptomatic knee osteoarthritis: a case-control comparison with knee OA and healthy knee controls. *Int J Hum Mov Sports Sci.* 2018;6(2):23-9.
- [13] Kim JI. A Study of posture in 112 healthy Korean population using computerized dynamic posturography. *J Korean Neurol Assoc.* 1997;15(3):576-85.
- [14] Kim HS, Choi BJ. A study on usability evaluation for human care contents based rehabilitation training equipment. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems.* 2017;27(2):157-63.
- [15] Song YH, Bak IH, Kwak SY, et al. Development of customized exercise service program for elderly and evaluation of usability. *J Korean Soc Phys Med.* 2022;17(4):151-60.
- [16] Cohen H, Blatchly CA, Gombash LL. A study of the clinical test of sensory interaction and balance. *Phys Ther.* 1993;73(6):346-51.
- [17] Honaker JA, Shepard NT. Use of the dynamic visual acuity test as a screener for community-dwelling older adults who fall. *J Vestib Res.* 2011;21(5):267.
- [18] Frank Lopresti E, Mihailidis A, Kirsch N. Assistive technology for cognitive rehabilitation: state of the art. *Neuropsychol Rehabil.* 2004;14(1-2):5-39.
- [19] Yoo HJ, Maeng W, Lee J. Designing a feedback for exercises using a wearable device. *Journal of the HCI Society of Korea.* 2016;11(3):23-30.