

가상현실 기반 운동이 측만 각도 및 근활성도에 미치는 영향

이현주¹ · 태기식²

¹건양대학교 물리치료학과, ²건양대학교 의공학부

Effect of Virtual Reality-Based Exercise on Scoliometer and Muscle Activity

Hyun-Ju Lee¹ and Ki-Sik Tae²

¹Dept. of Physical Therapy, Konyang University, Daejeon, Korea

²Dept. of Biomedical Engineering, Konyang University, Daejeon, Korea

(Manuscript received 22 November 2017 ; revised 22 November 2017 ; accepted 24 November 2017)

Abstract: The aim of this study is to determine the effect of virtual reality(VR) exercise using XBOX Kinect™ on the scoliometer angle and muscle activities of the trunk. The subjects of the study were 13 young adults who divided into a virtual reality-based exercise group(VREG, n = 7) and a traditional stabilization exercise group(TSEG, n = 6). The VREG received virtual reality game for 5 days a weeks, 30 minutes a day, for a 2 weeks and the TSEG received general trunk stabilization exercise for the same period and frequency. The subjects were measured and compared for muscle activities of trunk stabilization before and after the program. VREG tend to decrease more than TSEG in scoliometer angle. In addition, VREG showed a significant decrease in muscle activities of multifidus. This study presents the impact of virtual reality-based exercise program on trunk balance and stabilization. The following studies need customized programs for subjects that trunk balance and stabilization is required.

Key words: Muscle activity, Scoliometer, Virtual reality-based exercise

1. 서 론

척추옆굽음증(Scoliosis)이란 해부학적으로 척추의 굽이가 옆쪽으로 치우친 상태로, 구조적으로 회전되어 있으며 골반과 어깨높이에서 불균형이 발생하는 삼차원적 기형 질환을 의미한다[1]. 일반적으로 Cobb's angle이 10도 이상일 경우 척추옆굽음증이라고 정의하며, 10도 미만의 경우 경미한 변형의 형태로 평가한다[2]. 척추옆굽음증은 대개 특발성으로 나타나는데, 유아기 또는 청소년기와 같이 성장이 왕성한 시기에 시작되며, 영양 상태, 신체 활동으로 인한 스트레스, 올바른 생활 습관이나 자세[3], 신경근육학적 문제, 호르몬 불균형, 유전적 소인과 같은 형태학적 이상으로 추측한다고 보고되고 있다[4]. 척추옆굽음증 환자에게는 이러

한 외적, 내적 변형으로 인해 기능적 장애가 유발되는데, 이는 경직과 통증을 동반하는 신체활동의 비유연성을 일으킴으로써 정상적인 일상생활을 하는데 상당한 어려움을 느낄 수 있고, 정신적 문제를 야기하기도 한다[5]. 따라서 척추옆굽음증의 진행을 막거나 예방하는 것이 중요하며, 이를 위해 초기에 굽이의 진행을 방지하고 척추근육의 균형 능력을 향상시키는 것이 필요하다[4].

척추옆굽음증 운동과 관련된 연구에서[6] 초·중기 옆굽음증인 성인 여성 20명을 대상으로 요가 교정운동 프로그램을 시행하였는데, 척추 주변 근육들의 과다긴장을 풀고 이완된 근육의 유연성과 탄력성을 회복하여 Cobb's angle를 5도 감소시킬 수 있었지만 12주간의 연구를 진행하면서 실험자들의 적극적인 참여를 유도하는 것에 대한 많은 어려움이 있었다고 보고하였다. 여대생 16명을 대상으로 한 10주간의 필라테스 연구에서 Cobb's angle이 2° 감소되었다는 결과가 있었다[7]. Jang[8]은 37명의 특발성 척추옆굽음증 청소년에게 탄력밴드를 이용하여 허리뼈각의 감소를 통한

Corresponding Author : Ki-Sik Tae
Dept. of Biomedical Engineering, Konyang University, 156 Gwanjeodong-ro, Seogu, Daejeon 5365, Republic of Korea
TEL: +82-42-600-8518 / E-mail: tae@konyang.ac.kr

긍정적인 효과를 보고하였고, Bae[9]는 슬링을 이용하여 40명의 특발성 척추옆굽음증 환자에게 허리 안정화 운동을 시행하여 정적균형능력이 향상되었다고 보고하였다. 하지만 보상작용을 모니터링하기 위해 숙달된 치료사 2명이 요구되어 홈프로그램으로 확장 시키기에는 무리가 따른다고 하였다. 등속성 운동을 이용한 연구로써 초등학생을 대상으로 Cobb's angle 각도가 감소하였으며 척추세움근 강화운동을 통해 관절의 유연성을 증가시키는 등 효과적이었으나[10], 고가의 장비로 개인화하기에는 제한점이 있다고 하였다. 그 밖에 짐볼을 이용하여 척추옆굽음증 환자에게 가슴 스트레칭과 몸통 운동을 하여 균형능력 향상이 나타난 연구도 있었다[11]. 이와 같이 현재 척추옆굽음증 환자를 대상으로 한 많은 운동 치료법들이 시행되고 있고 각각의 한계점들도 보고되고 있다. 요가 프로그램 연구 진행 시 실험자들의 적극적인 참여를 유도함에 있어 많은 어려움이 있었고[6], 슬링을 활용한 운동치료의 과정에서 물리치료사의 피드백이 요구되어 환자 스스로 홈프로그램을 진행하기에는 어려움이 있었으며, 다른 치료법들에 비해 Cobb's angle 값이 유의하지 않은 변화를 보였다[9].

기존 치료법의 한계를 보완할 수 있는 중재방법의 하나로써 가상현실을 이용한 운동 프로그램과 관련된 연구들이 소수 나오고 있다[12]. 가상현실 기반 프로그램을 이용하여 뇌졸중 환자에게 있어서 사용하지 않는 환측 팔의 기능 및 근력 그리고 시지각 기능에서 효과가 있었음이 보고된 바 있고[13], 경직형 뇌성마비 아동에게는 적극적인 환자의 참여를 유도하여 훈련하는 동안 고유수용성감각 및 시각의 정보를 일치시킴으로써 운동수행 능력과 시공간적 보행능력을 향상시키는데 긍정적인 효과가 있었다고 하였다[14]. 뇌졸중 환자에게 가상현실 기반 운동을 적용했을 시 좌우 체중차이 감소에 긍정적인 효과를 보였음을 나타내며, 보행능력 향상에 있어서 시각적 피드백의 효과가 있음을 보고하였다[15]. 자세가 불안정한 다발성 경화증 환자에게 적용하였을 때 균형 능력을 향상시켰음을 정량적으로 실증한 연구가 보고되었다[16]. 하지만 최근까지 가상현실 기반 운동을 적용한 치료 연구의 대상으로는 주로 뇌졸중, 뇌성마비 등 신경계 환자를 중심으로 한 전신 균형훈련 효과로 한정된다. 가상현실 기반 체감형 게임은 신체의 오감을 최대한 반영해 몸의 움직임을 유도하는 방식으로 재미를 추구함과 동시에 현실감 있게 게임에 몰입할 수 있다는 장점을 통해 운동, 치료, 교육적 목적으로의 활용 가능성이 크다[17]. 기존 체감형 게임으로 3축 가속도 센서를 내장한 원격 조종기와 압력판을 이용해 사용자의 위치와 체중 분포를 추적하는 닌텐도 'Wii'[18], 3축 가속도 감지기를 내장한 조종 장치와 PS3 카메라를 이용해 사용자의 거리를 추적하는 소니 'Move', 적외선 감지기가 사용된 2개의 카메라를 이용해 사용자

추적하는 마이크로소프트 'Kinect'가 있다. 'Kinect'는 사용자의 움직임을 보다 빠르고 정확하게 추적할 수 있으며, 원격 조종기와 같은 전용 조종기가 없이 사용자의 몸만을 이용한 조작이 가능하기 때문에 재활운동을 위한 프로그램 구성에 가장 유용할 것이라고 판단된다.

기존 가상현실 기반 움직임을 이용하여 운동을 유도하였을 때 환자의 경제적 치료비용 부담을 덜어줄 수 있고 재미를 부여하여 몰입된 치료를 수행할 수 있으며 퇴원 후 집에서 지속적인 운동치료가 가능하다는 장점을 가지고 있어[19], 기존 치료법들에 비해 긍정적인 효과가 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 척추옆굽음증의 예방 및 초기 치료로 사용되는 운동과 유사한 프로그램을 선정하고 게임화 된 과제 중심형 가상현실 프로그램으로 적용하였을 때 전통적인 운동치료와 비교하여 몸통의 회전 측만각도 및 근활성도에 어떠한 영향을 미치는지 알아보려고 하였다.

II. 실험 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 20대 남녀 15명으로, 옆굽음증 지표 중 하나인 측만 각도(Scoliometer)를 측정하였을 때 2°~5°의 위험군으로 하였다. 이 중 척추앞굽음증과 뒤굽음증이 동반되는 자(1명)와 균형평가에 영향을 주는 한쪽 팔, 다리의 특이적 근력저하 증상이 있는 자(1명)를 제외한 13명이 실제 실험에 참가하였다.

실험에 참여한 대상자 13명은 과거 6개월 간 척추 교정 및 운동프로그램에 참여한 적 없었으며, 연구기간 중에도 실험 이외의 척추 교정 및 운동 프로그램에 참여하지 않았다. 모든 대상자는 연구의 목적과 방법을 숙지하였으며, 연구동의서에 자발적으로 서명하였다. 실험집단은 무작위로 선정하였고, 군간 일반적 특성에서 유의한 차이가 없어 동질성을 검증하였다($p > 0.05$). 대상자의 일반적인 특성은 표 1과 같다.

2. 연구설계

가상현실 기반 운동군(virtual reality-based exercise group, VREG)과 일반적인 안정화 운동군(traditional sta-

표 1. 일반적 특성.

Table 1. General Characteristics.

	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)
VREG ^a	19.50 ± 0.84	163.33 ± 7.84	55.02 ± 6.80
TSEG ^b	19.43 ± 0.98	167.43 ± 6.32	57.79 ± 8.97

^aVirtual reality-based exercise group

^bTraditional stabilization exercise group

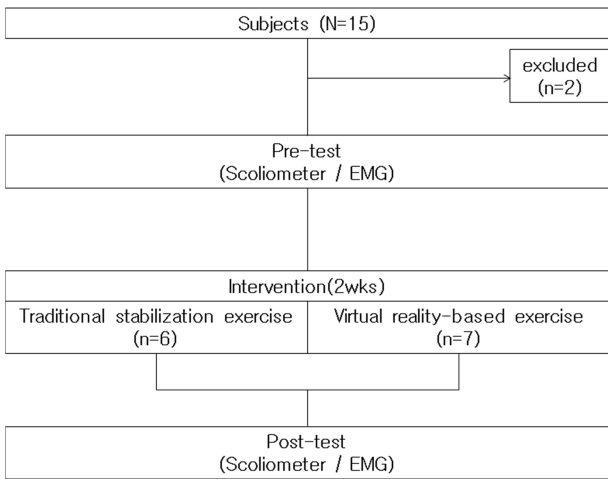


그림 1. 연구 절차.
Fig. 1. Study procedure.

bilization exercise group, TSEG)으로 나누어 주 5일, 매일 30분씩 실시하였고, 운동 전과 운동 시행 2주 후에 옆 굽음증 지표 중 하나인 몸통 측만 각도와 근활성도를 측정하였다(그림 1).

3. 측정도구

(1) 몸통 측만각도(Scoliometer)

대상자가 선 자세에서 양 발을 모으고 양 손을 앞으로 자연스럽게 내린 상태에서, 상체를 90° 구부리는 앞쪽 굽힘 검사(Adam's forward-bending test)를 시행하여 측정하였다. 검사자는 대상자의 뒤에서 등과 같은 위치의 눈높이에서 측정한다. 몸통 회전각도는 어플리케이션(Scoliogauge)을 이용해[20] 가장 높은 값을 기준으로 세 번째 목뼈 가시돌기에서 다섯 번째 허리뼈 가시돌기까지 측정하였다.

표 2. 운동 그룹별 운동 전후 몸통 측만 각도 비교.

Table 2. Comparison of Scoliometer angle of each group between pre and post exercise.

	pre	post	p
VREG ^a	3.857 ± 1.789	2.929 ± 1.231	0.027*
TSEG ^b	4.500 ± 2.107	3.917 ± 1.577	0.307

*p < .05

^aVirtual reality-based exercise group

^bTraditional stabilization exercise group

(2) 표면 근전도(Surface Electromyography, sEMG)

근활성도를 측정하기 위한 sEMG와 보행 시의 근전도 신호를 일치시키기 위하여 풋 스위치를 사용하였다(Noraxon Inc., USA). 표면전극간 거리는 2 cm로 하였고, 풋 스위치의 압력센서로는 0.5 인치의 지름을 가진 원모양의 FSR (Force Sensing Resistor) 필름 입력센서를 사용하였다.

표면전극 부착부위의 피부저항으로 인한 노이즈 감소를 위해 알코올 솜으로 닦아주었고, 부착부위는 다음과 같다(표 2 and 그림 2). 보행주기를 구분하기 위해 모든 연구대상자에게 풋 스위치 압력센서를 양쪽 발의 앞, 뒤 바닥면에 부착하였으며, 정확한 측정을 위해 신발을 신지 않도록 하였다. 앞쪽 압력 센서는 첫 번째 발허리뼈 머리의 바닥면에 부착하였고, 뒤쪽 압력 센서는 발꿈치뼈의 바닥면에 부착하였다.

근전도 신호의 표본 추출률은 1,000 Hz로 하였으며, 대역통과 필터(band pass filter) 20~450 Hz, 노치필터(notch filter)는 60 Hz를 사용하였다. 15 m의 보행에서 얻어진 근전도 신호 중 세 발자국의 신호를 수집하였고, 수집된 모든 근전도 신호를 RMS(root mean square) 300 ms로 처리하였다. 수집된 신호를 대상자간 그리고 근육 간 비교를 위해 최대 수의적 등척성 수축(%MVIC)으로 표준화 하였고 전후 각 1초를 제외한 3초간의 근활성도를 3회 측정하여 RMS 처리한 후 평균 근전도 신호량을 %MVIC로 사용하였다. MVIC 측정 간 휴식기간은 2분으로 하였다[21].

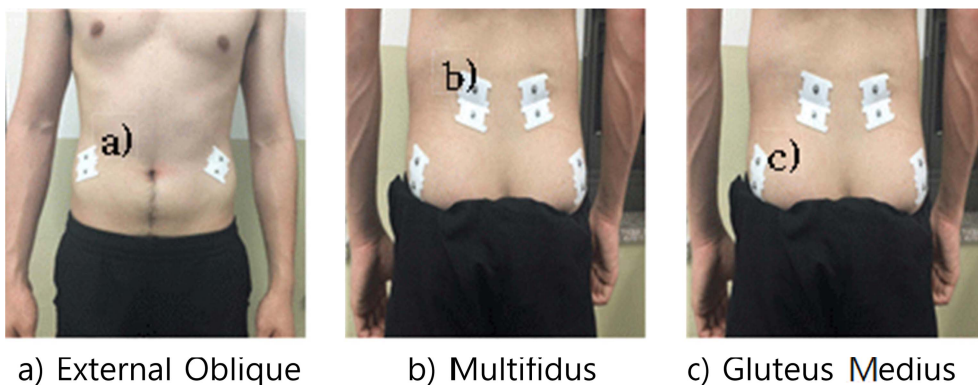


그림 2. EMG 부착 부위.
Fig. 2. EMG attachment region.

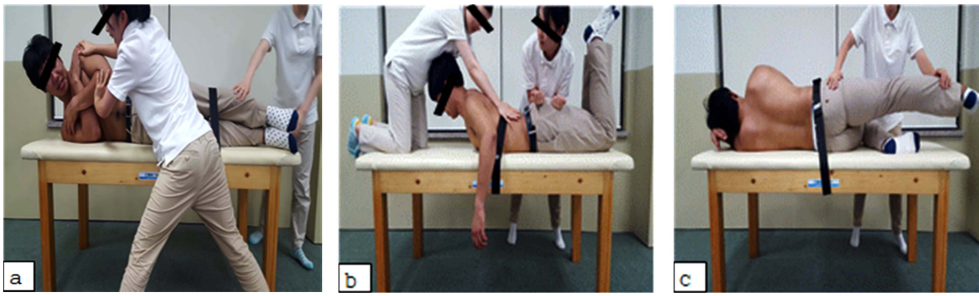


그림 3. 근전도 측정자세(%MVIC).
Fig. 3. EMG measurement position(%MVIC).

배바깥빗근(EO, External Oblique)를 측정하기 위해 대상자는 무릎을 구부리고 옆으로 누운 자세를 취하도록 한 후, 벨트를 이용하여 대상자의 무릎을 고정시켰다. 대상자는 윗몸통을 구부리려는 시도를 하고, 실험자는 대상자의 팔, 가슴부분에 저항을 주었다. 뭇갈래근(MF, Multifidus)의 측정자세는 대상자는 엎드린 상태로 가슴부분을 벨트로 고정하고, 하지를 90°로 구부렸다. 대상자는 아래 몸통, 엉덩관절을 펴하려고 시도를 하고, 실험자는 대상자의 하지에 아래쪽으로 저항을 주었다. 중간 볼기근(GMed, Gluteus Medius)의 측정자세는 대상자는 측정하는 쪽의 다리를 위로하고 옆으로 누운 자세를 취한 뒤 아래다리를 굽히도록 하였다. 검사자는 대상자의 뒤에 서서 대상자의 골반을 고정하고, 발목 위에 저항을 주었다[22-24] (그림 3). 근전도의 신호저장과 처리는 MyoResearch XP master edition 1.08.17 소프트웨어(Noraxon Inc, U.S.A.)를 사용하였다.

4. 실험방법

(1) 가상현실 기반 운동 프로그램

본 연구에서 가상현실 기반 운동군은 대상자의 움직임을 인식하기 위하여 Microsoft 사의 XBOX One Kinect™ 적외선 센서를 이용하여 훈련하였다. 대상자가 몸을 직접 움직여서 게임을 진행하는 것으로, 대상자의 스포츠 연계 프로그램을 통해 현실감과 즐거움을 부여하기 위해 웨이크 보드, 암벽등반, 테니스 게임을 선택하였고 각 10분씩 총 30분간 진행하였다.

첫 번째 게임은 대상자가 가상의 웨이크 보드를 운전하는 게임으로, 방향전환과 속도조절을 위해 몸통의 굽힘과 펴, 돌림 동작이 유발된다. 이때 대상자 몸통 안정화와 균형능력 또한 요구된다.

두 번째 게임은 가상의 암벽을 등반하는 게임이다. 게임을 진행하기 위해 오른손 또는 왼손을 위로 뻗으며 오르는 동작이 필요하며, 양측 가쪽 굽힘이 발생된다. 또한 몸통의 가쪽 굽힘을 수행할 시에 균형 유지가 요구된다.

세 번째 게임은 테니스를 치는 동작으로, 몸통의 양측 돌림을 유도한다. 테니스 라켓을 잡는 손의 위치는 각 대상자의 굽이가 블록한 쪽으로 정했으며, 공을 치기 위해 몸통 돌림이 자연스럽게 일어나기 때문에 동적인 움직임이 발생된다. 위 운동은 척추옆굽음증 환자를 위한 Yang[25]의 Klapp's 운동 프로그램을 참고하였다.

(2) 기존 안정화 운동

기존 안정화 운동 프로그램의 동작, 기간 및 빈도는 가상 현실 기반 운동 프로그램과 유사하게 진행하였다.

5. 분석방법

본 연구에서 수집된 자료들은 윈도우용 SPSS ver. 18.0을 이용하여 통계처리 하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 카이제곱 검정을, 두 집단 간 평균 비교를 위해 Mann-Whitney U 검정을, 각 집단의 운동 전·후 비교를 위해 Wilcoxon 검정을 시행하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 하였다.

III. 결 과

1. 가상현실 기반 운동군과 기존 안정화 운동군의 몸통 측만 각도 변화 비교

가상현실 기반 운동군의 몸통 측만각도 측정값은 훈련 전 3.857 ± 1.789 에서 훈련 후 2.929 ± 1.231 로 통계학적으로 유의한 감소가 있었으나($p < 0.05$), 기존 안정화 운동군에서는 훈련 전과 후에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$) (표 2).

2. 가상현실 기반 운동군과 기존 안정화 운동군의 근활성도 변화 비교

가상현실 기반 운동군과 기존 안정화 운동군의 운동 전·후 몸통 근활성도 변화에 관한 결과는 아래와 같다(표 3).

배바깥빗근 활성도에서 가상현실 기반 운동군과 기존 안정화 운동군(훈련 전 8.610 ± 10.853 , 훈련 후 $5.312 \pm$

표 3. 그룹별 운동 전후 근활성도 비교.

Table 3. Comparison of muscle activities of each group between pre and post exercise.

	External Oblique	Multifidus	Gluteus Medius
pre	5.242 ± 3.194	7.920 ± 3.152	7.105 ± 6.368
VREG ^a post	4.386 ± 3.045	5.321 ± 2.504*	5.812 ± 4.657
Pre-post	0.856 ± 2.354	2.599 ± 1.317*	1.292 ± 8.086
pre	8.610 ± 10.853	6.236 ± 4.070	6.390 ± 1.777
TSEG ^b post	5.312 ± 4.774	6.383 ± 3.613	3.649 ± 1.528
Pre-post	3.300 ± 7.131	0.147 ± 5.627	2.741 ± 0.249

*p < .05

^aVirtual reality-based exercise group

^bTraditional stabilization exercise group

4.774)에서 모두 유의한 차이가 없었다(p < 0.05). 못갈래근 활성도에서는 기존 안정화 운동군에서 훈련 전 6.236 ± 4.070에서 훈련 후 6.383 ± 3.613(p > 0.05)로 유의한 차이가 없었던 반면(p > 0.05), 가상현실 기반 운동군에서는 훈련 전 7.920 ± 3.152에서 훈련 후 5.321 ± 2.504로 유의한 감소가 있었다(p < 0.05). 중간 볼기근 활성도의 경우, 가상현실 기반 운동군(훈련 전 7.105 ± 6.368, 훈련 후 5.812 ± 4.657)과 기존 안정화 운동군(훈련 전 6.390 ± 1.777, 훈련 후 3.649 ± 1.528) 모두에서 유의한 차이를 볼 수 없었다(p > 0.05).

IV. 고 찰

본 연구는 몸통 측만각도가 2°~5°인 20대 성인 남녀 13명을 대상으로, 2주간 가상현실 기반 운동과 기존 안정화 운동을 각각 적용함으로써 몸통 측만 각도 및 근활성도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시행하였다.

실험 결과, 가상현실 기반 운동군의 몸통 측만 각도가 훈련 전과 훈련 후 유의한 차이로 감소가 있었던 반면 기존 안정화 운동군의 몸통 측만 각도는 훈련 전후 의미있는 변화를 볼 수 없었다. 이를 통해 가상현실 기반 운동이 척추 옆굽음증 위험군의 몸통 측만 각도에 긍정적인 영향을 미친 것으로 확인할 수 있었다. 이는 가상현실 기반 운동이 게임화 되어 과제 중심 활동으로 이어지고, 대상자들이 움직임에 대한 동기를 부여함으로써 좀 더 적극적이고 능동적인 참여로 이어져 운동조절 및 학습에 의미 있는 영향을 미쳤기 때문이라고 여겨진다[26].

몸통 근육 중에서 심부 안정화 근육인 못갈래근의 활성도가 가상현실 기반 운동군에서 유의한 감소를 나타냈는데, 이는 Lee 등[27]의 연구에서 10주간의 걷기와 몸통안정화 및 대칭운동을 만성 허리통증 환자에게 적용하였을 때, 배가로

근과 못갈래근 활성도의 감소를 보인 것과 유사한 결과로 보여진다.

본 연구는 연구대상자의 수가 적고, 2주의 중재기간으로 연구기간이 짧았다는 제한점이 있다. 그럼에도 불구하고 가상현실 기반 운동군에서 복부 중심근육에서 유의한 변화가 있었다는 점에서 큰 의미를 부여할 수 있다. 척추의 움직임은 목뼈, 등뼈, 허리뼈의 혼합 움직임으로 이루어지며, 각 뼈의 돌기관절(apophyseal joint)의 면에 따라 짝운동의 방향과 각도가 달라진다. 특히 등허리뼈에서는 관절면의 미끄러짐에 의해 가쪽 굽힘과 회전이 동시에 일어나는 짝움직임(couple motion) 일어나기 때문에[28] 각 움직임을 분리하거나 완전히 분리된 움직임에 대한 개별 측정이 어렵다는 제한점이 있다. 가상현실 기반 운동은 인체의 움직임을 센서로 감지하여 실시간 되먹임이 가능한데, 게임을 통한 재미와 동기를 부여함으로써 좀 더 능동적이고 적극적인 움직임을 구현할 수 있고 이를 통해 뇌의 운동조절 및 학습에 효과적인 기전으로 작용될 수 있을 것이다. 또한 점수화 된 개인의 움직임에 따라 난이도를 조절할 수 있고 비용이 저렴하여, 물리치료사의 모니터링 하에 홈 프로그램으로 활용 가능성이 높다고 여겨진다.

V. 결 론

본 연구는 가상현실 기반 운동이 몸통 측만 각도와 안정화에 영향을 미치는 중심 근육의 근활성도를 알아보고자 하였다. 몸통 측만각도가 2°~5°인 척추옆굽음 위험군 13명을 대상으로 가상현실 기반 운동군과 기존 안정화 운동군으로 나누어 각각 시행되었다. 가상현실 기반 운동군은 키넥트를 이용한 게임화 된 운동방법으로 2주간, 주 5회, 매일 30분씩 실시하였고, 기존 안정화 운동군은 가상현실 기반 운동군과 유사한 동작을 가진 운동으로 진행하였다. 운동 전과 후에 근활성도, 몸통 측만각도 값을 측정하여 결과 값을 산출하였는데, 가상현실 기반 운동군의 몸통 측만각도와 못갈래근의 활성도가 기존 안정화 운동군과 비교하여 유의하게 감소되었다.

본 연구결과를 통하여 가상현실 기반 운동이 몸통 안정화에 긍정적인 영향을 미치며, 기존의 운동방식에 비해 좀 더 효과적이고 효율적인 홈 프로그램의 대안으로써 가능성을 제시하였다고 보여진다.

참고문헌

[1] S.L. Weinstein, L.A. Dolan, J.C. Cheng, A. Danielsson, J.A. Morcuende, "Adolescent idiopathic scoliosis", *The Lancet*, vol. 371, no. 9623, pp. 1527-1537, 2008.
 [2] M.A. Asher, D.C. Burton, "Adolescent Idiopathic Scoliosis:

- natural History and long term treatment effects”, *Scoliosis*, vol. 31, no. 1, pp. 1-10, 2006.
- [3] Y.K. Kim, S.H. Park, “Comparative study on the frequency of spinal deformities of junior high age children depending on age and physical characteristics”, *The Korean Journal of School Physical Education*, vol. 16, no. 1, pp. 13-22, 2006.
- [4] C.S Lee, “Idiopathic scoliosis”, *J Korean Spine Surg*, vol. 6, no. 2, pp. 288-296, 1999.
- [5] S.Y. Kang, The Effects of Exercise Program on Change in Curve in Girls with Mild Scoliosis, *KSSLS*. 2002.
- [6] H.W. Kim, D.H. Kim, Y.S. Kim, “The effect of a yoga correction exercise program for scoliosis”, *J Coaching Development*, vol. 9, no. 4, pp. 93-101, 2007.
- [7] S.H. Lee, S.B. Lee, “The effect of 10 weeks plates training on Cobb’s angle, balance control ability, obese indices in college women”, *KSDS*, vol. 32, no. 1, pp. 255-266, 2015.
- [8] M.J. Jang, H.J. Cho, “Effect of the thera-band exercise to idiopathic scoliosis of juveniles”, *KOSAPE*. vol. 19, no. 1, pp. 31-36, 2011.
- [9] Y.H. Bae, S.H. Park, H.L. Lee, “Effect of sling lumbar stabilization exercise program on the balance of adolescent idiopathic scoliosis patients”, *KAIS*, vol 3. no. 7, pp. 3074-3084, 2012.
- [10] D.J. Kim, “The effects of isokinetic exercise on lumbar strength and Cobb’s angle of school children scoliosis”, *JAMS*, vol. 32, no. 1, pp. 95-108, 2012.
- [11] G.B. Song, J.J. Kim, E.C. Park, “The effect of swiss ball exercise and resistance exercise on balancing ability of scoliosis patients”, *J Phys Ther Sci*, vol. 27, no. 12, pp. 3879-3882, 2015.
- [12] H. Sveistrup, “Motor rehabilitation using virtual reality”, *J Neuroeng Rehab*, vol. 1, no. 1, pp. 1-8, 2004.
- [13] C.H. Song, S.M. Seo, K.J. Lee, “Video game-based exercise for upper-extremity function, strength, visual perception of stroke patients”, *J Spec Edu Rahab Scie*, vol. 50, no. 1, pp. 155-180, 2011.
- [14] B.H. Lee, J. H. Jung, J. H. Yu, “The effect of augmented reality based on exercise program on ankle strength, and gait ability in children with spastic cerebral palsy”, *J Rehab Scie*, vol. 50, no. 1, pp. 437-455, 2011.
- [15] S.J. Kim, S.T. Chin, H.T. Kim, “Effects of whole-body vibration exercise and virtual reality training on balance and walking ability in the stroke patient”, *The Korean Journal of Growth and Development*. vol. 22, no. 2, pp. 151-157, 2014.
- [16] G.H. Lee, “Effects of virtual reality exercise program on balance in multiple sclerosis patients”, *JKPT*, vol. 27, no. 1, pp. 61-67, 2015.
- [17] E.J. Kim, “Study on user play of motion-based game: focused on empirical research about game play in families”, *JKGS*. vol. 14, no. 3, pp. 7-14, 2014.
- [18] S.H. Jang, J.W. Yoon, S.B. Cho, “User interfaces for visual telepresence in human-robot interaction using Wii controller”, *The HCI Society of Korea*, vol. 3, no. 1, pp. 27-32, 2008.
- [19] P.L. Weiss, D. Rand, N. Katz, “Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool”, *J Neuroeng Rahabil*, vol. 1, pp. 12, 2004.
- [20] J. Qiao, L. Xu, Z. Zhu, F. Zhu, Z. Liu, B. Qian, Y. Qiu, “Inter- and intra observer reliability assessment of the axial trunk rotation: manual versus smartphone-aided measurement tools”, *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 15, no. 1, pp. 343, 2014.
- [21] E.O. Kim, T.H. Kim, J.S. Roh, “The influence of abdominal drawing-in maneuver on lumbar lordosis and trunk and lower extremity muscle activity during bridging exercise”, *PTK*, vol. 16, no. 1, pp. 1-9, 2009.
- [22] P. Konrad, K. Schmitz, A. Denner, “Neuromuscular evaluation of trunk training exercises”, *J Athl Train*, vol. 36, no. 2, pp. 109-118, 2001.
- [23] J.K. Ng, V. Kippers, M. Parnianpour, C.A. Richardson, “EMG activity normalization for trunk muscles in subjects with and without back pain”, *Med Sci Sports Exerc*, vol. 34, no. 7, pp. 1082-1086, 2002.
- [24] F.D. Kendal, McCreary, P.F. Proance, Muscle: Testing and Function with Posture and Pain, 5th ed, Baltimore, *Williams & Wilkins*, 2005.
- [25] H.S. Yang, C.J. Jeong, Y.D. Yoo, “The effects of 3 dimensional exercises and Klapp’s exercise on scoliosis”, *J Korean Society of Integrative Medicine*. vol. 2, no. 2, pp. 67-78, 2014.
- [26] D.Y. Kim, J.B. Park, “Virtual reality based stroke rehabilitation”, *J Korean Med Assoc*. vol. 56, no. 1, pp. 16-22, 2013.
- [27] B.G. Lee, Y.S. Jee, I.G. Ko, “Effects of combined exercises of walking and lumbar stabilization on pulmonary function and lumbar deep muscles of patients with chronic low back pain”, *KJHP*. vol. 8, no. 3, pp. 168-177, 2008.
- [28] D.A. Neumann, “Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation”, Mosby, 2 ed., 2009.