

가상현실을 이용한 닫힌 사슬 운동이 뇌졸중 환자의 하지 근활성도에 미치는 영향

■ 양대중, 박삼현, 이민기, 박승규

세한대학교 물리치료학과

Effects of Virtual Reality-Based Closed Kinetic Chain Exercise on Lower Extremity Muscle Activity in Chronic Stroke Patients

Dae-Jung Yang PT, PhD; Sam-Heon Park PT; Min-Ki Lee PT; Seung-Kyu Park PT, PhD

Department of Physical Therapy, Sehan University

Purpose : The purpose of this study was to identify effects of virtual reality-based closed kinetic chain (CKC) exercise on lower extremity muscle activity in chronic stroke patients

Methods : Subjects were assigned randomly either to VR+CKC exercise group (n=15) or the CKC exercise group (n=15). When the study began, both groups received conventional physical therapy five times per week. The VR+CKC exercise group received virtual reality programs and the CKC exercise group received close kinetic chain exercises. Each exercise program was performed for six weeks (5 times per weeks; 20 minutes per time). Participants were measured on lower extremity muscle activity using EMG.

Results : There was a significant increase of muscle activity (%RVC) in vastus lateralis and vastus medialis.

Conclusion : In this study, the virtual reality-based closed kinetic chain exercise program was an effective exercise for improving lower extremity muscle activity in chronic stroke patients

Key words : Virtual Reality, Closed Kinetic Chain Exercise, Muscle Activity, Stroke

논문접수일 : 2013년 5월 16일

수정접수일 : 2013년 5월 27일

게재승인일 : 2013년 6월 18일

교신저자 : 박승규, ehwns2@naver.com

1. 서론

뇌졸중은 혈액 공급 제한 혹은 뇌 조직 내의 출혈에 의한 세포손상과 신경학적 기능 결손의 결과이다.¹ 장애를 유발시키는 대표적인 질병으로 생존자에게 지속적인 장애가 되어 삶의 질을 떨어뜨린다.² 임상적 징후로는 의식장애, 감각장애, 운동장애, 언어장애, 그리고 인지장애를 발생시켜, 독립적인 일상생활에 제한을 초래한다.³ 뇌졸중은 마비측의 근육의 변화를 동반하여, 근육이 가지고 있는 고유한 기능에 부정적인 영향을 미치게 된다.⁴ 근육의 변화는 근육약화, 강직, 구축 등과 밀접하게 연계되어 근육의 두께 감소 및 근섬유의 단축 그리고 운동단위 수의 감소를 나타낸다.⁵ 특히

다리의 약한 근력과 운동조절의 저하, 경직 혹은 대항근의 공동수축 및 체중지지 시 불안정성으로 인하여 비정상적인 보행 패턴을 보이며, 낙상의 위험에 노출되어 있다.⁶ Ada 등⁷ 은 다리 근력이 뇌졸중 후 보행과 같은 기능적 수행 능력과 밀접한 관련이 있으며, 뇌졸중 환자의 기능적 회복을 위해서는 다리 근력 강화의 필요성을 보고하였다. 다리 근력 강화를 위해 여러 중재방법이 제시되고 있다.

근력 강화를 위한 운동을 분류하는 방법에는 여러 가지가 있는데, 운동 시 동원되는 관절이 단일 관절이나 복합 관절이냐에 따라 열린 사슬 운동과 닫힌 사슬 운동으로 분류된다. 신체분절의 먼쪽부위가 공간 속 에서 자유롭게 움직이는 경우를 열린 사슬 운동이라

고 한 반면, 신체 분절의 먼쪽부위가 고정되고 몸쪽부위가 움직이는 것을 닫힌 사슬 운동이라고 정의했다.⁸ 그 중에서도 닫힌 사슬 운동은 관절의 움직임이 상호의존적이기 때문에 관절 축의 먼쪽과 몸쪽에서 일어나는 움직임을 예상할 수 있고 근수축의 동원은 동적인 근육의 안정성을 위한 동시수축으로 원심성 수축이 우세하며 더 많은 관절 압박력은 전단력을 감소시켜 관절의 안정성을 제공한다. 다리 기능의 회복을 위해서는 일상동작과 직접 관련이 있는 닫힌 사슬 운동이 더 효과적이라고 하였다.⁹ Ji¹⁰ 는 뇌졸중 환자 14명을 대상으로, 체중 지지 상태에서 고유수용성 신경근 촉진법을 이용한 등장성 수축 결합 기법을 적용하여 안쪽·가쪽넓은근과 넙다리 곧은근의 활성도가 유의하게 증가하였고, Lee¹¹ 는 뇌졸중 환자 45명을 대상으로 거울을 이용한 닫힌 사슬 다리 운동을 적용하여 다리 근활성도의 유의한 차이가 있었다. Kim¹² 은 앞십자인대 재건술 환자 19명을 대상으로 닫힌 사슬 운동을 적용하여 다리 근활성도의 유의한 차이를 보였다. 하지만 일반적인 근력 강화 운동은 동기유발의 저하로 마비측 다리의 최대 근 수축을 유발하기 어렵다.¹³

최근 이러한 문제를 보완하기 위해 가상현실 속에서 다양한 과제를 수행하는 운동방법이 소개되고 있다.¹⁴ Flynn¹⁵ 은 가상현실이 흥미와 재미를 유발하여 환자 스스로 동기부여가 되는 효과가 있었다. Park¹⁶ 은 26명의 여성노인에게 8주 동안 가상현실 운동 프로그램을 적용하여 안쪽넓은근과 가쪽 넓은근의 근활성도와 균형 능력에 향상을 보였고, Yom¹⁷ 은 뇌졸중 환자에게 6주 동안 가상현실을 이용한 발목운동을 적용하여 다리 근 긴장도의 감소와 동적 균형능력의 향상을 보였다. 또한 뇌성마비 아동에게 가상현실 운동프로그램을 중재하여 전통적인 운동방법에 비해 흥미를 유발함과 동시에 관절가동범위의 향상을 보였고,¹⁴ 20명의 파킨슨병 환자에게 6주 동안 가상현실 운동을 적용하여 보행 속도의 향상을 보였다.¹⁸ 이처럼 가상현실을 이용한 운동 방법에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 대부분 균형과 보행에 관한 연구이며 다리 근활성도에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 가상현실을 이용한 닫힌 사슬운동이 뇌졸중환자의 다리 근활성도에 미치는 영향에 대해서 알아보자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 전남 목포 소재의 J 병원에 입원중인 환자 중 발병일로부터 6개월 이상 경과된 만성 뇌졸중 환자 40명 중 본 연구에 대하여 충분한 이해와 실험 참여에 동의서를 제출한 30명의 환자를

대상으로 실시하였다. 대상자들은 무작위 임의 선정으로 실험군과 대조군으로 각각 15명씩 나뉘어졌으며, 세부적인 선정기준은 아래와 같다.

- 첫째, 10m 이상 독립적인 보행이 가능한 자
 - 둘째, 한국형 간이 정신상태 검사(KMMSE)에서 24점 이상으로 의사소통이 가능한 자
 - 셋째, 신경학적 검사로 청각, 전정, 안구 손상이 없는 자
 - 넷째, 실험에 영향을 줄 수 있는 근·골격계 질환이 없는 자
- 대상자들의 일반적인 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 대상자의 일반적 특성(n=30)

	실험군	대조군	t	p
나이 (세)	56.7±1.8	57.1±1.9	1.475	0.598
키 (cm)	165.9±3.5	167.2±2.9	0.761	0.777
몸무게 (kg)	63.9±3.2	67.7±2.7	1.997	0.372
발병일 (month)	16.1±1.2	16.4±1.5	0.845	0.576

평균±표준편차

실험군 : 가상현실+닫힌 사슬 운동

대조군 : 닫힌 사슬 운동

2. 실험방법

1) 가상현실을 이용한 닫힌 사슬 운동

가상현실을 이용한 닫힌 사슬 운동은 가상현실시스템(E-LINK system Myo-Ex, Biometrics Inc, 영국)을 이용하여 실시하였다. 가상현실시스템은 근육이 수축 할 때 발생하는 활동전위에 기초 하여 모니터를 통해 제시되는 과제지향적 프로그램들을 수행하며, 본 연구에서는 앉은 자세 에서 일어나기 프로그램을 실시하였다. 운동은 6주 동안 주 5회 1일 20분 중재하였다(그림1).



그림 1. 가상현실시스템

2) 달린 사슬 운동

달린 사슬 운동은 Bevilaua-Grossi 등¹⁹의 연구를 수정하여 스쿼트 운동을 실시하였다. 운동을 중재하기 전 충분한 교육을 실행한 후 양 발을 어깨넓이만큼 벌린 후 등을 벽에 붙은 상태로 무릎을 60도 까지 구부려 5초간 자세를 유지한 후 일어서도록 하였다. 휴식시간은 30초로 하였으며, 환자의 피로도와 맥박, 혈압 등을 고려하여 휴식시간을 제공하였다. 운동은 6주 동안 주 5회 1일 20분 실시하였다.

3. 측정 방법

1) 표면 근전도 시스템

다리 근활성도를 측정하기 위해 표면 근전도 시스템(MP100 EMG, Biopac System Inc, 미국)을 이용하였고 여기에서 전환된 디지털 신호는 개인용 컴퓨터에서 Acqknowledge 3.91 소프트웨어를 이용하여 자료 처리하였다. 표면 근전도의 신호에 대한 피부 저항을 감소시키기 위하여 부착부위의 털을 제거하고 가는 사포로 3~4회 문질러 피부각질층을 제거한 후, 소독용 알코올로 피부를 깨끗이 하였다. 근전도 자료는 가쪽넓은근(vastus lateralis)과 안쪽넓은근(vastus medialis)에서 수집하였고, 이극 전극은 각 근육의 근 힘살(muscle belly) 중앙에 근섬유 방향과 평행하게 부착하였다. 표본추출률(sampling rate)은 1,024Hz로 설정하였고, 잡음을 최소화하기 위하여 대역 여과 필터(notch filter) 60Hz, 대역통과필터(band pass filter) 30~500Hz를 사용하였고, 수집된 신호는 실효치(RMS)로 변환하였다.

2) 근활성도의 표준화

본 연구에서는 근활성도를 표준화하기 위해 특정 동작의 근 수축을 기준 수축(reference voluntary contraction, RVC)으로 삼아 이를 표준화하는 %RVC방법을 이용하였다. 기준 수축은 비마비측(non-affected side)의 넙다리내갈래근의 최대 같은길이 수축 시의 근활성도를 측정 하여 총 5초 동안의 근전도 신호 중 처음과 마지막 1초씩을 제외한 3초의 신호를 이용하여 RVC값을 산출하였고, 마비측(affected side) 다리의 스쿼트 운동 시 측정된 근활성도의 평균 값을 RVC값으로 나누고 100 곱하여 %RVC 값을 산출하였다.

4. 분석 방법

결과분석은 WINDOW SPSS 17.0 프로그램을 이용하여 처리하였다. 연구대상자의 정규성 검증을 위해 독립표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였고, 운동방법에 따른 그룹 간

다리 근활성도를 비교하기 위해 공분산분석(analysis of covariance: ANCOVA)을 실시하였다. 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

III. 결과

6주 간의 운동 후 다리 근활성도의 변화는 다음과 같다(표 2). 운동 전, 후 실험군과 대조군 간의 가쪽넓은근 및 안쪽넓은근의 근활성도(%RVC) 모두 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05).

표 2. 근활성도의 변화

(단위: %)

	실험군		대조군		F	p
	운동 전	운동 후	운동 전	운동 후		
지상보행군	45.65±3.54	72.37±2.74	44.78±2.84	66.32±3.07	4.368	0.02
일반운동군	41.26±2.52	70.79±3.61	40.98±3.74	64.15±2.76	5.452	0.01

평균 ± 표준편차

실험군: 달린 사슬 운동+가상현실

대조군: 달린 사슬 운동

IV. 고찰

뇌졸중은 신경학적 손상으로 감각운동, 뇌먹임, 균형, 근육의 생역학적 특성과 여러 요소들의 변화를 초래한다.²⁰ 특히 마비측 근육의 변화를 동반하여 근육이 가지고 있는 고유한 기능에 부정적인 영향을 미친다.⁴ 근육의 변화는 근육약화, 강직, 구축 등과 밀접하게 연계되어 근육의 두께 감소와 근섬유의 단축 및 운동단위 수의 감소를 나타낸다.⁵

본 연구는 6개월 이상 경과된 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 가상현실을 이용한 달린 사슬 운동을 6주간 적용하여 다리의 근활성도에 대하여 알아보았다.

달린 사슬 운동은 사지의 먼쪽부위는 고정되어 있는 상태에서 몸쪽부위와 먼쪽부위에서 저항을 동시에 적용할 때 일어나는 운동으로, 원심성 수축이 우세하며, 관절의 안정성을 주고, 관절낭의 압력 변화에 민감하게 반응하여 고유수용성 감각을 촉진한다.²¹

Lee²²는 뇌졸중 환자 30명을 대상으로 열린 사슬 운동과 달린 사슬 운동을 6주 동안 실시한 결과, 열린 사슬 운동에 비해 달린 사슬 운동에서 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 장딴지근, 앞정강근의 활성도가 유의한 증가를 보였다. 본 연구에서도 가상현실을 이용한 달린 사슬 운동을 통해 가쪽넓은근과 안쪽넓은근의 근활성도가 유의한 증가를 보였다. 이는 원심성 수축을 포함 하는 달린 사

슬 운동이 근 수축 동안 동원되는 운동단위 수와 자극 빈도의 증가로 인하여 근활 성도를 증가시킨 것으로 생각된다.

뇌졸중 환자의 근력 향상을 위한 다양한 치료적 중재방법 중 최근 생체피드백을 통한 가상현실 훈련이 탁월한 효과가 있다고 하였다. 가상현실이란, 특정한 환경이나 상황을 만들어 환자가 실제 주변과 환경, 상황과 상호작용을 하고 있는 것처럼 만들어 주며, 재활 분야에서 새로운 운동 전략의 발전 가능성을 제안했다.²³

Yom¹⁷은 뇌졸중 환자에게 가상현실을 이용한 발목운동을 적용하여 근 긴장도의 유의한 감소를 보였고, Seo²⁴는 뇌졸중 환자 27명을 대상으로 비디오 게임을 기반으로 한 가상현실 훈련을 통하여 팔 근활성도의 유의한 증가를 보였다. 본 연구에서도 가상현실을 이용한 단한시슬 운동을 통하여 다리 근활성도의 유의한 증가를 보였다. 선행연구와 같이 본 연구에서도 대상자를 뇌졸중 환자로 선정하였고 근활성도의 유의한 증가를 보여 동일한 결과를 얻었다. 측정부위는 다르지만 근활성도의 향상을 보인 동일한 결과는 가상현실을 이용한 운동 방법에 근거들에 신뢰도를 더욱 증가시키며, 뇌졸중 환자의 재활에 중요한 요소 일 것으로 생각된다. Cho²⁵는 노인들에게 가상 현실을 이용한 운동을 중재하여 넙다리두갈래근과 장딴지근의 근활성도의 유의한 증가를 보였다. 본 연구에서도 가상현실을 이용한 단한시슬 운동을 통하여 대조군과 비교하여 다리 근활성도의 유의한 증가를 보였다. 노인과 뇌졸중 환자는 인지 및 집중력을 저하로 인하여 운동에 대한 집중력이 감소되거나 가상현실을 이용한 운동은 동기부여를 제공하여 근활성도의 증가에 효과적 일 것으로 생각된다.

Woodford와 Price²⁶는 뇌졸중으로 인한 다리의 기능장애 환자에게 근전도 생체피드백을 이용한 치료가 일반물리치료에 비해 다리의 근력에 향상을 제공한다고 보고하였고, Geurts 등²⁷은 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 생체피드백을 이용한 뇌졸중 그룹에서 중간볼기근과 장딴지근에서 유의한 증가를 보인다고 하였다. Yang²⁸은 뇌졸중 환자 18명을 대상으로 일반적인 물리치료와 과제지향적 생체피드백 훈련을 중재한 그룹과 일반적인 물리치료만 중재한 그룹을 비교한 결과, 과제지향적 생체피드백 훈련을 중재한 그룹에서 앞정강근의 최대 수의적 같은길이 수축력에서 유의한 증가를 보였다. Park²⁹은 편마비 환자 40명을 대상으로 일반적인 물리치료와 시청각 피드백 훈련을 중재한 그룹과 일반적인 물리치료만 중재한 그룹을 비교한 결과, 일반적인 물리치료와 시청각 피드백을 중재한 그룹에서 안쪽넓은근과 중간볼기근의 근활성도에 유의한 증가를 보였다. 본 연구에서도 가상현실을 이용한 운동을 통하여 선행연구와 동일한 결과를 보였으나, 가상현실이라는 다른 변수가 적용되었다. 하지만 가상현실도 생체피드백을 기초로 더 향

상된 프로그램의 한 부분이며, 가상현실은 시, 청각 및 고유수용 감각 등과 같은 감각적 생체피드백 요소의 증가로 가중을 통한 흥분성의 증가를 통해 재활에 더 효과적인 것으로 생각된다.

위와 같은 결과들은 뇌졸중 환자들에게 가상현실을 이용한 단한시슬 운동이 마비측 다리의 근활성도를 향상 시키는데 도움을 줄 것으로 생각된다. 본 연구에서는 연구 대상자의 손상 부위와 유병 기간 및 개별적 운동 등의 관련 인자가 연구에 미칠 영향을 완전히 배제하기 어려웠고, 뇌졸중 환자에 수행능력에 관한 변수가 부족하였다. 향후 본 연구를 바탕으로 가상현실을 이용한 운동이 뇌졸중 환자의 균형, 보행, 삶의 질 향상에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

V. 결론

본 연구의 결과는 뇌졸중 환자들을 대상으로 가상현실을 이용한 단한시슬 운동을 6주 간 실시한 후 다리의 근활성도에 미치는 영향을 분석한 결과, 가상현실을 이용한 단한시슬 운동이 다리 근활성도 증가에 더 효과적임을 알 수 있었다. 앞으로 뇌졸중 환자들에게 마비측의 집중적인 자가 사용을 위한 효과적인 치료로 생각되며, 기능향상을 위한 프로그램으로 제안하자고 한다.

참고문헌

1. Teixeira-Salmela LF, Olney SJ, Nadeau S et al. Muscle strengthening and physical conditioning to reduce impairment and disability in chronic stroke survivors. Arch Phys Med Rehabil. 1999;80(10):1211-1218.
2. Harris JE, Eng JJ, Marigold DS et al. Relationship of balance and mobility to fall incidence in people with chronic stroke. Phys Ther. 2005;85(2):150-158.
3. Anne, Woolacott MH, Shumway-Cook. Motor control: translating research into clinical practice. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2006:157-162.
4. Becher, Jules G et al. Measurement of impaired muscle function of the gastrocnemius, soleus, and tibialis anterior muscles in spastic hemiplegia: a preliminary study. Journal of Rehabil Research and Development. 1998;35(3):314-326.
5. Metoki N, Sato Y, Satoh K et al. Muscular atrophy in

- the hemiplegic thigh in patients after stroke. *American Journal of Phys Med & Rehabil*. 2003;2(11):862-865.
6. Geiger RA, Allen JB, OKeefe J et al. Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy interventions with and without biofeedback/forceplate training. *Phys Ther*. 2001;81(4):995-1005.
 7. Ada L, Dorsch S, Canning CG. Strengthening interventions increase strength and improve activity after stroke: a systematic review. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2006;52(4):241-248.
 8. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for physical rehabilitation*. St. Louis, MO: Mosby, 2002:8-9.
 9. Palmitier RA, An KN, Scott SG et al. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med*. 1991;11(6):402-413.
 10. Ji Sk. The effects of combination of isotonic technique in proprioceptive neuromuscular facilitation on the balance, muscle activity and fatigue of quadriceps muscle in hemiplegic stroke patients. Eulji University. Dissertation of Master's Degree. 2008
 11. Lee JH. The effects of close kinetic chain exercise for lower extremity using mirror on muscle strength, balance and gait in stroke patients. Chung-Ju National University. Dissertation of Master's Degree. 2012.
 12. Kim YJ. Effects of closed kinetic chain exercises on the stability of the knee joints of patients with anterior cruciate ligament reconstruction. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2007.
 13. Uhm YH. 2013. Effects of biofeedback postural control training on balance and muscle activity in stroke patients. Sehan University. Dissertation of Master's Degree. 2013.
 14. Bryanton C, Bosse J, Brien M et al. Feasibility, motivation, and selective motor control: virtual reality compared to conventional home exercise in children with cerebral palsy. *Cyber-Psychology & Behavior*. 2006;9(2):123-128.
 15. Flynn S, Palma P, Bender A. Feasibility of using the Sony playstation 2 gaming platform for an individual poststroke: a case report. *Journal of Neurologic Phys Ther*. 2007;31(4):180-189.
 16. Park SU. Effects of virtual reality exercise program on muscle activity and balance abilities in elderly women. *The Journal of Korean Society of Phys Ther*. 2011;23(4):37-44.
 17. Yom CH. The effects of virtual reality based ankle exercise on dynamic balance, muscle tone and gait in people with stroke. Sahmyook University. Dissertation of Master's Degree. 2013.
 18. Mirelman A, Maidan I, Herman T et al. Virtual reality for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Med Sciences*. 2011;66(2):234-240.
 19. Bevilaqua-Grossi D, Felicio LR, Simoes R et al. Electromyographic activity evaluation of the patella muscles during squat isometric exercise in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Revis Bras Med Esp*. 2005;11(3):159-163.
 20. Kim BJ, Bae SS, Hwang BG. The improve of hemiplegic patients functional ambulation profile by forceful respiratory exercise. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 2004;16(1):13-24.
 21. Kisner C, Colby LA. *Therapeutic exercise: Foundations and techniques* (Jang JH, Trans.), 5th ed. Yeong Mun Publishing Company. 2010: 210-212(original work published 2007).
 22. Lee NK. The effects of closed and open kinetic chain exercises on lower limb muscle activity, balance and gait in stroke patients. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2011.

23. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E et al. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *Neuro Rehabilitation*. 2009;25(1):29-44.
24. Seo SM. Video Game-Based Exercise for upper-extremity function, strength, visual perception of stroke patients. Sahmyook University. Dissertation of Master's Degree. 2009.
25. Cho GH. The effects of virtual reality-based balance training on balance and lower-extremity muscle activation. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2011.
26. Woodford, H., Price C. EMG biofeedback for the recovery of motor function after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007;2:CD004585.
27. Geurts AC, de Haart M, van Nes IJ et al. A review of standing balance recovery from stroke. *Gait & posture*. 2005;22(3):267-281.
28. Yang DJ. Effects of Biofeedback with task-related training on motor function and neural plasticity in subjects with stroke. Dongshin University. Dissertation of Doctorate Degree. 2010.
29. Park SK. The effects of visual and auditory feedback training on the body balance, MVC and physical performance of hemiplegic patients. Chonnam University. Dissertation of Doctorate Degree. 2006.