

불안정판을 부착한 경사침대에서 하지운동 시 정상성인의 근력 특성 분석

Characteristic Analysis of Lower Limbs Muscles in Young Normal Adults on a Tilting Bed Using an Unstable Platform

유미¹, 이선연², 박용균¹, 김경³, 정구영⁴, 김정자⁵, 권대규^{5,6,✉}
Mi Yu¹, Sun Yeon Lee¹, Yong Jun Piao¹, Kyong Kim³, Gu Young Jeog⁴, Jung Ja Kim⁵,
and Tae Kyu Kwon^{5,6,✉}

1 전북대학교 자동차부품·금형기술혁신센터 (Chonbuk National University Automobile-parts & mold Technology Innovation Center)

2 전북대학교 의료기기임상시험센터 (Medical Device Clinical Trial Center, Chonbuk National Univ.)

3 국립재활원 (National Rehabilitation Center)

4 전북대학교 헬스케어기술개발사업단 (Center for Healthcare Technology Development, Chonbuk National Univ.)

5 전북대학교 바이오메디컬공학부 (Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National Univ.)

6 고령천화복지기연구센터 (Research Center for the Improvement of Sensory Motor for the Aged, Chonbuk National Univ.)

✉ Corresponding author: kwon10@jbnu.ac.kr, Tel: 063-270-4066

Manuscript received: 2010.12.6 / Revised: 2011.8.17 / Accepted: 2011.8.29

We investigated an early rehabilitation training system that increase the intensity of patient rehabilitation training to shorten the time it takes for patients to progress to a secondary rehabilitation training stage by allowing patients incapable of self-ambulation. It consisted of tilting bed, unstable platform using strong springs and training program for lower limb rehabilitation. We performed experimental study on the muscular activities of tibialis anterior(TA), soleus(SO), gastrocnemius(GA) in the lower extremities during training of straight line, circle, quardrangle pattern during tilting angle of 30°, 60°. The muscle activities were higher during tilting angle of 30° than 60°. In straight line pattern, the muscle activities were higher by SO, GA and TA during medio-lateral direction, however, by TA, SO and GA during antero-posterior direction. In circle and quardrangle pattern, the muscle activities were higher by TA, SO and GA during clockwise and counterclockwise direction. The results indicate that the early rehabilitation training system could be applied to improve the lower extremity muscular strength for elderly and patients, especially, stroke.

Key Words: Strong Spring (강성스프링), Unstable Platform (불안정판), Tilting Bed (경사침대), Lower Limb Exercise (하지운동), Electromyogram (근전도)

1. 서론

최근 교통사고의 증가와 평균수명의 연장으로 인한 노인 인구의 급증으로 중추신경계의 기능에 손상을 초래하는 각종 질환들, 즉 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌성마비 및 퇴행성 뇌질환 등이 더욱 많

아지고 있다. 이러한 질환들은 뇌기능 장애로 인한 운동감각 및 인지능력 저하를 일으켜 보행과 일상생활 동작수행에 큰 장애를 초래하게 된다.^{1,2} 이 질환을 치료하게 되는 여러 전문 분야의 공통된 목표는 가능한 최선의 신경학적/기능적 결과 (neurological and functional outcome)를 얻고자 하는

것이다. 신경학적인 면에서는 세포의 생존을 늘리고 신경학적 손상의 범위를 최소화하는 각종 치료들이 시도되었고, 기능적 회복의 측면에서는 신경학적 회복을 촉진시키고, 완전한 기능적 잠재능력을 달성하는 데 방해가 되는 신체적 합병증을 예방하는 부분이 포함된 재활치료가 수행되었다.³ 뇌졸중 환자의 경우, 집중적이고 포괄적인 재활치료를 받기 전의 급성기에 해당되는 부분은 대략 발병 후 1 일에서 약 1 주일 정도에 해당된다고 볼 수 있으며,⁴ 이 시기를 지나 신경학적으로 안정되면 적극적으로 포괄적인 재활치료의 대상이 된다고 할 수 있다. 포괄적인 재활치료의 시기는 환자의 발병 원인이나 동반된 질병이나 합병증의 발생에 따라 달라지게 된다.

여러 가지 이유로 침상 안정을 취하게 되는 급성기의 경우에도 합병증의 예방을 위해 각종 재활의학적 치료의 원칙이 발병 당시부터 조기 재활의 개념이 적용되어야 한다.⁵⁻⁷ 환자에 있어서 재활훈련의 시기는 환자가 정상인으로서 사회에 환원될 수 있도록 하는 기간을 단축시키는데 필요한 시간과도 밀접한 연관이 있다. 그 만큼 무리하지 않은 범위 내에서 실시되는 조기 재활은 환자의 빠른 쾌유를 도모할 것이다.^{8,9}

뇌졸중 환자는 일반적으로 전체 체중의 61~80%가 건축 하지에 체중부하가 이루어지는 비대칭적인 불균형 및 부분적인 체중 이동, 하지의 수의적 움직임 소실에 의한 자세적 동요(postural sway)가 유발되는 균형 능력의 감소가 나타난다. 이 중 근력 약화는 일상생활 동작 중 가장 중요한 활동능력이며, 독립적인 생활을 하는데 반드시 필요한 보행을 제한하는 주된 요소로 이동, 기립 등 기능적인 동작까지도 밀접한 연관성이 있는 것으로 보고되고 있어 하지 근력 강화는 뇌졸중 후 재활치료의 중요한 부분으로 인식되고 있다.¹⁰ 또한 뇌졸중 환자의 임상적인 특징 중에서도 운동 장애를 초래하는 족관절의 경직은 족저굴곡근의 단축과 함께 발목관절의 구축과 같은 좋지 않은 예후로 환자의 재활치료에 있어서 큰 장애요인으로 작용하게 되는데,¹¹ 곧 기립과 균형을 어렵게 하여 침상에서 벗어나지 못하게 할 뿐 아니라 정상적인 보행까지 어렵게 하고 있다.¹² 선행연구에 따르면 뇌손상으로 입원한 환자들 중 84%에서 관절 이상 구축이 발생되었으며 그 중 76%는 발목관절의 구축이 동반되었다고 보고하였다.¹³

직립이나 보행과 같은 신체적 안정성을 강조하

는 운동 수행은 고관절과 족관절이 중요한 역할을 수행한다. 특히, 신체 흔들림의 범위가 큰 경우에는 고관절이 작용을 하며, 흔들림이 작은 경우에는 주로 발목관절이 작용하게 된다. 또한, 낙상을 경험한 사람과 그렇지 않은 사람의 근력을 비교해 본 결과, 고관절의 신전근과 족관절 배측굴근에서 유의한 차이를 보인다고 연구되었다.¹⁴ 이처럼 운동 수행 능력의 소실은 족관절 근력의 약화와 밀접한 관련성이 있으며, 특히 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 대다수는 마비측의 하지의 비정상적인 정렬을 위해서는 족관절의 근력이 우선되어야 한다고 하였다.¹⁵

이에 효율적인 재활프로그램으로 하지 근력 강화 및 각종 기능훈련을 비롯하여 신경발달 치료나 고유수용체 신경 근축진법 등이 치료 방법을 통하여 신경 회복을 촉진하고자 하게 된다.¹⁶ 이런 치료와 더불어 최근에는 기능적 전기자극 치료,¹⁷ 로봇 보조치료(robot assisted therapy),⁶ 부분체중지지 트레드밀 운동¹⁸ 등 다양한 부가적인 치료방법과 개념들이 비교적 초기 재활치료부터 도입되어 재활 치료에 이용된다. 그러나 기존의 침대 밖에서의 재활이란 개념으로는 이런 것들을 실현시키는 어렵다. 또한 하지 근력강화 운동 방법으로 Miller 와 Light¹⁹ 는 저항을 이용한 근력강화 운동이 강직과 기능적인 움직임에 미치는 영향을 연구하였는데, 점진적인 등척성 저항운동이 강직에 부정적 영향을 미치지 않으며, 동시수축의 정도는 감소시켜 선택적인 움직임에 긍정적인 영향을 준다고 하였고, 적극적인 근력강화 운동이 오히려 강직을 감소시켰다는 보고들도 있다.^{20,21}

따라서 조기재활 중 족관절의 근력을 강화하기 위해 환자가 침대에서부터 조기에 재활치료가 가능하도록 하는 것이 필요하다. 이에 Yu 등⁸ 은 힘판을 부착한 경사침대형 조기 재활 시스템을 개발하였지만, 힘판은 가격면에 있어 부담스럽고 사용자가 하지에 비교적 많은 힘을 들어서 운동해야 하는 단점이 있다. 가격면에서 저렴하고, 기본적으로 족관절의 근력을 강화시킬 수 있는 다른 구동 메커니즘을 고려해야 한다.

본 연구에서는 하단에 강성스프링을 이용한 불안정판을 장착되고 좌·우 상·하 기울기가 가능한 경사침대와 상부의 모니터를 통해 하지운동 훈련 프로그램을 시각적으로 피드백 받을 수 있는 제시 장치로 구성된 조기재활치료 시스템을 개발하였다. 시스템의 효용성을 입증하고자 하지 운동 시 하지

근육의 특성을 분석하였고 이에 따른 재활훈련 효과를 분석하였다.

2. 조기재활 훈련 시스템

2.1 강성스프링 불안정판이 장착된 경사침대

그림 1 은 하단에 강성스프링을 이용한 불안정판을 장착한 경사 침대형 조기 재활 훈련 시스템을 나타내고 있다. 시스템의 구성은 환자가 운동의 영상이나 결과를 볼 수 있는 시각제시부, 강성스프링을 이용한 불안정판과 기울기 센서가 장착된 경사침대로 구성되어 있다. 이 시스템은 구동 컴퓨터에 설치된 A/D 변환기와 소프트웨어에 의해서 운용된다.

경사침대는 경사가 0 ~ 90° 조절되는 전동식 유압시스템이고, 좌.우 조절이 -30° ~ +30° 까지 가능한 전동실린더로 이루어져 있다. 또한 발판 높이 조절이 0 ~ 25cm 까지 되는 전동실린더로 이루어져 있으며 안전장치가 되어 있다.

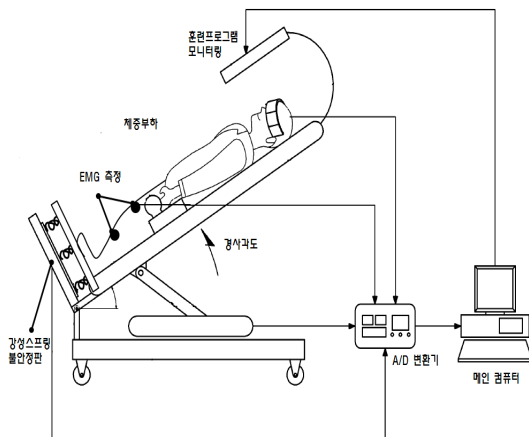


Fig. 1 Rehabilitation training system on tilting bed using unstable platform with strong springs

그림 2 는 침대의 경사각에 따른 하지 재활 훈련을 위한 강성스프링 불안정판이다. 두 개의 나무 발판의 중심 1 개와 가장자리에 4 개 스프링을 볼트와 너트로 고정시켰다. 이때 중심에 위치한 스프링의 강성계수는 9.091kgf/cm 이며, 바깥쪽에 위치한 스프링의 강성계수는 2.08kgf/cm이다. 기존의 힘판(forceplate)에 비해 강성스프링 불안정판으로 인해서 침대에 누워서 조기 재활훈련 시에 환

자가 많은 힘을 들이지 않고도 스프링의 탄성력으로 인해서 운동을 쉽게 할 수가 있다.⁸ 사용자가 강성스프링 불안정판에 힘을 가했을 때, 기울기 센서로부터 나오는 신호는 증폭기를 거쳐 A/D 변환기를 통해 추출한다.

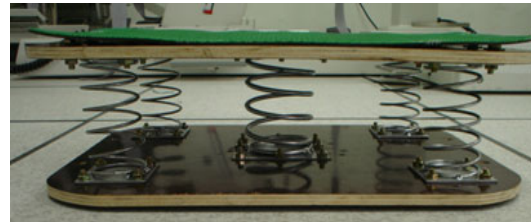


Fig. 2 Unstable platform with strong springs

2.2 하지 운동 훈련 프로그램

하지운동 재활훈련 평가를 위해서 훈련 속도, 각도, 방향의 매개변수가 다양하게 구성된 훈련, 평가, 분석 모듈과 피험자 관리부로 구성된 재활 훈련 프로그램을 개발하였다.

경사침대에서 훈련을 하기 위해서는 강성스프링 불안정판에서 각도에 따라 하지의 움직임이 한정적이므로 훈련 종류와 훈련 방법이 매우 중요하다. 따라서 이 프로그램은 훈련 종류에 따라서 신체의 압력중심(center of pressure, COP)을 특정한 방향으로 이동하게 하는 패턴으로 구성되어 있다. 초록색 원 안에 자신의 압력중심을 맞추어 파란색 경로를 따라 운동하도록 설계하였으며, 각 패턴별 훈련 프로그램은 이동 경로 범위(level), 속도(speed), 위치(shift)를 조절하여 훈련의 난이도를 조절할 수 있다. 본 연구에서는 level 3, speed 3, shift 0 으로 고정하여 하지 운동의 패턴에 대한 영향만을 분석하였다.

그림 3(a)는 직선(straight line) 패턴의 경로 추적 훈련 프로그램이다. 이 프로그램을 이용하여 수평 또는 수직 방향에서 직선형으로 이동하는 초록색의 목표(target)가 이동하는 경로를 따라 신체 COP 이동 훈련을 통해 하지운동을 할 수 있다. 그림 3(b)와 (c)는 시계방향(clockwise)과 반시계방향(counterclockwise)으로 이동하는 원형(circle)과 사각형(quadrangle) 패턴을 이용한 경로 추적 훈련 프로그램이다.^{22,23} 각 패턴은 수평과 수직방향을 복합적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 원과 사각형 패턴에서 이동하는 초록색 목표물을 따라 신체 COP 이동 훈련을 할 수 있다.

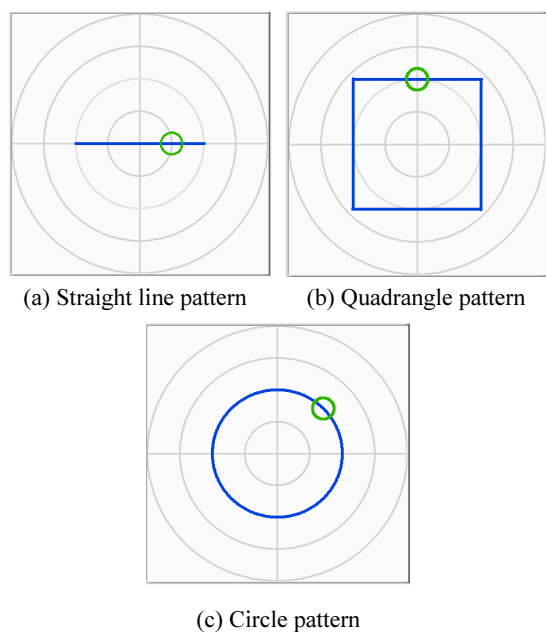


Fig. 3 Training program for COP moving on various patterns

3. 실험방법

3.1 피험자

실험 대상으로는 전북대학교에 재학 중인 20대 성인 남녀(평균연령 24.5±1.58 세, 평균 신장 167.1±8.90cm, 평균 몸무게 60.2±7.76kg, 남 5 명, 여 5 명) 10 명이 참여하였다. 이들은 신경학적 질병 및 전정기관의 이상이 없으며, 우세발이 오른쪽으로 정상 근골격 기능을 가지고 있다. 또한 이들 모두는 이전에 본 연구와 유사한 실험에 참가한 경험이 없으며 실험 전 실험목적에 제외한 실험절차에 대해 충분히 설명한 후 진행하였다.

3.2 하지운동 패턴

표 1 은 패턴별 경로추적훈련의 구성을 표시한 것이다. 직선형 패턴은 좌우와 전후 방향, 원형과 사각형 패턴은 각각 시계방향과 반시계방향의 경로로 나뉘게 된다.

3.3 EMG 측정 및 분석

경사침대의 각도별, 훈련패턴별 하지 운동 시 족관절의 근육 활성화를 분석하기 위하여 양다리의 앞정강근(tibialis anterior, TA), 가자미근(Soleus, So), 장딴지근(gastrocnemius, Ga)에 전극을 부착하

Table 1 The speculation of various patterns

Pattern	shape	level	shift	speed (cm /sec)	direction
straight line	—	3	0	0.63	medio-lateral
					anterio-posterior
Circle	○	3	0	0.96	clockwise
					counter clockwise
quadrangle	□	3	0	0.95	clockwise
					counter clockwise

고, EMG 를 측정하였다. EMG 측정을 위해 MP150(BIOPAC Systems, Inc.)을 사용하였고 샘플링 1000Hz, 증폭비 1000 배로 하였다. 근전도 신호의 필터링을 위해 5Hz-500Hz 의 대역 통과 필터를 사용하여 근전도 신호를 얻었다. 전극은 직경 20mm 인 원형타입의 EL500 을 사용했고, 실험 전 표면근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위해 소독용 알코올로 피부 각질층을 제거한 후 전극을 부착하였다.

EMG 데이터 분석은 훈련패턴에 따라 하지운동을 실시할 때 초록색 원 안에서 피험자 압력중심의 평균 거리가 원의 반경보다 작은 경우 제시된 과제를 충실히 수행했다고 판단하여 본 기준에 해당하는 데이터만을 분석에 포함하였다. 표면전극으로부터 얻어지는 근전도 신호는 여러 운동 단위의 활동전위와 관련된 많은 정보를 포함하고 있으나, 과형이 복합 중첩된 랜덤 과형이고 근육의 종류에 따라 그 특성이 모두 다르다. 따라서 측정된 근전도 신호는 서로 다른 사람의 근육들로부터 처리된 근전도 신호의 강도와 비교하기 위해 m-DYN(mean dynamic activity)방법을 사용해서 공통의 기준신호로 표준화하였다.²⁴ 표준화된 근전도 신호는 FFT 를 통해 주파수분석을 하였고 근활성도를 알기 위해 확률 밀도함수를 구하여 스펙트럼 에너지를 분석하였다. 통계분석을 위해 SPSS 12.0 프로그램을 결과 값의 유의성을 분석했다. 2-way ANOVA 를 통하여 경사침대 각도와 근육의 변수에 다른 결과 값을 분석하였고, 윈다리와 오른다리의 차이에 대하여 paired t-test 를 통하여 분석하였다.

3.4 실험절차

경사침대의 강성스프링 불안정판에서 하지 운동이 익숙해 질 수 있도록 약 3 분 정도 연습을

한 후에 실험을 시행하였다. 실험은 한 명당 2 회씩 하였으며, 한번 실험을 할 때 평균 25 분이 걸렸다. 침대의 각도는 30°와 60°로 나누어 실시하였으며, 각 조건 사이에는 약 3 분의 휴식을 취하였다.

4. 결과

그림 4 는 경사침대의 기울기 각도가 30° 와 60° 일 때 직선형 패턴에서 좌우(medio-lateral) 와 전후(anterio-posterior) 방향으로 하지 운동 시 양하지 족관절의 근활성도를 나타내는 그래프이다. 침대 경사각도가 60° 일 때보다 30°의 조건에서 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 우세발인 오른쪽 다리에서의 근활성화가 높은 것을 알 수 있었다. 직선형 패턴 중 좌우방향으로 하지 운동 시 경사침대 각도에 따라 TA, GA, SO 순으로 활성화되었다. 반면 전후방향으로 하지 운동 시에는 GA, SO, TA 순으로 활성화되었다. 오른다리와 왼다리에서의 근육 차이는 좌우방향에서는 SO(30°), 전후방향에서는 TA(30°)와 GA(60°)가 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

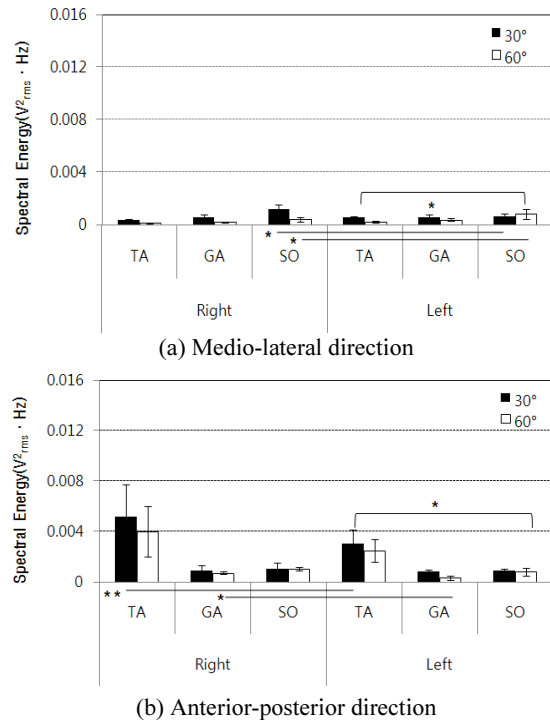


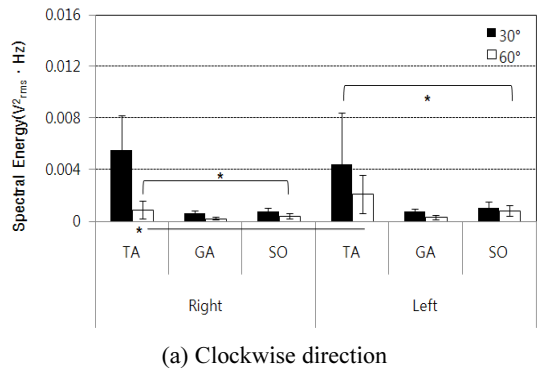
Fig. 4 Integrated EMG in straight pattern with different tilting angle (*p<0.05, **p<0.01)

표 2 는 족관절에 위치한 앞뒤 근육 중 어느 근육이 더 활성화 되었는지 판단하기 위해서 각 조건에서 TA/SO 와 TA/GA 비율을 구한 것이다. 좌우/전후 방향에서는 SO 근이 더 활성화되었다. 경사침대의 각도조건과 우세발 유무에 따른 차이는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

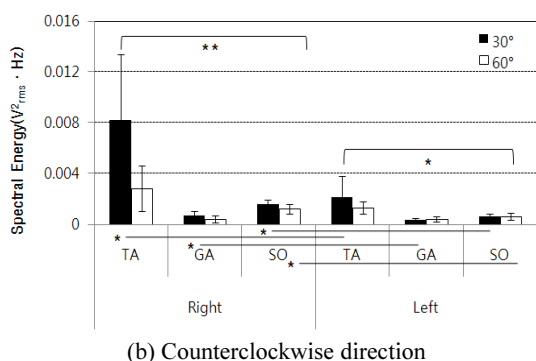
Table 2 TA/GA and TA/SO ratio in straight pattern with different tilting angle

pattern direction	tilting angle	right/left leg	TA/GA ratio	TA/SO ratio
medio-lateral	30	right	0.59	0.28
		left	0.89	0.84
	60	right	0.53	0.24
		left	0.51	0.23
anterio-posterior	30	right	5.78	5.20
		left	3.85	3.53
	60	right	5.71	4.00
		left	6.67	3.63

그림 5 는 경사침대의 기울기 각도가 30° 와 60° 일 때 원형 패턴에서 시계(clockwise)와 반시계(counterclockwise) 방향으로 하지운동 시 양하지 족관절의 근활성도를 나타내는 그래프이다. 침대 경사각도가 60° 일 때보다 30°의 조건에서 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 우세발인 오른쪽 다리에서의 근활성화가 높은 것을 알 수 있었다. 원형 패턴 중 시계와 반시계 방향에서 하지 운동 시 경사침대 각도에 따라 TA, SO, GA 순으로 활성화되었다. 오른다리와 왼다리에서의 근육 차이는 시계방향에서는 TA(60°), 반시계방향에서는 TA, GA(30°)와 SO(60°)가 통계적으로 유의한 차이를 보였다.



(a) Clockwise direction



(b) Counterclockwise direction

Fig. 5 Integrated EMG in circle pattern with different tilting angle (*p<0.05, **p<0.01)

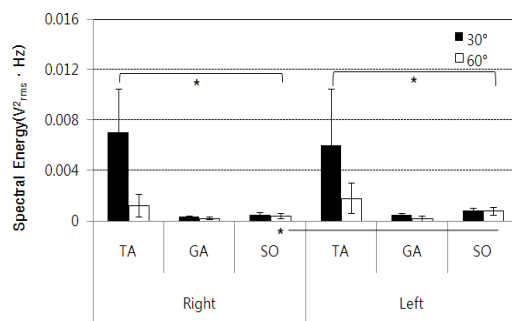
Table 3 TA/GA and TA/SO ratio in circle pattern with different tilting angle

pattern direction	tilting angle	right/left leg	TA/GA ratio	TA/SO ratio
clockwise	30	right	9.17	7.33
		left	5.87	4.40
	60	right	4.50	2.25
		left	7.00	2.63
counter clockwise	30	right	11.71	5.13
		left	7.05	3.50
	60	right	7.01	2.33
		left	3.25	2.17

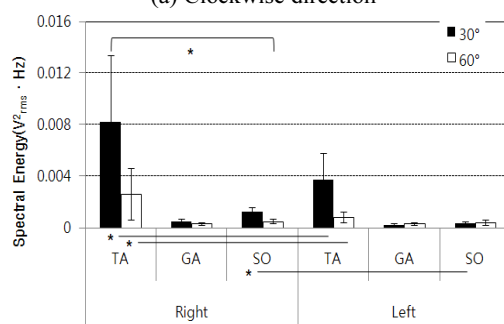
표 3 은 족관절에 위치한 앞뒤 근육 중 어느 근육이 더 활성화 되었는지 판단하기 위해서 각 조건에서 TA/SO 와 TA/GA 비율을 구한 것이다. 시계/반시계 방향에서는 SO 근육이 더 활성화되었다. 침대의 경사각도가 30° 조건에서 GA 와 SO 근육이 더 활성화됨을 알 수 있었으며, 오른다리에서의 GA 와 SO 근육이 활성화되는 경향을 보였다.

그림 6 은 경사침대의 기울기 각도가 30° 와 60° 일 때 사각형 패턴에서 시계(clockwise) 와 반시계(counterclockwise) 방향으로 하지 운동 시 양하지 족관절의 근활성도를 나타내는 그래프이다. 침대 경사각도가 60° 일 때보다 30°의 조건에서 더 크게 나타나는 것을 알 수 있었으며, 60°의 각도에서 시계방향으로 하지 운동 조건을 제외한 우세 발인 오른쪽 다리에서의 근활성도가 높은 것을 알 수 있었다. 사각형 패턴 중 시계와 반시계 방향에서 하지 운동 시 경사침대에 따라 TA, SO, GA 순으로 활성화되었다. 오른다리와 왼다리에서의 근육 차이는 시계방향에서는 SO(60°), 반시계 방향

에서는 TA(30°, 60°)와 SO(30°)가 통계적으로 유의한 차이를 보였다.



(a) Clockwise direction



(b) Counterclockwise direction

Fig. 6 Integrated EMG in quadrangle pattern with different tilting angle (*p<0.05, **p<0.01)

표 4 는 족관절에 위치한 앞뒤 근육 중 어느 근육이 더 활성화 되었는지 판단하기 위해서 각 조건에서 TA/SO 와 TA/GA 비율을 구한 것이다. 시계/반시계 방향에서는 SO 근육이 더 활성화되었다. 침대 경사각도 30°의 조건에서 GA 와 SO 근육이 더 활성화됨을 알 수 있었으며, 오른다리에서의 GA 와 SO 근육이 활성화되는 경향을 보였다.

Table 4 TA/GA and TA/SO ratio in quadrangle pattern with different tilting angle

pattern direction	tilting angle	right/left leg	TA/GA ratio	TA/SO ratio
clockwise	30	right	21.23	11.93
		left	12.11	7.50
	60	right	9.02	3.14
		left	6.02	2.25
counter clockwise	30	right	18.50	12.33
		left	16.40	6.83
	60	right	8.67	5.20
		left	3.03	1.51

5. 고찰

본 연구에서는 기존의 힘판보다 저렴하면서 더 육 효과적인 재활훈련 결과를 얻을 수 있도록 강성스프링 불안정판을 장착한 경사침대형 조기재활 시스템을 개발하였다. 경사침대의 30°, 60° 각도에서 직선, 원형, 사각형 패턴별 하지 운동 시 족관절의 근력 특성을 분석하였다.

침대의 경사각도와 하지 운동의 패턴에 따른 근육의 활성화를 고찰하기 위하여 본 연구에서 측정된 하퇴부 근육은 TA, GA 와 SO 였다. 다리 하퇴부의 근육은 족관절의 운동에 관여하며, 하퇴부 앞쪽의 근육은 TA 근이 위치하며, 뒤쪽은 GA 와 SO 근이 위치한다. 주로 전방으로 움직일 경우 GA 근과 SO 근은 족관절의 족저굴곡(plantar flexion)에 관여하면서 발목을 고정시켜 체중 중심에 대한 수직적 진동을 최소화시키는 근육으로 균형 조절을 한다. 그리고 TA 근은 GA 근과 SO 근의 길항근으로써 몸이 앞으로 기울어질 때 단축 수축을 통해 자세의 균형을 유지하는데 주동근인 TA 근의 활동을 유연하게 조정하여 정확한 움직임을 일으키게 하는 역할을 한다.²⁵

전체적으로 경사각도가 60° 일 때보다 30°의 조건에서 족관절 근육의 활성도가 더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 본 조기재활 훈련 시스템은 불안정판에 발바닥이 닿아 있어, 제시된 훈련 패턴대로 하지 운동을 하려면 족관절이 결속(locking)된 inverted pendulum²⁶ 운동을 하게 된다. 이때 하지 운동은 체중심을 움직이기 위해 족관절의 배측굴곡(dorsiflexion)과 족저굴곡이 훈련패턴에 맞추어 발생하면서 불안정판을 기울이게 된다. 따라서 침대 경사각도가 높아진다면, 체중심의 위치가 높아지고 불안정판에 닿아있는 족관절의 굴곡각도가 작아지기 때문에 훈련 패턴대로 체중심의 위치를 변화시키기가 용이하게 되어 족관절 근육 사용량이 작아지는 것을 고찰할 수 있었다.

직선형 패턴의 경우 좌우방향으로 하지 운동 시 SO, GA, TA 순서인 반면, 전후방향으로 하지 운동 시에는 TA, SO, GA 순으로 활성도가 되었다. 이는 좌우방향에 비해 정확한 배측굴곡과 족저굴곡을 반복해야 하는 전후 방향의 운동 특성 상 TA 근이 GA 와 SO 근에 비해 더 많이 활성화되었음을 알 수 있었다. 원형과 사각형 패턴의 경우 시계와 반시계 방향에서 하지 운동 시 TA, SO, GA 순으로 활성화되었다. 3 차원 발목관절 움직임인

회내(pronation)와 회외(supination)를 사용해야 하는 복합 패턴에서 족관절의 각도 상 발을 저굴시키는 것보다 배굴시키는데 근육의 사용이 커졌기 때문에 TA 근의 활성도가 커진 것으로 보이며, 족관절이 결속된 움직임이기 때문에 GA 근보다 SO 근이 더 많이 활성화되었음을 알 수 있었다. 불안정판에서의 발목관절 근육의 근전도를 분석한 연구로 Soderberg 등²⁷은 운동 방향과 훈련 장치의 반구의 크기가 모든 근육에 영향을 미치지만, 큰 반구는 전경골근에서 가장 큰 근활동을 보였음을 보고하였다. 또한 횡단면으로만 움직일 수 있고 수직으로 움직일 수 없는 Posturomed(Hider Bioswing, Germany)로 발목관절 근육을 분석한 연구에서는 전경골근의 활성도가 높게 나타나는 경향을 보였으며,²⁸ 본 연구에서 사용된 불안정판과 가장 유사하다고 판단되는 Air Cushion(Terapi Master, Norway)과 같은 장비에서는 장비골근, 단비골근, 가자미근과 같은 근육도 고른 근활성화도가 보였음이 연구되었다.²⁹ 따라서 고른 근력강화 운동을 위해서는 힘판보다는 불안정판에서 운동을 하는 것이 효과적임을 간접적으로 시사한다. 또한 운동 패턴 제시 또한 직선형, 원형, 사각형 패턴별로 근육별 근 활성도의 차이를 보여, 이는 사용자의 능력에 맞추어 단계적으로 하지 운동 적용 제시가 가능함을 알 수 있었다.

오른다리와 왼다리 근육에서의 차이는 침대 각도와 훈련패턴 사이에서 60°의 경사 조건에서 원형과 사각형 패턴의 시계방향으로 훈련 시 왼쪽 TA 근의 활성도도가 높았던 것을 제외하면 일반적으로 우세발인 오른다리가 더 높은 근활성화를 보였다. 이는 우세다리에 관한 편향이 고려되지 않았기 때문이며, 향후 왼다리를 우세다리로 하는 피험자 군과 비교가 추가되어야 한다.

6. 결론

본 연구에서는 강성스프링 불안정판을 장착한 경사침대형 조기재활시스템을 개발하였고, 경사침대의 30°, 60° 각도에서 직선형, 원형과 사각형 패턴별 하지운동 시 근력 특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 경사각도에 따른 결과에서는 경사각도가 낮을수록 활성도가 크며, 직선형 패턴에서 하지운동 시 활성화되는 근의 경향이 다름을 보였다. 하지운동의 패턴에 따른 결과에서는 직선형, 원형, 사각형 패턴별로 근육별 근 활성도의 차

이를 보이며, 이는 사용자의 능력에 맞추어 단계적으로 하지운동 적용 제시가 가능함을 알 수 있었다.

이번 연구 결과로 강성스프링 불안정판을 장착한 경사침대형 조기재활시스템은 뇌질환 환자 등의 조기재활 훈련시스템으로 응용될 수 있다. 또한 향후 다양한 재활훈련의 프로그램 종류, 강도 및 각 질환별 최적 패턴 개발이 수행되어야 하며, 근력과 조기재활 훈련의 상관성과 효용성에 대해 환자를 대상으로 한 정량적인 데이터 수집의 분석에 대한 연구가 필요하다.

후 기

“이 논문은 2011 년 한국연구재단(교육과학기술부)과 한국산업기술평가관리원(지식경제부)으로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업/헬스케어기술개발사업단, QoLT 기술개발사업/No. 10036494)

참고문헌

- Anderson, T. P., “Rehabilitation of patient with complete stroke, Krusen's Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation, 4th ed.,” WB Saunders Co., pp. 656-678, 1990.
- Cavell, G. E. and von Swearingen, J. M., “Neuro muscular analysis,” Physical Therapy, pp. 656-678, 1990.
- Shin, J. B., Moon, J. H., Oh, H. T. and Sohn, M. K., “A Clinical Study of Early Rehabilitation in Stroke,” J. of Korean Acad. Rehabil. Med., Vol. 12, No. 1, pp. 78-84, 1988.
- Brandstater, M. E. and Shutter, L. A., “Rehabilitation interventions during acute care of stroke patients,” Top Stroke Rehabil., Vol. 9, No. 2, pp. 48-56, 2002.
- Burgar, C. O., Lum, P. S., Shor, P. C. and Machiel Van der Loos, H. F., “Development of robots for rehabilitation therapy: the Palo Alto VA/Stanford experience,” J. Rehabil. Res., Vol. 37, No. 6, pp. 663-673 2000.
- David, C. and Good, M. D., “Treatment strategies for enhancing motor recovery in stroke rehabilitation,” Neurorehabil Neural Repair, Vol. 8, No. 4, pp. 177-186, 1994.
- Ernst, E., “A review of stroke rehabilitation and physiotherapy,” Stroke, Vol. 21, No. 7, pp. 1081-1085 1990.
- Yu, C. H., Kim, K., Kim, Y. Y., Kwon, T. K., Ryu, M. H. and Kim, N. G., “A New Training System Using a Tilting Bed for an Early Rehabilitation,” International Joint Conference on SICE-ICASE, pp. 5858-5861, 2006.
- Seo, N. S., Han, M. S. and Lee, J. S., “Effect of a Tilting Training Program on Lower Extremities Function, Depression, and Self-efficacy among Stroke Inpatients,” J. Korean Acad. Nurs., Vol. 36, No. 3, pp. 514-522, 2006.
- Kim, B. J., Lee, S. K. and Kim, M. K., “The Effects of Ankle Strength Exercise and Functional Electrical Stimulation on the Ability of Balance Control and Gait in Stroke Patients,” Journal of Sport and Leisure Studies, Vol. 31, pp. 921-931, 2007.
- Bohannon, R. W. and Larkin, P. A., “Lower extremity weight bearing under various standing conditions in independently ambulatory patients with hemiparesis,” Phys. Ther., Vol. 65, No. 9, pp. 1323-1325, 1985.
- Lee, Y. J., Kim, C. H., Choi, J. S. and Jo, G. Y., “Soleus Myopathy Induced by Passive Stretch in a Stroke Patient-A case report,” J. of Korean Acad. Rehabil. Med., Vol. 23, No. 3, pp. 664-669, 1999.
- Yarkony, G. M., Roth, E. J., Heinemann, A. W., Wu, Y. C., Kats, R. T. and Lovell, L., “Benefits of rehabilitation for traumatic spinal cord injury Multivariate analysis in 711 patients,” Arch. Neurol., Vol. 44, No. 1, pp. 93-96, 1987.
- Shumway-Cook, A. and Woollacott, M. H., “Motor Control 3/e: Translating Research into Clinic Practice,” Lippincott Williams&Wilkins, pp. 203-210, 2006.
- Daubney, M. E. and Culham, E. G., “Lower extremity muscle force and balance performance in adults aged 65years and older,” Phys. Ther., Vol. 79, No. 12, pp. 1177-1185, 1999.
- Smith, M. E., Garraway, W. M., Smith, D. L. and Akhtar, A. J., “Therapy impact on functional outcome in a controlled trial of stroke rehabilitation,” Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 63, No. 1, pp. 21-24, 1982.
- Anderson, E., Anderson, T. P. and Kottke, F. J.,

- “Stroke rehabilitation: Maintenance of achieved gains,” *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 58, No. 8, pp. 345-352, 1977.
18. Hesse, S., Bertelt, C., Jahnke, M. T., Schaffin, A., Baake, P., Malezic, M. and K. Mauritz, H., “Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients,” *Stroke*, Vol. 26, No. 6, pp. 976-981, 1995.
19. Miller, G. J. T. and Light, K. E., “Strength training in spastic hemiparesis: Should it be avoided?” *NeuroRehabilitation*, Vol. 9, NO. 1, pp. 17-28, 1997.
20. Sharp, S. A. and Brouwer, B. J., “Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: Effects on function and spasticity,” *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 78, No. 11, pp. 1231-1236, 1997.
21. Ada, L. and O’Dwyer, N., “Do associated reactions in the upper limb after stroke contribute to contracture formation?” *Clin. Rehabil.*, Vol. 15, No. 2, pp. 186-194, 2001.
22. Piao, Y. J., Kim, K., Yu, M., Kwon, T. K., Kim, D. W. and Kim, N. G., “Analysis on Training Effects of Postural Control for Elderly Adults,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 10, No. 3, pp. 133-139, 2009.
23. Piao, Y. J., Yu, M., Kim, Y. Y., Kwon, T. K. and Kim, N. G., “Development of Training System for Equilibrium Sense Using Unstable Platform and Force Plate,” *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 24, No. 6, pp. 121-129, 2007.
24. Lori, A., Bolala, L. and Timothy, U., “Reliability of electromyographic normalization methods for evaluating the hip musculature,” *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol. 17, No. 1, pp. 102-111, 2007.
25. Valmassy, R. L., “Clinical Biomechanics of the Lower Extremities, Chap. 4, Spine, an integral part of the lower extremity,” *Mosby-Year Book Inc.*, St. Louis, pp. 103-108, 1996.
26. Gage, W. H., Winter, D. A., Frank, J. S. and Adkin, A. L., “Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing,” *Gait and Posture*, Vol. 19, No. 2, pp. 124-132, 2004.
27. Soderberg, G. L., Cook, T. M. and Rider, S. C., “Electromyographic activity of selected leg musculature in subjects with normal and chronically sprained ankles with normal and chronically sprained ankles performing on a BAPS board,” *Phys. Ther.*, Vol. 71, No.7, pp. 514-522, 1991.
28. Muller, O. and Krauss, M., “Physical characterization of the therapeutic device posturomed as a measuring device presentation of a procedure to characterized balancing ability,” *Biomed. Tech.*, Vol. 49, No. 3, pp. 56-60, 2004.
29. Han, S. W., Kwon, M. J., Cae, Y. W., Baek, Y. Y., Jeong, H. B., Kim, K. T. and Yoon, J. R., “Electromyographic analysis of ankle muscles according to unstable platforms,” *Journal of Coaching Science*, Vol. 8, No. 2, pp. 231-239, 2006.