

횡축 4정점 체중부하 감소기법 이용한 하지 근력불균형 개선에 미치는 효과

Effect of Correction to Muscle Imbalance in Lower Limbs according to Reduction of Weight Bearing Methods of Four Point of Horizontal Shaft

강승록*, 김의령, 정호춘, 권대규

S. R. Kang, U. R. Kim, H. C. Jeong, T. K. Kwon

요 약

본 연구는 이중 벨트 트레드밀을 이용하여 좌우 독립적 보행 시 횡축 체중부하 감소 유무에 따른 하지 근력불균형 개선효과에 대해 고찰하고자 한다. 피험자들은 하지의 좌우 근력차이가 20% 이상인 자 20명이며 체중부하 감소 유무에 따라 각각 10명씩 그룹으로 나누었다. 실험은 보행운동을 격일로 40분씩 주 3회, 총 4주간 진행되었으며 2주마다 등속성 관절토크 검사를 실시하여 고관절, 슬관절 및 족관절의 최대근력과 평균일률을 평가하였다. 실험 결과, 고관절에서 가장 큰 하지의 좌우 최대근력 불균형 개선효과(12.51%)를 보였으며 슬관절에서는 근반응성 개선효과(10.66%)가 크게 나타났다. 체중부하 감소방법은 하지의 근력불균형 개선효과에 긍정적인 결과를 기대할 수 있다고 사료된다.

ABSTRACT

In this paper, we were to investigate effect of correction to muscle imbalance in lower limbs according to reduction of weight bearing methods of four point of horizontal shaft using two-belt treadmill. Participants were divided to two group according to each ten peoples who have difference of muscle function in left and right legs over 20%. Experiment progressed forty minutes a day three days a week, total four weeks and we estimated the maximal peak torque and average power for testing joint torque in hip, knee and ankle. The results showed that the correction effect of muscle imbalance to the maximal muscle strength was the most effective in hip joint. Also in knee joint, correction effect of muscular reaction was the most effective too. We thought that reduction of weight bearing methods could be positive effect to correct muscle imbalance in lower limbs.

Keyword : Reduction of Weight Bearing, Gait, Joint Torque, Muscle Imbalance, Two-belt Treadmill

접 수 일 : 2013.12.03

심사완료일 : 2013.12.17

게재확정일 : 2013.12.20

* 강승록 : 전북대학교 헬스케어공학과 박사과정

okokokman@naver.com (주저자)

김의령 : 전북대학교 헬스케어공학과 석사과정

godme1345@naver.com (공동저자)

정호춘 : (주)싸이버메딕 대표이사

hajeong@cybermedic.co.kr (공동저자)

권대규 : 전북대학교 바이오메디컬공학부 정교수

kwon10@jbnu.ac.kr (교신저자)

1. 서론

최근 하지 근력 불균형을 보유한 사람들이 늘어나고 있으며, 이들 중 선척적인 해부학적 문제를 제외하고 대대분이 잘못된 운동이나 생활습관이 대부분이다[1]. 일반적으로 무의식중 지속적으로 반복되는 잘못된 생활이나 운동습관은 큰 신체의 변형을 초래한다[2]. 특히, 하지의 경우 자주 사용하는 우성

※ 본 연구는 2013년 문화체육관광부의 스포츠산업기술개발사업에 의거 국민체육진흥공단의 국민체육진흥기금을 지원받아 수행된 연구임.

(dominant)발을 지지대로 사용하여 비스듬하게 서 있거나 운동 중 다른 발에 비해 더 많은 운동량을 가지는 경우 근력 불균형을 초래하게 된다.

현재 대부분의 운동장비들은 근력증진에 초점을 맞추어 개발되어 근력 불균형을 초래하고 있다[3]. 이로 인한 근력불균형은 골격의 변형, 근골격계 질환 등을 유발 가능하며, 만성적인 질환으로 발전할 수 있다. 특히, 하지는 자세 안정성에 영향을 미치는 부위로 근골격계 상해나 질환이 발생빈도가 높으며, 인체에 많은 부하를 수용하기 때문에 하지근력 불균형은 신체 전체적인 균형이 감소되어 체간이나 요추에 큰 부상을 발생시킬 수 있다[4].

현재 근력 불균형에 관한 연구는 운동선수를 대상 운동 상해 예측이나 재활효과에 대한 연구가 많이 진행되었다. 좌우 하지의 대퇴사두 근력에 10% 이상 차이가 나타나게 되면 운동선수의 부상 빈도가 증가한다고 하였다[5]. 국내 엘리트 선수들에게 있어서 좌우근력 균형비가 10% 이상이면 상해의 가능성이 높다고 평가하였다[6]. 국외의 경우, 근력 불균형이 8% 이상 시 근력 불균형을 보유하고 있으며 10%이상 시에는 운동 상해률이 높아진다고 보고하였다[7]. 이뿐만 아니라 일반인과 고령자를 대상으로 연구도 많이 진행되었다. 노인들의 보행 시, 하지 근력불균형은 근력이 약소한 쪽을 보정하기 위해 지면에 동시에 지지하는 시간이 더 길게 나타나고, 더 큰 보장 걸음을 걷는 형태가 나타난다고 보고하였다[8]. 그러나 상지에 비해 하지는 근골격계 질환의 종류가 적고 환자가 적어 근력불균형에 연구 대부분이 상지와 체간에 국한되어 진행되어 하지 근력불균형에 따른 근골격계 질환에 대한 체계적인 연구 등이 부족한 실정이다[9, 10]. 또한 기존 선행연구들은 하지 근력불균형이 인체에 미치는 효과나 평가방법에 대해 연구가 진행되었을 뿐 이를 개선하는 방법에 대한 연구는 미미하다.

따라서 본 연구에서는 이중 벨트 트레드밀을 이용하여 좌우 개별적 보행 시 횡축 체중부하 감소의 유무에 따른 하지 근력 불균형 개선효과에 대해 고찰하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 피험자

본 연구에서는 하지 불균형 피험자를 선출하기 위해 성인남녀 100명을 무작위로 선출하였다. 실험에 앞서 등속성 관절토크검사(Biodex system3,

biodex medicalscience Ltd., USA)를 실시하여 고관절(hip joint), 슬관절(knee joint)과 족관절(ankle joint)의 좌우 근력이 20% 이상 차이를 보유한 자 20명을 선출하여, 체중부하 감소 보행그룹인 혼련군(NWB, non-weight bearing group)과 일반보행을 하는 대조군(WB, weight bearing group)으로 무작위로 10명씩 나누었다(Table 1). 또한 모든 피험자들은 오른쪽 발이 왼쪽 발 보다 더 큰 근력을 보유하고 있었다.

Table 1. Pre-test result of maximal peak torque in hip, knee and ankle joint of selected participants

Joint torque (Nm)	Weight bearing group(WB)			Percentage(%)
	Left	Right	Difference	
hip	77.85±3.54	95.65±7.51	17.8±3.15	22.86
knee	85.36±5.06	104.17±9.41	18.81±2.30	22.04
ankle	58.14±2.55	70.25±6.45	12.11±2.10	20.82
Joint torque (Nm)	Non-Weight bearing group(NWB)			Percentage(%)
	Left	Right	Difference	
hip	80.64±6.54	100.25±2.21	19.61±1.14	23.41
knee	81.44±3.06	100.94±4.41	19.50±2.87	23.94
ankle	60.24±4.21	72.21±1.16	14.97±1.85	24.84

2.2 실험장비

4정점 체중부하 감소시스템은 전방 2축과 좌우 2축을 통해 체중부하 감소를 횡축방향으로 제공하는 형태의 장비이다. 기존 횡축 시스템의 경우 줄(wire)형태의 현가장치를 이용하여 체중부하 감소를 제공하는 반면 본 시스템은 자전거 안정형태의 현가장치가 적용되었다. 기존 시스템과 달리 상지와 하지의 외부 구속이 없는 형태로 체중부하 감소를 제공한다. 또한 피험자의 체중 당 %로 감소율을 제공하며 1~100%까지 1% 단위로 부하감소 기능과 실시간 시청각 피드백 기능을 제공한다. 또한 이중 벨트 트레드밀이 일체형으로 부착되어 있으며 좌우 독립적으로 보행속도를 제공한다.(Figure 1).

2.3 실험방법 및 데이터 처리

피험자들은 4정점 체중부하 시스템에서 보행운동을 격일로 주 3회 실시하였으며 이중 벨트의 좌우 보행속도를 독립적으로 제공받았다. 좌우 독립적 보

행속도는 실험 전 피험자들의 운동자각도(PRE, ratings of perceived exertion)검사를 통해 두 그룹 모두 동일하게 제공하였다. 운동자각도는 피험자들이 운동 시 자신이 느끼는 운동강도를 수치화 한 것으로 6~20단계로 나누어 평가하는 것을 의미한다[11]. 실험 전 피험자들은 좌우 독립적인 보행속도에 대한 운동자각도 평가를 실시하였다. 근력이 우세한 발의 경우, 피험자들의 평소 보행속도($3.0\pm 2.2\text{km/h}$)인 3km/h 로 하였으며 다른 발의 경우 보행 시 통증을 느끼는 구간 전 단계의 속도인 3.9km/h 를 보행속도로 설정하였다(Table 2). 실험군은 본 시스템이 측정한 피험자 체중의 50%를 체중부하 감소로 제공하였다. 하지의 근력불균형 개선효과를 알아보기 위해 등속성 관절토크 검사를 매 2주마다 측정하여 초 4주 동안 2회 측정을 실시하였다(Figure 2). 관절토크 검사 프로토콜은 고관절 신전운동(hip joint extensor), 슬관절 신전운동(knee joint extensor)와 족관절의 족저굴곡(plantar flexion of ankle joint)이다. 또한 최대근력 변화를 분석하기 위해 최대피크토크 평가와 근반응성 분석을 위해 평균과위를 평가하였다[12]. 보행 운동과 등속성 관절토크 평가 시, 실험환경은 온도 $19\pm 2.1^\circ\text{C}$ 와 습도 $50\pm 5.7\%$ 를 제공하여 환경에 따른 실험오류를 최소화하였다[13]. 체중부하 감소 유무에 따른 하지의 좌우 근력불균형 개선효과를 분석하기 위해 Spss 18을 이용하여 각 관절 별 최대피크토크와 평균과위의 평균값과 표준편차를 산출하였다. 또한 그룹별 보행운동 전·후 효과를 검증하기 위해 paired t-test를 실시하였고 유의수준은 $p < 0.05$ 이다.

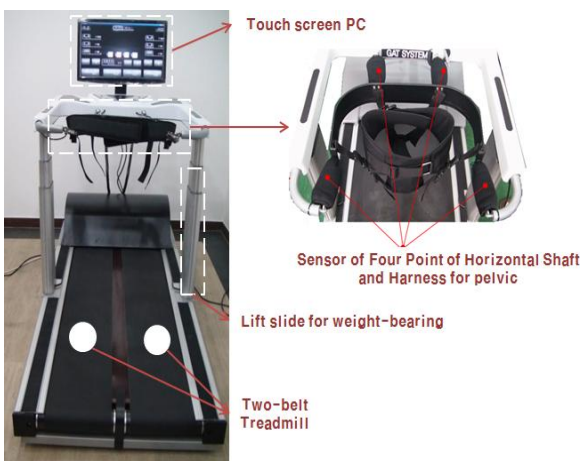


Figure 1. Block diagram of two-belt treadmill system based weight-bearing to four point horizontal shaft(GAT, cybermedic. Co., Korea)

Table 2. Results of ratings of perceived exertion according to gait velocity with left and right side in lower limbs(stage : score as hard scale during exercise, scale : subject's hard feeling, gait velocity : gait speed in treadmill, number of pain : subject number with pain)

stage	Borg PRE scale	Gait velocity (km/h)		PRE result in gait	
		right	left	PRE score	number of pain
7	very, very light	3	3.1	7	0
9	very right	3	3.2	10.25±2.50	0
11	fairly light	3	3.3	10.75±3.25	0
13	somewhat hard	3	3.4	12.44±1.25	0
15	hard	3	3.5	12.50±2.55	0
17	very hard	3	3.6	14.45±1.25	0
19	very, very hard	3	3.7	14.45±1.25	0
20	maximum exertion	3	3.8	15.75±1.25	0
		3	4.0	18.25±2.50	9

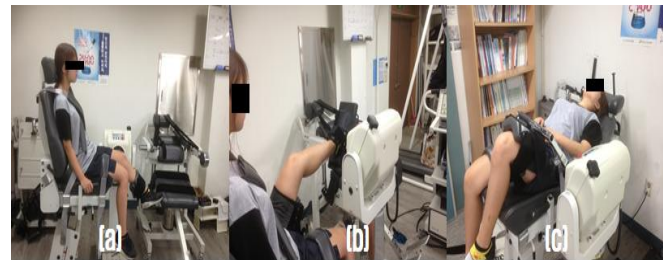


Figure 2. Isokinetic joint torque test for estimating correction effect of muscle imbalance in lower limbs((a) knee joint, (b) ankle joint, (c) hip joint)

3. 결과 및 고찰

3.1 체중부하 감소 유무에 따른 고관절의 최대근력 및 근반응성 변화

실험 전 대조군의 고관절 좌우 최대근력차이는 22.86%(WB: $17.81\pm 5.06\text{Nm}$), 훈련군은 24.31%(NWB: $19.61\pm 4.41\text{Nm}$)를 각각 나타내 유사한 좌우 근력불균형을 보였다. 훈련 2주 후까지 그룹 간 차이에 큰 변화를 보이지 않지만 훈련 4주 후 서로 다른 경향을 보였다. 두 그룹 모두 2주까지 약 2% 정도의 적은 수준의 차이를 보였지만, 4주 후 훈련

군에서 11.80%(NWB: 10.90±2.13Nm)까지 감소해 12.51%의 불균형 개선효과를 나타내고 있어 슬관절 및 족관절 결과 중 가장 큰 개선효과를 보였다. 그러나 대조군의 경우에는 32.58%(WB: 26.11 ± 5.84Nm)로 오히려 증가해 9.72%의 불균형 악화를 보여 다른 관절보다 가장 큰 불균형 증가 경향을 나타냈다(Figure 3).

평균일률의 경우에는 최대근력결과와 유사한 경향을 보여, 실험군은 실험 전 20.82%(NWB: 6.55±1.87watts)에서 실험 후 9.22%까지 감소하였다. 그러나 대조군은 실험 전 19.37%(WB: 5.84±1.63watts)에서 실험 후 14.58%로 감소해 큰 감소 경향을 보이지 않았다(Figure 4). 이는 고관절에 받는 부하는 보행 시 중간입각기(mid stance) 이후에 발생되는데, 이때 체중의 약 4배 수준으로 받게 된다. 이는 보행 운동 중 슬관절과 족관절에 비해 고관절에 제공되는 큰 체중부하가 큰 근력 불균형 증가 경향을 야기하였다고 판단된다. 즉, 체중부하 감소는 이중 벨트 트레드밀 보행 시 고관절에 제공되는 부하를 최소화 시키고 좌우 근력불균형 개선시키는 데 긍정적인 효과를 제공한다고 사료된다. 그러나 체중부하 없이 좌우 독립적인 보행속도로 보행 시 근력불균형을 더 크게 야기시킬 수 있는 가능성을 내재하고 있다고 판단된다.

3.2 체중부하 감소 유무에 따른 슬관절의 최대근력 및 근반응성 변화

슬관절의 경우, 실험 전 최대근력차이는 대조군(NWB, 22.04: 18.81±2.96Nm)과 훈련군(NWB, 23.94%: 19.50±3.33Nm)은 유사한 근력불균형을 나타냈다. 고관절의 결과와 유사하게 훈련 2주 후까지 그룹 간 차이는 거의 없었지만 4주 후에는 큰 차이를 보였다. 훈련군은 14.43%(NWB: 13.33 ± 3.78Nm)까지 감소해 9.51%의 불균형 개선효과를 나타냈다. 그러나 대조군은 31.83%(WB: 27.74 ± 6.85Nm)로 9.79% 수준의 증가경향을 보여 고관절의 불균형 악화 결과와 유사하게 나타났다(Figure 5). 평균일률의 경우, 실험군은 실험 전 24.02%(NWB: 16.47 ± 3.25 watts)에서 실험 후 10.66%까지 감소하여 가장 큰 개선효과를 나타냈다. 또한 고관절의 결과와 마찬가지로 대조군에서는 불균형이 약 4.91% 더 증가하는 경향을 보였다(Figure 6). 슬관절은 대퇴사두근(quadriceps femoris)과 슬딕근(hamstring)에 가장 큰 영향을 받는데, 인체 근육 중 강한 힘을 발생시켜 대부분의 하지 움직임에 동

원되는 근육이다. 특히 슬딕근은 슬관절의 굴곡과 회전 of 개방성 운동연쇄 역할을 하고 있어 발의 위치조정과 운동에 중요하다. 슬관절 최대근력이 고관절 결과보다 적은 수준의 개선효과를 보이는 이유는 보행 중 경대퇴관절력(tibiofemoral joint force)은 체중의 1.6배 작용되기 때문이라고 사료된다. 하지만 근반응성 결과, 슬관절이 가장 큰 개선효과를 보였는데 이는 슬관절의 인대, 관절낭 및 기타 연부조직 등이 각각 신경섬유와 수용기를 많이 가지고 있기 때문이라고 판단된다. 뿐만 아니라 슬관절 관련 근육들은 점프나 착지 시 충격에 대한 흡수작용을 해 손상을 많이 받는 부위이며 그에 따른 상해 중 전방십자파열(anterior cruciate ligament)이 대표적이다[14-15]. 체중부하 감소방법은 전방십자파열 환자들에게 보행 재활치료 시 고통감소와 함께 긍정적인 효과를 제공 할 것이라 판단된다.

3.3 체중부하 감소 유무에 따른 족관절의 최대근력 및 근반응성 변화

실험 전, 대조군의 족관절 최대근력 차이는 20.82%(WB: 12.11±3.12Nm), 훈련군은 24.84%(NWB: 14.97±2.74Nm)를 각각 나타내 유사한 좌우 근력불균형을 보였다. 족관절의 경우, 고관절과 슬관절 결과와 달리 실험 2주 후부터 훈련군에서 근력불균형(NWB, 14.39%:10.10±2.32Nm)이 크게 감소하는 경향을 보였다. 실험완료 후 실험군은 12.49%(NWB: 9.16±1.78Nm)까지 감소하였지만 대조군은 29.57%로 증가하여 8.45%의 불균형 증가경향을 보였다(Figure 7). 평균일률 결과, 고관절과 슬관절 결과와 유사하게 실험 4주 후 약 11.01% 이상의 불균형 개선효과를 보였다(Figure 8). 이는 보행 시 운동 추진력을 발생시키는 비복근과 가자미근은 족관절의 후부 근육군으로 보행 시 자세 흔들림이나 발목안정화에 큰 역할하며 인체의 체중을 지지하기 때문에 체중부하에 큰 영향을 받는다. 본 실험 결과에서도 체중부하 감소에 따른 근력불균형 감소는 근육에 제공되는 체중부하를 최소화 시키면서 동시에 근육강화를 최대화 시켰다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 이중 벨트 트레드밀을 이용하여 좌우 개별적 보행 시 횡측 체중부하 감소의 유무에 따른 하지 근력불균형 개선효과에 대해 고찰하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 체중

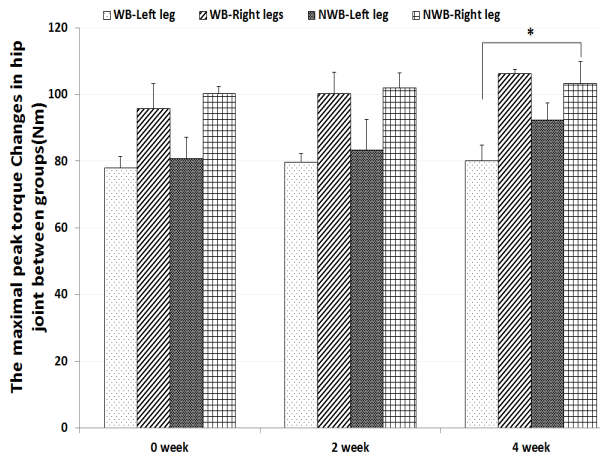


Figure 3. The maximal peak torque Changes in hip joint between groups(Mean±SD, *p<0.05)

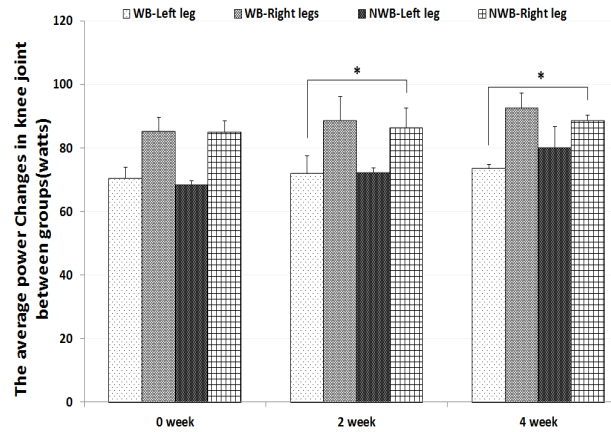


Figure 6. The average power Changes in knee joint between groups (Mean±SD, *p<0.05)

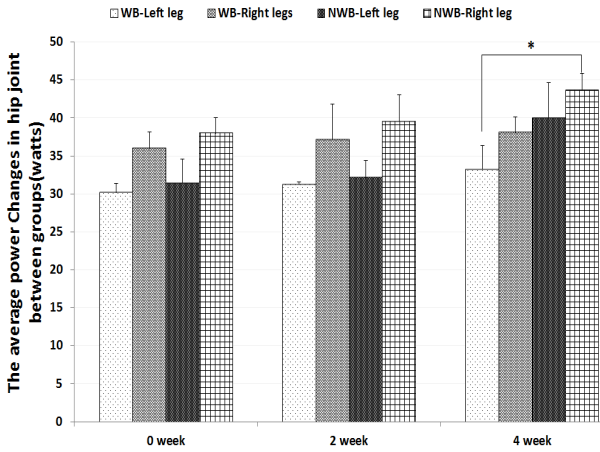


Figure 4. The average power Changes in hip joint between groups(Mean±SD, *p<0.05)

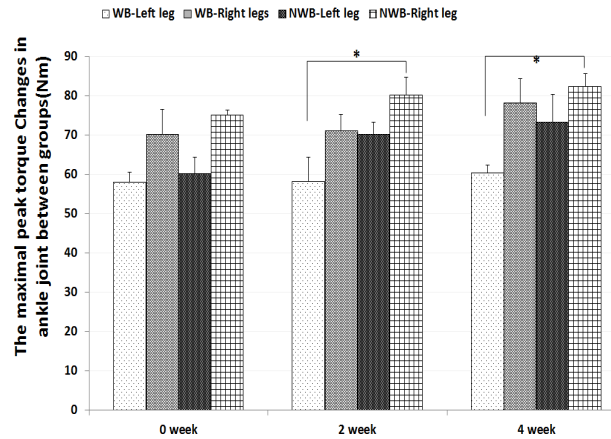


Figure 7. The maximal peak torque Changes in ankle joint between groups (Mean±SD, *p<0.05)

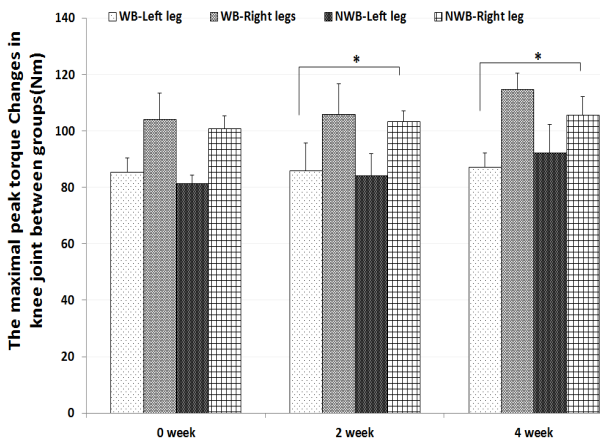


Figure 5. The maximal peak torque Changes in knee joint between groups (Mean±SD, *p<0.05)

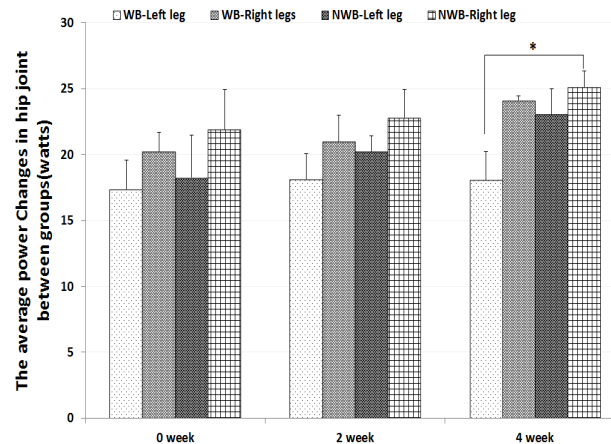


Figure 8. The average power Changes in ankle joint between groups (Mean±SD, *p<0.05)

부하 감소를 이용한 좌우 독립적 보행은 고관절, 슬관절 및 족관절의 최대근력과 근반응성 모두 실험 4주 후 크게 감소하여 근력불균형 개선효과를 가져왔다. 특히, 최대근력의 경우, 보행 시 체중부하가 고관절에 크게 제공되기 때문에 체중부하 감소에 따른 근력불균형 개선효과가 가장 효과적이다. 또한 슬관절의 경우 감각 신경섬유와 수용기를 많이 보유하고 있기 때문에 좌우 근반응성 불균형 개선효과에 가장 큰 효과를 보인다. 그러나 체중부하 감소 없이 독립적인 보행속도로 보행 시 오히려 근력 불균형이 커지는 경향을 보여, 근력불균형 치료 시 반드시 체중부하 감소방법을 적용해야한다.

참 고 문 헌

- [1] L. Nasher, "Evaluation of postural stability, movement, and control. In S. M. Hasson(Ed)," Clinical Exercise Physiology, St. Louis; Mosby. pp. 199-234, 2004
- [2] 강승록, 정구영, 문동안, 정장식, 김정자, 권대규, "로잉운동의 부하편차 방식을 적용에 따른 상하지 생체 역학적 평가," 한국운동역학회, 제21권, 제3호, pp. 369-382, 2011
- [3] 강승록, 서신배, 정구영, 배종진, 유창호, 유미, 문동안, 정장식, 권대규, "상지 좌우 운동부하 편차방식이 근력 불균형 개선에 미치는 영향," 한국정밀공학회, 제29권, 제9호, pp. 1026-1034, 2012
- [4] 이인석, 정민근, "쫓그려 얹은 작업자세에서의 작업부하 평가", 포항공과대학교 석사학위 논문, pp. 1-15, 1998
- [5] C. Askling, J. Karlsson, and A. Thorstensson, "Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload", Scand. J. Med. Sci. Sports, vol. 13, no. 4, pp. 244-250, 2003
- [6] 문영진, 윤성원, 백진호, 주명덕, 천우호, "역도 인상동작 수행시 좌우근력의 불균형 분석 및 처치 프로그램 개발," 국민체육진흥공단 체육과학연구원, pp. 1-49, 2006
- [7] R. U. Newton, A. Gerber, S. Nimphius, J. K. Shim, B. Doan, M. Robertson, D. R. Pearson, W. Craig, K. Hakkinen, and W. J. Kraemer, "Determination of functional strength imbalance of the lower extremities," Journal of Strength and Conditional Research, vol. 20, no. 4, pp. 971-997, 2006.
- [8] 박양선,이성노, "노인 하지근력 불균형에 따른 보행과 계단 내리기 보행의 변인 분석", 한국발육발달학회, 제20권, 제2호, pp. 127-132, 2012
- [9] 김은식, 윤훈용, "불균형 하지 자세에 대한 주관적 불편도 평가에 관한 연구", 대한인간공학회 학술대회논문집, pp. 33-41, 2009
- [10] 김은식, "하지 불균형 자세의 작업부하에 대한 인간공학적 평가", 동아대학교 석사학위 논문, pp. 1-20, 2010
- [11] T. Jurimae, J. A. Perez-Turpin, J. M. Cortell-Tormob, I. J. Chinchilla-Mira, R. Cejuela-Anta, J. Maestu, P. Purge, J. Jurimae, "Relationship between rowing ergometer performance and physiological responses to upper and lower body exercises in rowers," Journal of Science and Medicine in Sport, vol. 14, no. 4, pp. 434-437, 2010
- [12] 강승록, 김경, 정구영, 문동안, 권대규, "요추강화 운동기기의 훈련을 통한 유연성 및 근력 특성 분석", 한국재활복지공학회, 제4권, 제1호, pp. 55-63, 2010
- [13] 강승록,김의령, 정구영, 문동안, 권대규, "실내용 승마운동기를 이용한 젊은 성인남녀의 유연성 및 근기능 분석", 한국재활복지공학회, 제7권, 제1호, pp. 1-11, 2013
- [14] R. J. Schmitz, H. S. Kim, & S. J. Shultz, "Effect of axial load on anterior tibial translation when transitioning from non-weight bearing to weight bearing," Clinical Biomechanics, vol. 25, pp. 77-.82, 2010
- [15] M. J. Mueller, L. J. Tuttle, J. W. LeMaster, M.J. Strube, J.B. McGill, M.K. Hastings, & D.R. Sinacore, "Weight-Bearing Versus Non weight-Bearing Exercise for Persons With Diabetes and Peripheral Neuropathy: A Randomized Controlled Trial," Clinical Biomechanics, vol. 9, no. 4, pp. 829-838, 2013



강 승 록

2011년 2월 전북대학교 헬스케어공학과 졸업 (공학석사)

2013년 ~ 현재 전북대학교 헬스케어공학과 박사과정

관심분야 : 운동생리, 운동역학, 임상생리



김 의 령

2013년 2월 전북대학교 바이오메디컬공학부 졸업(공학사)

2013년 ~ 현재 전북대학교 헬스케어공학과 석사과정

관심분야 : 운동생리, 운동역학, 임상생리



정 호 춘

1997년 2월 원광대학교 전자공학과 졸업(학사)

1999년 2월 원광대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)

2004년 8월 원광대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사)

1999년 ~ 현재 (주)싸이버 메딕 대표이사 재직

관심분야 : 재활공학, 헬스케어 및 웰니스기기



권 대 규

1999년 2월 일본 동북대학 기계전자공학과 졸업(공학박사)

2004년 ~ 현재 전북대학교 바이오메디컬공학부 교수

관심분야 : 바이오메카트로닉스, 재활공학, 헬스케어, 웰니스, 스포츠과학