Journal of Life Science **2010** Vol. 20. No. 4. 543~548 ©JLS / ISSN 1225-9918

Lower Limbs Muscle Comparative Research for Verification Effect of Rehabilitation Training Program of Total Hip Arthroplasty

Young Wan Jin

Department of Special Physical Education, College of Exercise Science, Dongeui University, Busan, 614-714, Korea

Received January 6, 2010 / Accepted April 1, 2010

The purpose of this study was to examine the differences in kinetics between 6 months of rehabilitation training and 12 months of rehabilitation training after total hip arthroplasty. 10 unilateral THA participants performed kinetic tests. Three dimensional kinematics and hip flexors and abductors electromyography (EMG) were collected during each trial. T-test was used for statistical analysis ($p<0.05$). There was no significant difference in EMG data between the two groups, but the mean comparison EMG data was higher in the 12 months rehabilitation training group than the 6 months rehabilitation training group. The moment value was found with motion-dependent interaction analyzing method which was used by Feltner and Dapena. There was no significant difference between moment values of the two groups. There was no significant difference between ground reaction forces of the two groups; however, there were some differences shown in Fz (vertical reaction force) between the two groups (892±104 N, 820±87 N). The first peak impact force was about 9% lower in the 12 months group compared to the 6 months group. The second peak active force was nearly equal between the two groups. More research is necessary to determine exactly what constitutes optimal rehabilitation training biomechanics for patients with total hip arthroplasty.

Key words : Rehabilitation training program, 3D-kinematics and kinetics, total hip athroplasty, moment, GRF

서 론

재활치료는 수술만큼이나 중요하다. 재활치료는 빠른 회복을 도와주기 때문이다. 그런데 환자들이 수술 후 시간이 지나면 자연적으로 원래의 기능이 회복될 것이라 기대한다. 그러나 재활치료를 하지 않으면 관절의 부종과 통증 및 대퇴근육의 위축이 장시간 지속될 수도 있다. 따라서 수술 후 빠른 시간 내에 정상 기능으로 회복하고 치료 효율성을 극대화하기 위해서는 적극적인 재활치료를 해야 한다. 인공관절 수술 후 3주간은 체중 부하를 하지 않는 것이 좋으며 6주간은 자전거 타기, 수중운동 등으로 간단한 근력강화 운동을 실시하며 6주 이후부터는 인공관절 수술자에게 맞는 과학적이고 체계적인 재활운동 프로그램에 참가하여 GM (gluteus maximus), VL (vastus lateralis), RF (rectus femoris), BF (biceps femoris) 그리고 ST (semitendinosus) 등 엉덩관절 주위의 근력을 강화하여 근력이 80% 이상 회복되면 간단한 스포츠 활동에 참가 할 수 있으며, 정상인에 가까운 관절작용을 위하여 꾸준히 재활운동에 참가하고 4-6개월 지난 후에는 거의 정상인에 가까운 활동을 할 수 있다[13]. 인공관절은 21세기 정형외과 발전의 주요 변화들 중의 하나이다 〔12]. 영국의 정형외과 의사인 죤 챤리가 1961년에 오늘날 사용되는 인공관절을 개발한 뒤 급속한 발전을 이루어 오고 있다[13]. 관절염에 의해 손상된 인체의 관절부위를 제거시키고 인공금속물질로 바꿔주는 것으로, 1997년 이래 전 세계적으로 엉덩인공관절(Total Hip Arthroplasty System: THA)을 사용하는 사람들이 해마다 약 500,000명씩 증가하고 있는 추세이고 미국에서만 엉덩인공관절을 사용하고 있는 사람들이 150,000명에 달하고 있으며 그 시장은 대략 $5 billion을 넘고 있다[3]. 최근에 우리나라 역시 노인인구의 급격한 증가로 인공관절의 수술이 많이 늘어나고 있는 추세이다. 엉덩인공관절은 일상생활에서 의자에 앉았다 일어날 때 계단을 올라갈 때나 내려갈 때 등, 엉덩관절의 근모멘트(muscle moment)가 적당한 활동을 해서 엉덩관절근육에 지레와 같은 작용을 하게하고, 완전한 엉덩관절로 정상인의 엉덩관절과 같은 기능을 오랫동안 유지하게 한다[10]. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 엉덩인공관절 수술 후 엉덩인공관절의 기능을 도와주는 엉덩관절 주위의 근육들의 역할 또한 중요하다[5]. 엉덩인공관절 수술 후 엉덩관절의 신전(extension)과 굴곡(flexion), 외전(abduction)과 내전(adduction) 등, 여러 축(multi-axes)으로 움직이는 다축범위(multi-radius)를 가진 엉덩인공관절 수술자들을 대상으로 많이 사용되는 재활운동 프로그램을 수행하는 동안 엉덩관절의 근모멘트를 만들어내는 대퇴근(muscles of thigh)중에서 신근군(extensor muscle group), 굴근군(flexor muscle group)의 역할과 하지(lower extremity)의 운동학(kinematics) 및 운동역학적(kinetics)인 특징을 비교분석하여 재활운동을 하는 수술자 그리고 관련자들에게 올바른 정보를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

***Corresponding author**
Tel : +82-51-890-2511, Fax : +82-51-890-2643
E-mail : ywjin@deu.ac.kr

재료 및 방법

연구 대상자의 특징

B광역시에 거주하는 65세 전후의 남자로 엉덩인공관절 수술 후 1주에 3회 지속적인재활프로그램에 참가하여 정상적인 생활을 하는 10명을 대상으로 6개월 지나서 1차 실험, 12개월 지나서 2차 실험 하였다. 실험에 사용된 THA의 일반적인 내용은 다음과 같다. THA type은 Scorpio^{TM}PS 혹은 S-7000^{TM}PS 수술자를 대상으로 하였다. THA 엉덩관절의 움직임각도는 0°-150°까지였다.

재활운동프로그램

일반적인 재활운동

누워서 발등에 힘을 주어 몸 쪽으로 당긴 후 10초간 유지하기, 누워서 허벅지와 무릎에 힘 을 주어 근육을 모아 10초간 유지하기, 누워서 엉덩이에 힘을 주어 모은 후 10초간 유지하기, 누워서 수건 등을 이용하여 다리를 올리는 연습 반복하기 등을 실시하였다.

지속적인 재활 운동

재활전문 의사들은 체중의 부하를 줄이고 인공관절 주변의 근력을 강화해주는 최적의 운동으로 수영을 꼽음으로서 지속적인 수영프로그램 참가하였다. 다음은 체계적이고 지속적인 근력운동과 걷기운동은 재활운동에 필수 사항으로 하체근력운동, 일반적인 걷기운동 등을 지속적으로 실시하였다.

운동역학적 실험

엉덩인공관절 주위 근력을 운동역학적 실험을 통하여 근력의 변화와 근력의 차이를 밝혀 재활운동의 중요성을 밝힌다.

Isokinetic concentric test

KIN-COM III를 이용하여 엉덩관절의 Isokinetic 힘을 측정하기 위하여 엉덩관절각도를 150°-90°까지 펴면서 테스트 하였다. Isokinetic concentric test는 힘 측정기구인 KIN-COM III^{TM} isokinetic dynamometer (500 Hz)를 사용하여 굴곡(flexion)시의 엉덩관절 각도가 150°-90°까지 최대수의 수축(maximal voluntary contraction, MVC)을 하는 동안 굴곡근의 역할을 알아보았다. 이때 EMG의 대퇴직근(rectus femoris)와 장요근(iliacus)의 데이터를 얻었다. 엉덩관절각도 0°-45°까지의 외전(abduction) 동작을 하는 동안 외전근인 중둔근(gluteus medius), 소둔근(gluteus minimus)의 근작용을 EMG를 통하여 알아보았다.

영상분석(cinematography)

Mahoney 등[8]이 개발한 일반 아파트 계단 높이 16.5 cm의 계단 오르기 동안 엉덩관절의 굴곡과 신전운동 동안 엉덩관절에 작용하는 모멘트를 알아보기 위하여 3차원 영상분석방법을 통하여 하지의 각도변화차이, 각가속도 변화차이 등을 알아보았으며, Feltner와 Dapena [2]가 사용한 Motion-dependent interaction 분석방법을 이용하여 하지와 엉덩관절에 작용하는 엉덩관절의 근모멘트(muscle moment, resultant joint moment)를 inverse dynamics로 계산하였다. 운동학적자료와 운동역학적자료는 Peak Motion Measurement System^{TM} (Peak Performance Technologices, Inc)을 이용하여 자료를 얻었다. 3대의 High-speed video cameras를 사용하였으며(이때 sampling rate: 120 Hz, shatter speed: 1/1,000 sec, 21-point 캘리브레이션 프레임사용) Peak Motus^{TM} 버전 4.3 소프트웨어 패키지를 사용하였다. 계단 오르기(평균 1.5 m/sec로 걸음) 동안 3차원 영상분석법을 통하여 모멘트의 계산은 Feltner와 Dapena [2]가 사용한 Motion-dependent interaction 분석방법 (Three-Dimensional Interactions in a Two-Segment Kinetic Chain)을 이용하여 Inverse Dynamics로 계산하였다. EMG 데이터와 모멘트의 비교는 SPSSWIN 10.0 통계패키지를 이용하여 t-test로 검정하여 비교하였다.

지면반력분석(force platform)

인공관절 수술자들의 재활훈련 후 걷기동작의 형태를 지면반력기(force platform)를 통하여 발바닥의 세 가지 지면반력(Fx anterior/posterior force, Fy medio/lateral force, Fz vertical force)의 형태를 비교하여 알아보았다. 지면반력기는 주로(walkway)를 이용하여 수평되게 위치시키고 대상자들은 지면반력기(Bertec, #B30201 type 4060A)를 밟고 지나가게 하였다. 지면반력기로부터 나오는 신호는 증폭기(Bertec mode AM6.3)를 거쳐 아나로그 신호를 디지털 신호로 변형(A/D board: Data translation model DT-2801-A)시킨 후 1/600 Hz로 데이터를 수집하였다.

결과 및 고찰

엉덩인공관절 수술 후 지속적으로 재활운동에 참가한 사람들을 대상으로 6개월 지난 시점과 12개월 지난 시점에서 하지근력 테스트와 지면반력 실험을 통하여 재활훈련의 효과를 비교하고 검증하였다. Susan [14]의 근력연구에서 엉덩관절의 움직임에 관여하는 근육들의 정보를 참고하였다.

Isokinetic concentric test

등속성 수축 시 엉덩관절 주위의 근력변화를 알아보기 위하여 먼저 굴곡에 관계하는 대표적인 근육 중에서 대퇴직근(rectus femoris)과 장요근(iliopsoas)을 EMG 값으로 비교해 보았다. 엉덩관절이 150°에서 90°까지 굴곡하는 동안 대퇴직근의 변화를 비교해 본 결과 통계적으로는 유의한 차이($p<0.05$)가 나타나지 않았으나 평균의 비교에서 약간의 차이가 있었다(Fig. 1). 대퇴직근 평균의 비교에서 보면 굴곡동안에

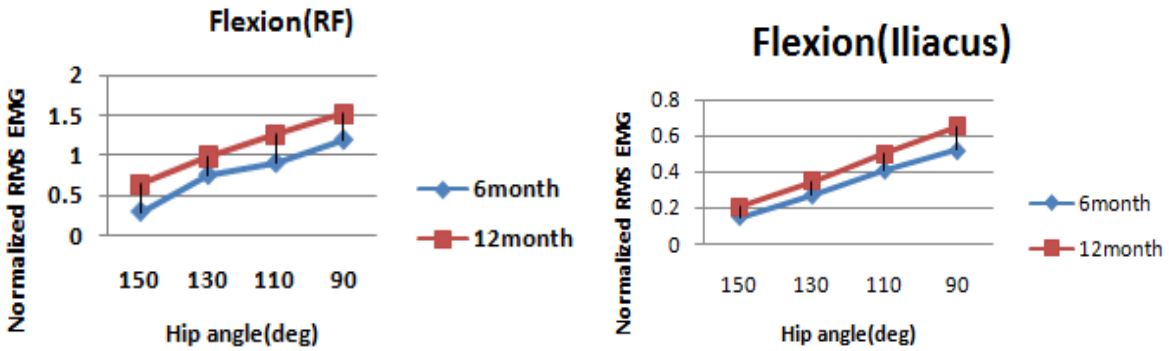

Fig. 1. Normalized RMS EMG of Flexor muscles of hip joint.
*RMS: root mean squared.

모든 각도에서 6개월의 재활훈련 참가자 보다는 12개월의 재활훈련 참가자가 더욱더 큰 EMG 값을 보이고 있다(Table 1). 이러한 결과는 Jin 등[4]이 무릎인공관절 수술자를 대상으로 대퇴직근을 연구한 결과와 비슷한 결과로 나타났다. 장요근 평균의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 나타나지 않았으나 평균의 비교에서 모든 구간에서 재활훈련기간이 길어질수록 더욱더 큰 값을 나타내고 있는 것으로 보아 굴곡과 신전에 관계하는 근력들이 체계적인 재활훈련을 받을 경우 더욱더 좋아지는 것으로 나타났다.

또 다른 등속성 수축 시 엉덩인공관절 주위의 근력들을 알아보기 위하여 엉덩관절을 중심으로 외전에 관계하는 중둔근과 소둔근 근력들의 변화를 EMG 값으로 알아보았다. 엉덩관절이 0°에서 45°까지 외전하는 동안 중둔근의 변화는 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 없었으나 재활훈련에 꾸준히 12개월 동안 참가한 수술자가 6개월 재활훈련에 참가한 수술자들보다 외전동작 값이 훨씬 크게 나타났다(Fig. 2, Table 2). 소둔근의 근력변화는 중둔근보다 외전각도가 45°각도로 커지면서 12개월 재활훈련에 참가한 수술자의 근력값(0.37±0.08)이 6개월 재활훈련 참가자 근력값(0.21±0.05) 보다 훨씬 커지는 것으로 나타났다. 엉덩관절의 외전에 관계하는 두 가지의 근력변화는 Kharma 등[6]이 연구한 결과($p<0.001$)와 거의 일치하는 것으로 나타났다. Jin 등[4]이 연구한 무릎인공관절 수술자는 굴곡과 신전만 할 수 있게 제작된 단축관절의 연구결과와는 다른 결과를 나타내었다. 외전 움직임에 대한 연구결과는 체계적인 재활훈련의 필요성을 뒷받침하는 좋은 결과로 사료된다.

Table 1. RMS EMG of Rectus femoris and iliacus of THA limbs in four angular intervals from 150° to 90° of hip flexion movement

Muscle	Month	150°	130°	110°	90°
Rectus femoris	6	0.35±0.13	0.71±0.07	0.92±0.17	1.37±0.14
	12	0.63±0.06	1.01±0.07	1.31±0.78	1.50±0.10
Iliacus	6	0.18±0.07	0.28±0.05	0.43±0.05	0.51±0.04
	12	0.21±0.05	0.35±0.03	0.57±0.02	0.69±0.07

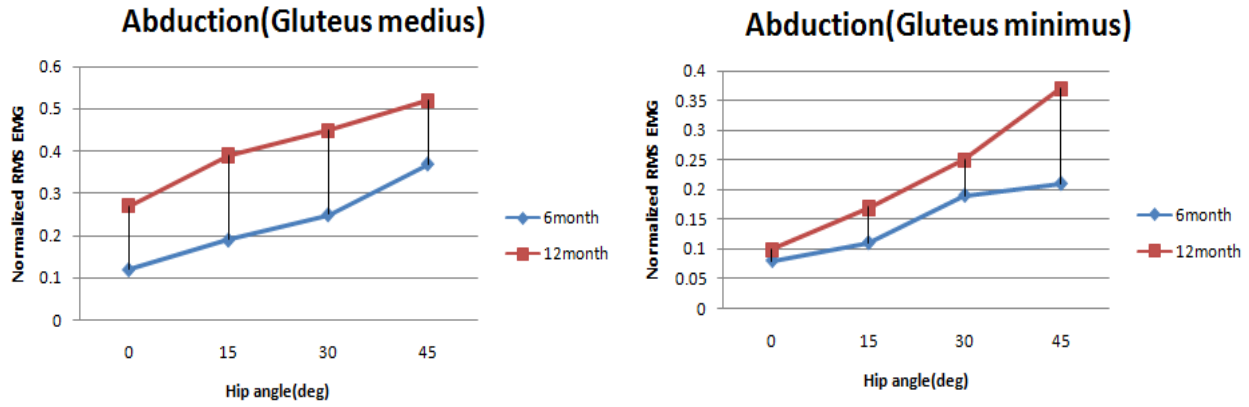

Fig. 2. Normalized RMS EMG of abductor muscles of hip joint.

Table 2. RMS EMG of gluteus minimus and gluteus medius of THA limbs in four angular intervals from 0° to 45° of hip abduction movement

Muscle	Month	0°	15°	30°	45°
Gluteus minimus	6	0.09±0.01	0.11±0.02	0.19±0.07	0.21±0.05
	12	0.11±0.02	0.17±0.03	0.25±0.02	0.37±0.08
Gluteus medius	6	0.11±0.05	0.19±0.05	0.25±0.04	0.38±0.03
	12	0.28±0.03	0.39±0.02	0.45±0.05	0.51±0.04

*RMS: root mean squared.

한계단(1 up-stair) 오르기 동안 Moment 값

꾸준한 재활훈련에 참가한 엉덩인공관절 수술자들을 대상으로 무릎관절과 엉덩관절의 모멘트 값의 변화를 알아보기 위하여 일반적인 계단 높이인 16.5cm 높이의 계단을 만들어 한 계단 오르는 동안 무릎관절과 엉덩관절의 모멘트 값을 알아보았다. 무릎관절의 모멘트 값은 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 없었으나 평균의 비교에서 한 계단을 오르는 동안 시간의 경과에 따라 재활훈련이 길수록 무릎을 펴는 모멘트의 값이 더욱더 크게 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 3, Table 3). 이것은 Jin 등[4], Mahoney [9], 그리고 Zhang [15]의 연구에서 계단오르기 동안 속도와 관절의 근력에 영향을 미치는 각속도와 관절모멘트 연구에서의 결과와 거의 일치하게 나타났다. 엉덩관절의 모멘트 값은 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 나타나지 않았으나 평균의 비교에서 재활훈련에 꾸준히 12개월간 참석한 대상자들의 엉덩관절 모멘트 값이 크게 나타났다. 걷기와 뛰기 그리고 오르기와 내리기 동작을 하는 일상생활의 대부분에서 엉덩관절의 모멘트값의 결과는 Putnam [11]의 일반인 가볍게 뛰기동작의 모멘트 연구의 결과 값(무릎관절 최대모멘트 65Nm, 엉덩관절 최대모멘트 145Nm)에서 차이는 많이 나지만 꾸준한 재활훈련을 통하여 모멘트 값(12개월 재활훈련 참가자의 무릎관절 최대모멘트 158.40±29.64Nm, 엉덩관절 최대모멘트 246.94±52.35Nm)이 커지고 있는 것은 관절 주위의 근력이 좋아지고 있다는 것을 뒷받침하고 있다. 차후에는 엉덩관절의 굴곡과 신전모멘트 뿐만 아니라 내전과 외전모멘트 값을 비교해 보는 것도 좋은 의미가 있다고 생각된다.

Force platform data

Macmillan [7]은 지면접촉은 발이 지면에 닿는 첫 번째의 접촉순간으로 정의 하였다. 일반적으로 걷기와 달리기 동작시에 발의 뒷부분이 먼저 닿게 되고 점프 할 때는 발의 앞부분이 먼저 접촉된다. 지면반력기를 이용하여 걷기 동작 시 발에서 받는 힘의 크기를 보면 걷기형태를 추정 할 수 있다. 엉덩인공관절 수술 후 6개월 재활훈련 참가자와 12개월 재활훈련 참가자 모두 세 가지 지면반력(Fx anterior/posterior force, Fy medio/lateral force, Fz vertical force)의 형태는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나(Fig. 4, Table 4), Benno [1]의

Table 3. Moment (Nm) during one up-stair (sec)

Month		0.25	0.50	0.75	1
Knee	6	50.10±18.25	87.81±15.53	95.73±10.55	104.59±21.31
	12	72.23±10.89	99.39±21.04	117.52±20.37	158.40±29.64
Hip	6	81.34±11.96	110.26±31.75	150.97±40.21	182.37±38.29
	12	98.60±28.35	117.21±18.78	178.53±41.51	246.94±52.35

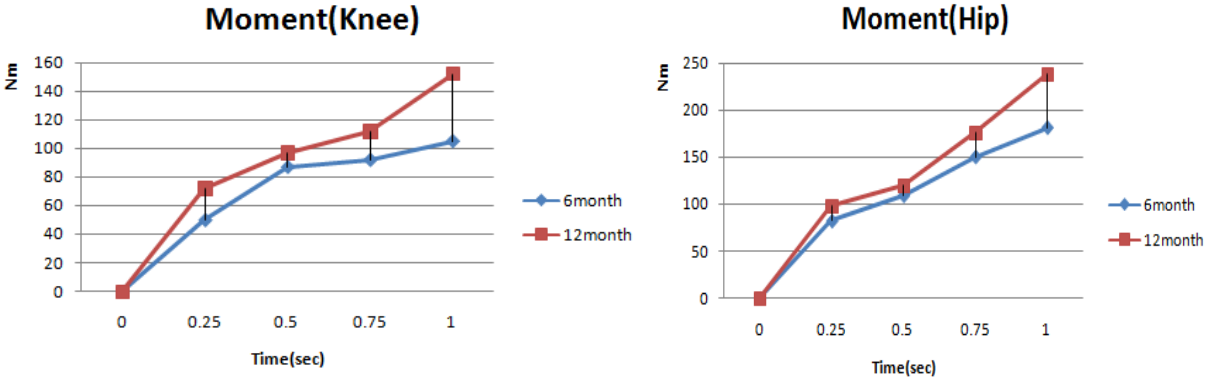

Fig. 3. Moment during one up-stair.

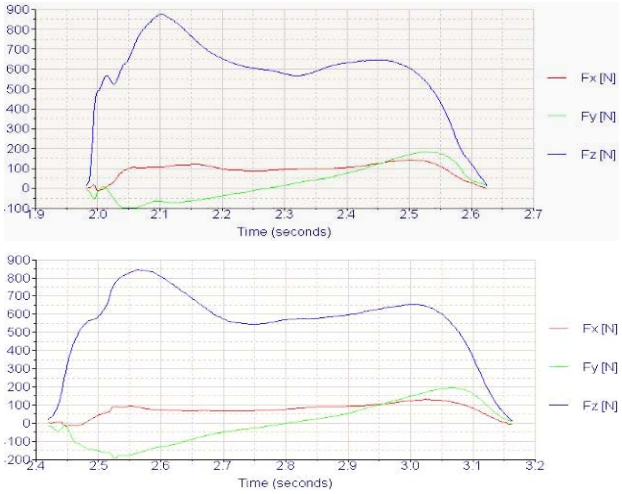

Fig. 4. Force platform data during walking.

Table 4. Force platform variables

Variables	6 Month	12 Month
Maximum M/L (Fy) force〔N〕	109±45	105±28
Maximum A/P (Fx) force〔N〕	-107±21	-175±33
Maximum vertical (Fz) force〔N〕	892±104	820±87
Support foot contact time〔sec〕	0.62±0.021	0.65±0.092

M/L medio/lateral force (Fy).
A/P anterior/posterior force (Fx).
(-) Direction.

연구에서 일반적인 걷기형태와 같이 나타났다. 좌우면의 힘(Fy)은 6개월 재활훈련 참가자(109±45N)가 12월 재활훈련 참가자(105±28N)보다 큰 값을 보이고 있고, 전후면의 힘(Fx) 값은 6개월 재활훈련참가자(-107±21N) 보다 12개월 재활훈련 참가자(-175±33N) 큰 값으로 나타났다. 이것은 걷기 동안 재활훈련에 꾸준히 오래 동안 참가한 사람이 자신 있게 걷기동작을 하여 좌우의 흔들림 없이 앞으로 가볍게 발걸음을 내 뒷는 것으로 실험결과 나타났다. 수직지면반력(Fz)은 6개월 재활훈련 참가자(892±104N)보다 12개월 재활훈련 참가자(820±87N)가 작게 나타났다. 이것은 전후면의 결과와 같이 발걸음을 가볍게 밟으면서 추진력을 크게 하는 결과의 걸음걸이를 하고 있다고 생각되며, 재활훈련의 결과 걷기동작이 Benno [1]가 연구한 정상인의 걷기 동작의 Fx (0.25BW), Fy (0.65BW), Fz (1.45BW) 결과와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부재원(교육과학기술부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-521-G00016).

References

1. Benno, M. N. and H. Walter. 1998. *Biomechanics of the Musculo-Skeletal System*. **2ed**. 277-279.
2. Felter, and Dapena. 1989. Three-Dimensional interactions in a two-segment kinetic chain. Part II:Application to the throwing arm in baseball pitching. *International Journal of Sport Biomechanics* **5**, 420-450.
3. Freund, D. A. and R. S. Dittus. 1997. Assessing and improving outcomes: total knee replacement. *AHCPR Pub*. 97-015.
4. Jin, Y. W. and Y. S. Kwak. 2004. Strength evalution of single-radius total knee replacement (TKR). *Journal of Life Science* **14**, 484-489.
5. John, K. 2003. Instrument design considerations for minimally invasive hip surgery. *1st International High Performance Hip Meeting* **1**, 9.
6. Kharma, C. F., E. H. Debra, and A. W. Markus. 2008. Do gait adaptations during stair climbing result in changes in implant forces in subjects with total hip replacements compared to normal subjects. *Clinical Biomechanics* **23,** 754-761.
7. Macmillan, M. B. 1975. The determinations of the flight of the kicked football. *Research Quarterly* **46**, 48-57.
8. Mahoney, O. K. 1994. Posterior cruciate function following total knee arthroplastry. *Journal of Arthroplasty* **9**, 569-578.
9. Mahoney, O. K. 2002. Laboratory Demonstration of Mechanical and Functional Advantages of Single-Radius TKA Design. *Proceeding of 69th American Academy of Orthopaedic Surgeons Meeting* **3**, 442.
10. Nobumasa, K. 2003. Clinical results of total hip arthroplasty with acetabular bone graft. *1st International High Performance Hip Meeting* **1**, 13.
11. Putnam, C. A. 1993. Sequential motion of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *Journal of Biomechanics* **26**, Suppl. 1, 125-135.
12. Riley, L. H. 1983. History and evaluation of total knee replacement. Baltimore, MD, *Williams & Wilkins* 1-4.
13. Simpson, K. J. 2003. An electromyographic study of the hip abductor muscles during gait in individuals with total arthroplasty. *International Scientific Congress of Hip and Knee Joint* **1**, 6.
14. Susan, J. H. 2003. The biomechanics of the human lower extremity. *Basic Biomechanics* **4ed**, 249.
15. Zhang, L. Q. 2001. Dynamic and static control of the human knee joint in abduction-adduction. *Journal of Biomechanics* **34**, 1107-1115.

초록 : 재활운동 프로그램에 참가한 엉덩인공관절 수술자의 하지근력 변화에 대한 비교연구

진 영 완*
(동의대학교 특수체육학과)

엉덩인공관절 수술 후 지속적으로 재활운동에 참가한 사람들을 대상으로 6개월 지난 시점과 12개월 지난 시점에서 하지근력 테스트와 지면반력 실험을 통하여 재활훈련의 효과를 비교하고 검증하였다. 엉덩관절이 150°에서 90°까지 굴곡하는 동안 대퇴직근의 변화를 비교해 본 결과 통계적으로는 유의한 차이($p<0.05$)가 나타나지 않았으나 평균의 비교에서 약간의 차이가 있었다. 장요근 평균의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 나타나지 않았으나 평균의 비교에서 모든 구간에서 재활훈련기간이 길어질수록 더욱더 큰 값을 나타내고 있는 것으로 보아 굴곡과 신전에 관계하는 근력들이 체계적인 재활훈련을 받을 경우 더욱더 좋아지는 것으로 나타났다. 엉덩관절이 0°에서 45°까지 외전하는 동안 중둔근의 변화는 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 없었으나 재활훈련에 꾸준히 12개월 동안 참가한 수술자가 6개월 재활훈련에 참가한 수술자들보다 외전동작 값이 훨씬 크게 나타났다. 소둔근의 근력변화는 중둔근 보다 외전각도가 45°각도로 커지면서 12개월 재활훈련에 참가한 수술자의 근력값(0.37±0.08)이 6개월 재활훈련 참가자 근력값(0.21±0.05) 보다 훨씬 커지는 것으로 나타났다. 무릎관절의 모멘트 값은 통계적으로 유의한 차이($p<0.05$)는 없었으나 평균의 비교에서 한 계단을 오르는 동안 시간의 경과에 따라 재활훈련이 길수록 무릎을 펴는 모멘트의 값이 더욱더 크게 증가하는 것으로 나타났다. 엉덩인공관절 수술 후 6개월 재활훈련 참가자와 12개월 재활훈련 참가자 모두 세 가지 지면반력(Fx anterior/posterior force, Fy medio/lateral force, Fz vertical force)의 형태는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 좌우면의 힘(Fy)은 6개월 재활훈련 참가자(109±45N)가 12월 재활훈련 참가자(105±28N)보다 큰 값을 보이고 있고, 전후면의 힘(Fx) 값은 6개월 재활훈련참가자(-107±21N) 보다 12개월 재활훈련 참가자(-175±33N)가 큰 값으로 나타났다.