

후방보행 훈련이 하지 등속성 근력 및 내측광근 표면 근전도에 미치는 영향

류호열

연세대학교의료원 세브란스 재활병원 물리치료팀

The Effects of Backward Walking Training on Knee Isokinetic Strength and Vastus Medialis Surface EMG

Ho-Youl Ryu

Department of Physical Therapy, Rehabilitation Hospital, Yonsei University Health System

Background and Purpose Backward walking exercise is being recommended for increasing lower extremity strength, especially vastus medialis strength. But little research has been conducted backward walking training to clarifying vastus medialis strength. The purpose of this study is to verify the effectiveness of backward walking training on knee muscle strength especially vastus medialis strength. **Subjects and Methods** Fourteen healthy male adults were randomly divided into backward walking (BW, n=7) and forward walking (FW, n=7) training groups. Each group took part in muscle strength tests of knee extension and flexion isokinetic peak torque (PT), total work (TW). Vastus medialis (VM) and vastus lateralis (VL) root mean square (RMS) of electromyographic (EMG) also measured during maximal voluntary isometric contraction. Each group took one week resting period and then, performed BW and FW training program for 6 weeks, consisting of 3 sessions per week for a total of 18 sessions. The training intensities applied to individual subjects were at 65% of their VO_2max respectively. **Results** The BW training group showed a significant increases in knee extension and flexion isokinetic PT (4.6%, 13.9%), isokinetic TW (17.34%), and isometric VM EMG RMS (48.5%). But FW training group did not show a significant increase in any of the items. **Conclusion** BW training has positive effectiveness on knee muscle strength, especially vastus medialis strength, which is acting as medial stabilizer of the patella.

Key words Backward walking, Vastus medialis, Isokinetic strength, EMG

책임 저자 류호열, yurcamp@hanmail.net

논문 접수일 2009년 8월 1일

수정 접수일 2009년 9월 5일

게재 승인일 2009년 9월 20일

I. 서론

무릎을 펴는 주동근 역할을 수행하기 때문에 서 있거나 걷는 따위의 모든 동작에서 중요한 기능을 담당하는 슬관절 신근은 대퇴직근, 외측광근, 중간광근, 내측광근으로 구성되어 있으며 장골과 대퇴골에서 기시하여 슬개골을 건으로 둘러싸고 내려와 경골에서 정지한다(Farahmand et al., 1998).

운동역학적으로 슬관절 신근을 구성하는 네 개의 근육은 기시점이 다르기 때문에 서로 다른 방향으로 힘이 작용하게 된다. 이 다양한 힘의 방향을 합쳐 하퇴를 신전시키는 지렛대 역할을 수행하는 것이 슬개골이다(Hungerford & Barry, 1979). 슬개골을 중심으로 안쪽과 바깥쪽에 위치한 내측광근과 외측광근은 슬개골에 사선의 힘을 가하는 비스듬한 근육 섬유를 가지고 있다(Farahmand et al., 1998). 이 두 근육은 서로 반대의 힘을 가하기 때문에 슬개골의 규칙적인 움직임(tracking)과 안정성에 기여한다(Sakai et al., 2000). 내측광근은 해부학적으로 대퇴

골을 중심으로 약 52° 내측으로 기울어져 있어 다른 근육에 비하여 가장 큰 경사각을 형성하며(Powers, 1998) 슬개골에 내측 안정성을 제공하는 유일한 근육이다(Lin et al., 2008). 근수축 시 슬개골을 외측으로 잡아당기는 외측광근, 중간광근, 장경인대와 비교할 때 내측광근에 기능 이상이 발생할 경우 슬개골의 역학 변화를 일으킬 수 있다(Huberti & Hayes, 1984). Naotaka 등(2000)은 카데바(cadaver)를 대상으로 한 생체 내 실험에서 정상 상태의 내측광근과 외측광근의 힘의 비율을 고려하여, 외측광근에 50N의 힘을 가하고 내측광근에 40N의 힘을 가하도록 하여 슬개골의 움직임을 분석하였다. 이 후 외측광근에 가해진 힘은 그대로 유지하고 내측광근에 가해진 힘을 25% 감소시킨 결과, 슬관절 완전 신전과 15° 굴곡자세에서 통계적으로 유의한 슬개골의 외측 이탈을 보였다고 하였다. 따라서 내측광근의 근력이 감소하게 되면 외측광근, 중간광근, 장경인대 등에 의해 슬개골은 외측으로 이탈하여 주변 연부조직과 잦은 충돌을 일으켜 다양한 만성 슬관절 질환을 유발하게 된다(Lin et

al., 2008). 내측광근의 근력 감소는 주로 전방 십자인대 손상, 슬개대퇴 통증 증후군 등 슬관절에 장애가 발생했을 때뿐만 아니라 슬관절에 직접적인 손상이 가해지지 않았더라도 침상 안정을 필요로 하여 장시간 동안 슬관절 신근을 사용하지 않는 편마비 등의 질환에서도 나타날 수 있다. Fox (1975)는 슬관절 신근 중 내측광근이 계통발생학적으로 가장 마지막에 발달하고, 슬관절 신근 미사용 시 내측광근의 위축이 가장 빨리 나타나며, 재활 운동 시 다른 슬관절 신근에 비하여 가장 늦게 근력 증가가 이루어진다고 보고 하였다. Souza와 Gross(1991)는 슬개대퇴 통증 증후군 환자의 표면 근전도(EMG) 연구에서 무릎을 펼 때 외측광근에 비해 내측광근의 EMG가 유의하게 감소하였으며, Mariani와 Caruso (1979)는 슬개골 탈구가 일어나는 환자들의 내측광근 EMG가 일반인에 비하여 유의하게 감소한다고 하였다. 이와 같이 내측광근 근력 감소에 의한 슬개골 역학 변화는 만성 슬관절 질환으로 고착화될 수 있다(Lin et al., 2008). 그러므로 내측광근의 근력 감소에 의한 슬개골 역학 변화를 예방하기 위해서는 내측광근 근력 훈련을 일상적 훈련 프로그램에 포함시켜야 한다(Bentley et al., 2000; Lattier et al., 2004).

내측광근 근력 증가를 위해 추천되고 있는 다양한 훈련 프로그램 중 후방보행 훈련은 1980년대 초반부터 전방 십자인대 손상 환자의 재활 운동으로서 장점이 부각되면서 연구가 이루어지기 시작하였다(Threlkeld et al., 1989; Winter et al., 1989; Flynn and Soutas-Little, 1993). 같은 속도로 보행을 할 경우, 슬관절에 가해지는 압박력은 전방보행 시 체중의 5~6배에 이르지만 후방보행 시 체중의 3배 정도로 감소하며 (Flynn & Soutas-Little, 1991), 전방 십자인대에 가해지는 긴장력이 감소되고(Threlkeld et al., 1989), 최대 산소 섭취량 증대 및 체지방 감소 등의 장점이 있다. 이러한 효과들과 더불어 슬관절 신전 근력, 특히 내측광근의 근력 증가에 있어 후방보행은 전방보행 보다 높은 효과가 있다고 하였다(한상완, 2005; Cipriani et al., 1995). 이와 같은 후방보행의 운동학적 특성을 고려한 훈련 효과에 대해 연구자들은 에너지 대사와 유산소 운동 능력 향상 등에 대해서는 일치된 연구 결과를 보였으나(Terblanche et al., 2005), 하지의 등속성 근력 증가에 대해서는 일치되지 못한 결과를 보이고 있다. Threlkeld 등(1989)은 8주 훈련 후 75°, 120°/sec에서 등속성 최대 근력은 유의한 증가를 보였으나 180°, 210°/sec에서는 유의한 증가를 보이지 않았다고 하였으나, Terblanche 등(2005)은 6주 훈련 후 슬관절 굴근의 등속성 최대 근력은 유의한 증가를 보였으나 슬관절 신근은 유의한 증가를 보이지 않았다고 하며, 그 원인으로 6주의 훈련 기간이 근력 증가를 보이기에 다소 짧았기 때문일 것이라고 하였다. 그러나 두 보행 훈련 후 슬관절 등속성 근력을 분석한 선행 연구자들은 연구 대상자 개인별 체중 차이를 고려하지 않았다. 또한 1회 20분, 주 3회, 6

주 이상 동안 진행된 유산소성 훈련 후의 연구 대상자의 체중 감소를 고려하지 않았기 때문에 슬관절 등속성 근력에 대해서 일치되지 못한 결과를 보였을 것으로 생각된다. 따라서 연구 대상자 개인별 체중 차이에 의한 근력의 통계학적 표준 편차를 최소화시키기 위해 체중 1kg당 등속성 최대 근력(Nm/kg)으로 표준화할 필요가 있으며, 훈련 전과 후의 연구 대상자 체중 변화를 고려해서 등속성 근력을 분석할 필요가 있다. 또한 후방보행이 내측광근 근력에 미치는 영향을 연구한 대부분의 연구들은 1회성 운동을 통한 전방보행과 후방보행의 표면 근전도 연구만 실시하였을 뿐(한상완, 2005; Cipriani et al., 1995), 실제 훈련 전과 후의 내측광근 근력 증가를 증명한 연구가 없는 실정이다. 따라서 슬관절 질환, 편마비 등의 다양한 질환으로 인해 내측광근 근력 감소를 겪고 있는 환자들의 재활 운동으로서 후방보행 훈련이 내측광근 근력 증가에 어떠한 영향을 미치는 지 연구할 필요가 있다.

II. 연구방법

1. 실험 대상자의 일반적 특성

본 연구에 참가한 대상자는 보행 훈련 전 6개월 이내에 체계적인 하지 근력 증가를 위한 저항 운동이나 부상 경험이 없었던 20대 일반인 남성으로 하였다. 연구에 참여한 대상자는 Y대학 병원에 근무하는 14명으로 구성되었으며 실험군인 후방보행 훈련 그룹 7명과 대조군인 전방보행 훈련 그룹 7명을 무작위로 분류하였다. 본 연구의 목적과 6주 동안의 훈련 프로그램에 대한 교육을 실시한 후 모든 대상자들에게 훈련 참여에 대한 서면 동의를 받았다. 전체 연구 기간 중 어느 누구도 훈련 전과 후의 테스트에 영향을 줄만한 일상생활에서의 하지 손상 및 기능 제한이 없었으며 보행 훈련 이외에 다른 운동을 하지 않도록 하였다. 연구에 참가한 대상자들의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구 대상자의 일반적 특성

남성	후방보행 훈련 그룹 (n=7)	전방보행 훈련 그룹 (n=7)
나 이 (year)	26.14 ± 1.12	28.57 ± 3.61
신 장 (cm)	172.86 ± 3.04	177.29 ± 2.37
체 중 (kg)	67.8 ± 5.63	73.29 ± 5.9
BMI (score)	22.37 ± 1.84	23.35 ± 2.12

Mean±SD

2. 측정 변인

1) 최대 산소 섭취량

연구 대상자의 최대 산소 섭취량(VO₂max)은 K 대학교 운동

생리학 실험실에서 실시하였다. 최대 산소 섭취량 측정은 연구 대상자의 훈련 속도 설정을 위한 것으로서 운동 부하 검사는 Bruce protocol을 이용하였다. Bruce protocol은 매 3분마다 경사도 2°, 속도는 시속 약 1.4 km씩 증가하는 탈진적 점증 부하 전방 달리기 운동 방법이다. 연구 대상자들은 실험실 도착 후 30분 동안 휴식을 취한 후 5분간 가벼운 스트레칭을 통해 준비 운동을 실시하였다. 점증 부하 운동을 하는 동안의 심박수, 산소 섭취량, 이산화탄소 배출량 등의 변화는 매 3초마다 소프트웨어가 설치된 컴퓨터에 기록되었다. 최대 산소 섭취량 측정에 사용된 호흡 가스 분석기는 COSMED Srl Quark b²이며, 운동의 중단은 연구 대상자가 더 이상 운동을 지속하지 못할 때까지 진행하였다.

2) 표면 근전도 RMS(root mean square)

EMG 측정은 LAXTHA사(한국)의 LXM 3208-RF를 이용하였으며 전극은 20mm 크기의 NOROTRODE 20TM(bipolar silver/ silver chloride EMG electrodes)을 이용하였다. 최대 산소 섭취량 측정 후 최소 3일 이상의 휴식 기간을 가진 후, 슬관절 신근 최대 등척성 수축 동안의 내측광근과 외측광근의 RMS를 측정하였다. RMS 측정을 위한 슬관절 각도는 슬개골에 가해지는 압박력이 최소화되며(Hawkins et al., 2001), 내측광근과 외측광근의 EMG 활성이 가장 높게 나타나는 30° 굴곡 자세로 정하였다(한상완, 2005). EMG 측정 부위는 전기 자극 치료기(EST)를 이용하여 내측광근과 외측광근의 다양한 근복(muscle belly) 부위에 전기적 자극을 준 후 근 수축 반응이 가장 크게 나타나는 motor point를 개인별로 선정하였다(Chen et al., 2008). 연구 대상자 별로 정해진 전극 부착 부위는 훈련 전과 후의 표면 전극 부착 부위에 오차가 발생하지 않도록 유성 펜을 이용하여 표시하였다. EMG 측정 시 피부 저항을 감소시키기 위해 motor point 주변에 대한 면도를 실시한 후 가는 사포를 이용하여 3-4회 문질러 피부각질층을 제거하고 70% 에탄올을 이용하여 소독하였다. EMG 측정 전 15분 동안 온습포를 적용하여 모든 연구 대상자들이 동일한 피부 온도와 습도를 유지하도록 하였다. 표면 전극은 슬관절 30° 굴곡 자세에서 부착하였으며 운동에 의한 전극의 움직임을 방지하기 위하여 언더-랩(under-lap)을 이용하여 고정하였다. 내측광근과 외측광근에서 측정된 EMG 분석은 시평면 상의 진폭(amplitude)을 반영한 RMS(root mean square) 값을 이용하였다. 분석에 이용할 자료는 최대의 노력으로 5초 수축과 5초 이완을 3회 연속적으로 실시하여 수집하였다. 5초 동안의 항정 상태의 RMS 중 1-4초(3초) 동안의 3회 평균값을 1초당 RMS(a.u./sec)로 변환하여 데이터로 활용하였다. 주파수 대역폭은 20~500Hz로 설정하여 필터링(filtering) 과정을 거쳐 자료를 분석하였다.

3) 등속성 최대 근력

연구 대상자들의 슬관절 신근과 굴근의 등속성 최대 근력 측정에 사용한 기계는 BTE PRIMUS RS(Baltimore Therapeutic Equipment Company, Maryland, USA)이다. EMG 측정 후 1분 동안 휴식을 취한 후 60°/sec에서 최대의 노력으로 슬관절을 총 5회 굴곡·신전하도록 하여 슬관절 신근과 굴근의 등속성 피크토크(Nm)를 측정하였다. 연구 대상자들은 피크토크 측정 후 1분 동안 휴식을 취하였으며 180°/sec에서 최대의 노력으로 슬관절을 30회 굴곡·신전하도록 하여 등속성 총 일량(J)을 측정하였다. 각 근력 측정 간 휴식 시간은 등속성 최대 근력 발현에 영향을 미치지 않는 최소의 휴식 시간인 1분으로 설정하였다(Allen, 2004). 등속성 피크토크와 총 일량은 연구 대상자 간 개인차를 최소화하기 위하여 체중 1kg당 피크토크(Nm/kg)와 총 일량(J/kg)으로 변환하여 데이터로 활용하였다.

3. 훈련 프로그램

1) 훈련 속도 선정

후방보행 훈련그룹과 전방보행 훈련그룹의 훈련 속도는 유산소 심폐 운동 능력 향상을 위하여 ACSM(American College of Sports Medicine, 2000)에서 제시한 매뉴얼을 바탕으로 연구 대상자 개인별 최대 산소섭취량의 65%에 해당하는 훈련 목표 심박수를 선정하였다. 연구 대상자들의 개인별 훈련 속도 선정은 트레드밀 위에서 polar를 착용하고 심박수를 측정하였다. 후방보행 훈련 그룹은 polar 착용 후 트레드밀에서 후방 보행을 실시하였으며 전방보행 훈련 그룹은 전방보행을 실시하였다. Bruce protocol 1단계인 시속 2.7km에서 3분 동안 워밍업을 실시한 후 본 운동에 해당하는 시속 4km의 속도로 3분 동안 운동을 수행하면서 심박수의 변화를 측정하였다. 매 3분이 경과할 때 마다 후방보행 훈련 그룹은 시속 0.2km씩, 전방보행 훈련 그룹은 시속 0.5km씩 속도를 높여 나가며 훈련 목표 심박수가 나타나는 속도를 개인별 훈련 속도로 설정하였다.

2) 트레드밀 경사도

후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 훈련을 위한 트레드밀 경사도는 0, 5, 10° 중 근력 증가에 가장 효과적인 10°로 설정하였다(한상완, 2005; Cipriani et al., 1995).

3) 훈련 시간 및 훈련 기간

후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 1회당 훈련 시간은 20분으로 하였다. 훈련은 주 3회로 구성하였으며, 6주 동안 총 18회 실시하였다(Terblanche et al., 2005).

4) 훈련 속도의 재설정

운동에 대한 적응 현상 및 훈련 효과를 고려하여 2주마다 훈련

표 2. 슬관절 신근 등속성 근력

(Nm/kg)

	슬관절 신근		대응차	t	P
	훈련 전	훈련 후			
후방보행 훈련	18.51 ± 1.87	19.36 ± 1.97	-0.86±0.78	-2.920	.027*
전방보행 훈련	18.48 ± 1.28	18.49 ± 1.91	-0.01±0.91	-0.033	.975

mean±SD
*p<.05

표 3. 슬관절 굴곡근 등속성 근력

(Nm/kg)

	슬관절 굴곡근		대응차	t	P
	훈련 전	훈련 후			
후방보행 훈련	14.19 ± 1.42	16.17 ± 1.58	-1.99 ±1.53	-3.434	.014*
전방보행 훈련	15.17 ± 0.86	15.66 ± 0.96	-0.07 ±0.92	-0.188	.857

mean±SD
*p<.05

속도를 높였다. 연구 대상자 개인별 훈련 속도에서 polar착용 후 운동을 시작하여 매 3분이 경과할 때 마다 시속 0.1km씩 속도를 높이며 훈련 목표 심박수가 나타나는 속도로 재설정하였다.

6. 자료 분석

본 연구에서 측정된 모든 변인들 간의 결과에 대한 기술적 통계 처리는 SPSS 12.0(kor) 프로그램을 이용하였다. 기술적 통계 처리는 평균값과 표준편차로 계산되었다. 연구 대상자들의 훈련 전과 후의 근력 변화는 대응표본 t-검정을 이용하였으며 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 그룹 간 비교는 독립표본 t-검정을 이용하였다. 통계학적 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

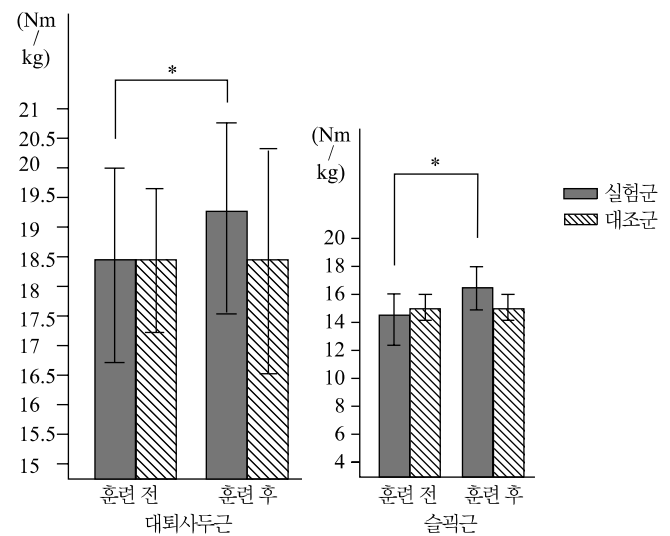
III. 연구 결과

1. 등속성 근력

1) 60°/sec 등속성 근력

<표 2>는 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 슬관절 5회 굴곡-신전 동안 측정된 체중 1kg당 슬관절 신근 등속성 피크토크(Nm/kg)에 대한 훈련 전과 후의 결과이다. 후방보행 훈련 그룹의 슬관절 신근 등속성 피크토크는 훈련 전 18.51±1.87(Nm/kg)에서 훈련 후 19.36±1.97(Nm/kg)로 유의한 근력 증가(p<.05)를 보였으며, 전방보행 훈련 그룹은 훈련 전

18.48±1.28(Nm/kg)에서 훈련 후 18.49±1.91(Nm/kg)로 유의한 변화는 보이지 않았다. 한편, 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 훈련 후 슬관절 신근 등속성 피크토크는 독립 표본 t-검정 결과 그룹 간 유의한 차이는 보이지 않았다(그림 1).



*p < .05

그림 1. 슬관절 신전근, 굴곡근 등속성 최대 근력

<표 3>은 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 슬관절 5회 굴곡-신전 동안 측정된 체중 1kg당 슬관절 굴곡근 등속성 피크토크(Nm/kg)에 대한 훈련 전과 후의 결과이다. 후

표 4. 등속성 근 지구력

(J/kg)

	총 일량		대응차	t	P
	훈련 전	훈련 후			
후방보행 훈련	206.9 ± 22.47	242.78 ± 23.53	-35.87±21.45	-4.424	.004**
전방보행 훈련	210.78 ± 6.89	214.53 ± 10.55	1.96 ±15.92	0.326	.755

mean±SD

**p<.01

표 5. 내측광근 표면 근전도 RMS

(a.u./sec)

	내측광근		대응차	t	P
	훈련 전	훈련 후			
후방보행 훈련	78.3 ± 14.94	116.3 ± 16.54	-113.99±64.57	-4.671	.003**
전방보행 훈련	77.43 ± 23.69	96.93 ± 7.66	-55.09±59.52	-2.449	.05

mean ± SD

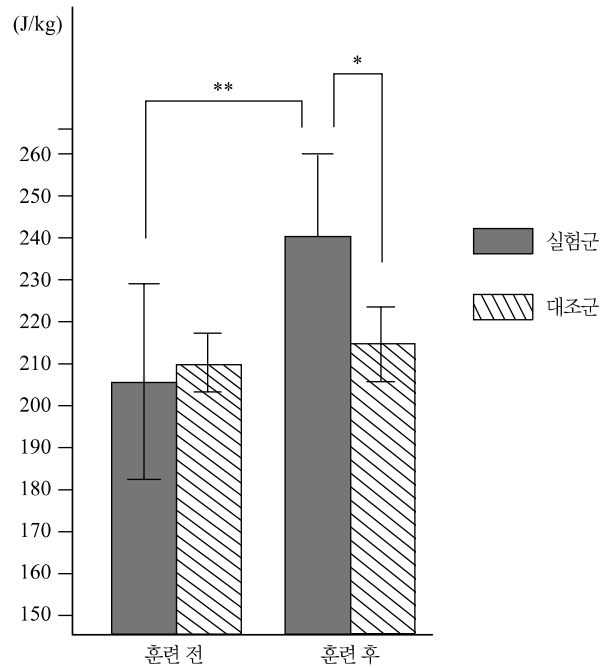
**p<.01

방보행 훈련 그룹의 슬관절 굴근 등속성 피크토크는 훈련 전 14.19±1.42(Nm/kg)에서 훈련 후 16.17±1.58(Nm/kg)로 유의한 근력 증가(p<.05)를 보였으며, 전방보행 훈련 그룹은 훈련 전 15.17±0.86(Nm/kg)에서 훈련 후 15.66±0.96(Nm/kg)으로 증가하는 경향을 보였으나 유의하지는 않았다. 한편, 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 훈련 후 슬관절 굴근 등속성 피크토크는 독립 표본 t-검정 결과 그룹 간 유의한 차이는 보이지 않았다(그림 1).

2) 180°/sec 등속성 근 지구력

<표 4>는 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 슬관절 30회 굴곡-신전 동안 측정된 체중 1kg당 슬관절 신근과 굴근의 등속성 총 일량(J/kg)에 대한 훈련 전, 후의 결과이다. 후방보행 훈련 그룹의 슬관절 신근, 굴근의 등속성 총 일량은 훈련 전 206.9±22.47(J/kg)에서 훈련 후 242.78±23.53 (J/kg)으로 유의한 증가(p<.01)를 보였으며, 전방보행 훈련 그룹은 훈련 전 210.78±6.89(J/kg)에서 훈련 후 214.53± 10.55(J/kg)로 증가하는 경향을 보였으나 유의하지는 않았다.

한편, 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 훈련 후 등속성 총 일량은 독립 표본 t-검정 결과 유의확률 .02로 그룹 간 유의한 차이가 있었다(그림 2).



*p<.05, **p<.01

그림 2. 등속성 근 지구력

2. 표면 근전도

1) 내측광근 표면 근전도

<표 5>는 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 슬관절 30° 굴곡자세에서 슬관절 신근의 등속성 최대 수축 시 측정된

표 6. 외측광근 표면 근전도 RMS

(a.u./sec)

	외측광근		대응차	t	P
	훈련 전	훈련 후			
후방보행 훈련	99 ± 37.59	122.18 ± 43.23	-69.53±90.92	-2.023	.089
전방보행 훈련	116.64 ± 28.86	112.8 ± 24.07	-0.45±84.51	-0.014	.989

mean±SD

내측광근 RMS(a.u./sec)에 대한 훈련 전과 후의 결과이다.

후방보행 훈련 그룹의 슬관절 신근 등척성 최대 수축 시 측정된 내측광근 RMS는 훈련 전 78.3±14.94(a.u./sec)에서 훈련 후 116.3±16.54(a.u./sec)로 유의한 증가(p<.01)를 보였으며, 전방보행 훈련 그룹은 훈련 전 77.43±23.69(a.u./sec)에서 훈련 후 96.93±7.66(a.u./sec)으로 증가하는 경향이 컸으나 유의수준 .05로 유의한 차이는 보이지 않았다(표 5). 한편, 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 훈련 후 내측광근 RMS는 독립 표본 t-검정 결과 유의확률 .019로 그룹 간 유의한 차이가 있었다(그림 3).

2) 외측광근 표면 근전도

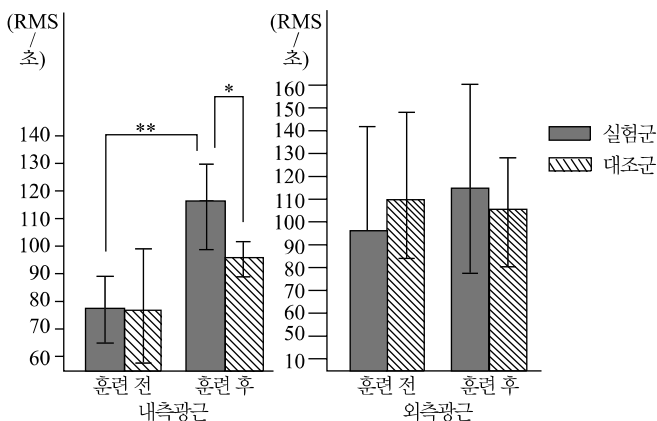
<표 6>은 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 슬관절 30° 굴곡자세에서 슬관절 신근의 등척성 최대 수축 시 측정된 외측광근 RMS(a.u./sec)에 대한 훈련 전과 후의 결과이다.

후방보행 훈련 그룹의 슬관절 신근의 등척성 최대 수축 시 측정된 외측광근 RMS는 훈련 전 99±37.59(a.u./sec)에서 훈련 후 122.18±43.23(a.u./sec)로 증가하는 경향을 보였으나 유의하지는 않았다. 전방보행 훈련 그룹은 훈련 전 116.64±

28.86(a.u./sec)에서 훈련 후 112.8±24.07(a.u./sec)으로 오히려 감소하는 경향을 보였다. 한편, 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹의 훈련 후 외측광근 RMS는 독립 표본 t-검정 결과 그룹 간 유의한 차이는 없었다(그림 3).

IV. 고찰

두 보행에 관한 선행 연구들을 살펴보면 전방보행보다 후방보행이 슬관절 신근과 굴근의 근력을 더욱 증가시키는 운동학적 특성을 알 수 있다. 후방보행과 전방보행의 관절 운동학적 특성을 비디오 분석한 Winter 등(1989)은 두 보행 운동 시 고관절, 슬관절, 족관절의 운동 범위가 서로 높은 상관관계(r=0.95)를 가지고 있기 때문에 슬관절 신근력 증가에 미치는 관절 운동 범위는 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. 또한 Devita와 Stribling(1990)은 두 보행 운동의 입각기(stance phase) 시간을 비교한 결과 후방보행과 전방보행에서 각각 37%, 35%로 큰 차이를 보이지 않는다고 하였다. 이 연구 결과로 미루어볼 때 입각기의 시간 차이 역시 두 보행에서 비슷하게 나타나기 때문에 근력 증가에 영향을 미치는 요소로 볼 수 없다. 반면, Threlkeld 등(1989)은 전방보행에 비하여 후방보행 시 약 30% 가량 지면 반발력(ground reaction force)이 감소된다고 하였다. 지면 반발력의 감소는 추진력 감소로 이어지기 때문에 보폭 감소에 의한 전체 보행 빈도수 증가의 원인이 된다. Devita와 Stribling(1990)도 후방보행 시 지면 반발력이 14%정도 감소하며 보폭은 연구 대상자 평균 2.1m로 전방보행의 보폭 2.3m에 비하여 낮음을 확인하였다. 그러므로 같은 속도에서 훈련을 실시한다면 보다 많은 보행 빈도수가 필요한 후방보행이 슬관절 신근과 굴근의 근력과 근지구력 증가에 더욱 효과적일 것이다. 또한 Devita와 Stribling(1990)은 입각기 동안의 체중 지지에 대한 고관절, 슬관절, 족관절의 지지 비율을 분석한 결과 전방보행 시 족관절이 58% 비율을 차지한 반면, 후방보행 시 슬관절이 74%를 차지한다고 보고하였다. 이 연구 결과로 미루어 볼 때, 전방보행 시 족관절



*p < .05, **p < .01

그림 3. 내측광근, 외측광근 표면 근전도 RMS

주변 근육의 주된 사용이 예상되며, 후방보행 시 슬관절 주변 근육의 주된 사용이 예상된다. 따라서 후방보행은 전방보행에 비하여 보행 빈도수 증가 및 입각기 시 슬관절 주변 근육의 주된 사용에 의하여 높은 하지의 근력 증가 효과를 기대할 수 있다. 본 연구는 후방보행의 운동학적 특성에 관한 선행 연구와 달리 두 보행 속도를 최대 산소섭취량의 65%에 해당하는 심박수를 기준으로 훈련 속도를 달리 하였다. 본 연구에 참여한 대상자들의 65% 최대 산소 섭취량에 해당하는 훈련 속도는 후방보행 훈련 그룹의 경우 시속 약 3.8km~4.5km로 설정되었으며 전방보행 훈련 그룹의 경우에는 약 4.8km~6km로 설정되었다. 이와 같이 훈련 속도를 심박수 기준으로 설정하고 6주 훈련을 실시한 결과 체중 1kg당 슬관절 신근과 굴근의 등속성 피크토크는 6주 동안의 훈련 후 각각 4.6%, 13.9%씩 증가하여 유의한 근력 증가 효과를 보였다. 이 결과는 20대 여성을 대상으로 10° 경사진 트레드밀에서 8주 훈련 후 슬관절 신근과 굴근의 60°/sec 등속성 피크토크가 각각 3.61%, 10% 증가했다는 조현정(2008)의 연구 결과와 일치하였으며, 경사도 0° 트레드밀에서 정상 여성을 대상으로 6주 훈련 후 60°/sec에서 슬관절 굴근의 등속성 피크토크가 7.95% ($p=0.006$)로 유의한 근력 증가를 보였다는 Terblanche 등(2005)의 연구 결과와도 일치하였다. 그러나 Terblanche 등은 슬관절 신근의 등속성 피크토크가 후방보행 훈련 후 약 1.79%로 유의한 증가를 보이지 않았다고 하여 본 연구 결과와 일치하지 않았다. 슬관절 신근이 후방보행 훈련 후 유의한 근력 증가를 보이지 못한 것에 대하여 연구자는 주 3회, 6주의 훈련 기간이 다소 짧았기 때문일 것이라고 하였으나 본 연구에서는 6주 동안 10° 경사진 트레드밀 후방보행 훈련을 실시한 후 체중 당 근력(Nm/kg)으로 표준화하여 분석한 결과, 유의한 슬관절 신근력 증가를 확인하였다. 후방보행 훈련 후, 슬관절 신근보다 굴근의 등속성 근력 증가율이 컸던 본 연구 결과는 조현정(2008), Terblanche 등(2005)의 연구와 유사한 결과를 보였다. 선행 연구와 본 연구에서 슬관절 굴근에 비해 신근의 근력 증가율이 낮았던 이유는 정상 상태에서 슬관절 신근이 굴근보다 큰 근력을 가지고 있기 때문에(Greig, 2008) 근력 증가가 제한적이었던 것으로 생각된다. 또한 근 섬유 구성 상 슬관절 신근은 지근(slow twitch) 섬유가 많은 반면 슬관절 굴근은 속근(fast twitch) 섬유가 많은 특성이 있기 때문에(Barclay, 1996) 상대적으로 슬관절 굴근의 근력 증가가 컸던 것으로 생각된다. 한편, 전방보행 훈련 후 슬관절 등속성 피크토크는 유의한 증가를 보이지 않았으며 그룹 간 유의한 차이는 보이지 않았으나 후방보행 훈련 그룹에서 증가하는 경향을 보였다.

슬관절 굴근과 신근의 등속성 총 일량(J/kg)은 하지의 근력을 오랫동안 유지할 수 있는 근 지구력을 측정하는 중요한 지표가 될 수 있다(Oliveira et al., 2008). 지금까지의 후방보

행 훈련과 슬관절 신근과 굴근의 근력에 관한 선행 연구들은 등속성 피크토크의 측정(조현정, 2008; Threlkeld et al., 1989)에 비하여 등속성 총 일량 측정(Terblanche et al., 2005)에는 상당히 낮은 관심을 보였다. 또한 Terblanche 등(2005)은 60°/sec에서 총 일량을 측정하였으나, 하지의 근 지구력을 평가할 경우에는 180°/sec 이상의 고속 운동에서 측정하는 것이 일반적이다(Oliveira et al., 2008). 특히, 후방보행 훈련은 1회 운동 시 20분 이상 소요되는 유산소성 근력 운동임을 고려할 때 하지 근력보다는 근 지구력을 더욱 높일 것으로 기대된다. 따라서 본 연구는 1회 운동 시간 20분, 주 3회, 6주 동안 총 18회에 걸쳐 후방보행 훈련을 실시한 후의 등속성 근 지구력을 측정하여 분석한 결과 체중 1kg당 슬관절의 등속성 총 일량(J/kg)은 훈련 후 17.34% 증가하여 통계적으로 유의한 증가를 보였다. Terblanche 등(2005)은 60°/sec에서 슬관절 신근과 굴근의 총 일량을 분석한 결과 훈련 후 슬관절 신근 총 일량은 4.76% 증가하였으나 통계적인 유의성을 보이지는 않았으며 굴근 총 일량은 8.31%로 유의한 증가를 보였다고 하였다. 본 연구는 180°/sec에서 슬관절 신근과 굴근의 총 일량을 함께 측정하였기 때문에 어느 근육에서 주된 일량의 증가를 보였는지 단정할 수는 없으나, 상대적으로 지근 섬유가 풍부한 슬관절 신근의 근 지구력 증가 및 속근 섬유가 풍부한 슬관절 굴근의 근력 증가에 의해 등속성 총 일량이 증가되었을 것으로 생각된다. 한편, 전방보행 훈련 그룹은 훈련 전과 후의 등속성 총 일량에 유의한 증가를 보이지 않았으며, 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹은 훈련 후 등속성 총 일량에서 그룹 간 유의한 차이를 보였다. 경사면 보행 시 운동학적 특성에 관한 Lay 등(2007)의 연구에서 21° 경사면 전방보행보다 후방보행에서 입각기 시간이 증가하였고, 입각기 시 슬관절 신근의 EMG 활성이 증가하였다는 연구 결과는 전방보행에 비하여 후방보행 훈련 후 슬관절 등속성 근 지구력 증가에 그룹 간 유의한 차이를 보인 본 연구 결과를 지지해 준다. 그러므로 후방보행 훈련이 전방보행 훈련보다 근 지구력 증가에 더욱 효과적이며 슬관절 등속성 최대 근력 증가율보다 근 지구력 증가율이 더욱 높았다. 근 지구력의 증가는 보행 운동 중 슬관절 연부조직에 가해지는 외력을 근육이 꾸준히 흡수해줄 수 있기 때문에 장시간 안정적으로 운동을 수행하는 데 반드시 필요한 요소이다(Greig, 2008).

6주 동안의 후방보행 훈련 전과 후의 내측광근 근력 변화는 슬관절 30° 굴곡자세에서 등척성 최대 수축을 하는 동안 측정된 1초당 표면 근전도 RMS(a.u./sec)를 이용하였다. RMS는 근력 증가와 함께 나란히 증가하는 양상을 보이기 때문에 정적 근력 증가의 중요한 지표로 사용된다(Gerdle et al., 1998). 본 연구는 내측광근 근력 증가를 위하여 후방보행 훈련 트레드밀 경사도를 10°로 설정하였다. 10° 경사진 트레드밀

후방보행은 평지 후방보행에 비하여 슬관절 신근의 운동 범위가 약 31°에서 42°로 증가하며 내측광근의 EMG가 최대에 이르기 때문이다(Cipriani et al., 1995). 6주 동안의 후방보행 훈련 후 등척성 최대 수축 시 내측광근 RMS를 측정된 결과, 내측광근은 훈련 전에 비하여 약 48.5%로 유의한 증가를 보였다. Barak 등(2005)은 55명의 체육전공 여학생을 대상으로 슬관절 등속성 근력 훈련 범위를 30°에서 60°로 제한한 후 주 3회, 6주 동안 훈련을 실시한 결과 슬관절 45° 굴곡자세에서 등척성 최대 수축 시 내측광근 EMG가 6.78%로 유의하게 증가하였다고 하였다. Barak 등의 6주 등속성 근력 훈련 결과와 본 연구의 결과를 간접적으로 비교할 경우, 후방보행 훈련은 내측광근 근력 증가 효과가 높았음은 물론, 유산소 운동 등의 다양한 훈련 효과를 동시에 얻을 수 있음을 알 수 있다. 한편 전방보행 훈련 그룹은 훈련 후 내측광근 RMS가 훈련 후 25.2%(P=.05)로 크게 증가하는 경향을 보였으나 유의하지는 않았으며 후방보행 훈련 그룹과 전방보행 훈련 그룹 간 유의한 차이를 보였다. 따라서 심박수를 기준으로 운동 강도를 동일하게 적용하기 위해 훈련 속도를 다르게 설정하더라도 후방보행 훈련이 전방보행에 비하여 내측광근의 근력 증가에 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 또한 후방보행 훈련은 슬관절에 직접적인 손상을 입은 환자는 물론, 장시간 침상 안정을 필요로 하는 환자들의 내측광근 근력 감소에 의한 만성 슬관절 질환 예방 및 재활에 긍정적인 효과를 보일 것으로 사료된다. 그러므로 수중 후방보행 훈련이나 현수 트레드밀 후방보행 훈련 등의 안전한 훈련 환경을 제공한 후 뇌혈관 질환 등을 겪고 있는 환자들을 대상으로 한 추가적인 후방보행 훈련에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 2008년 12월 29일부터 2009년 4월 3일까지 20대 정상 남성을 대상으로 하여 진행되었으며 후방보행 훈련 및 전방보행 훈련 전과 후의 슬관절 등속성 근력과 내측광근 EMG를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬관절 신근과 굴근의 60°/sec 등속성 피크토크는 후방보행 훈련 그룹에서 훈련 후 유의한 증가를 보였으며, 전방보행 훈련 그룹은 훈련 후 증가하는 경향을 보였으나 유의하지는 않았으며, 훈련 후 피크토크는 두 그룹 간 유의한 차이는 보이지 않았으나 후방보행 훈련 그룹에서 더욱 증가하는 경향을 보였다.
2. 슬관절 신근과 굴근의 180°/sec 등속성 총 일량은 후방보행 훈련 그룹에서 훈련 후 유의한 증가를 보였으나 전방보행 훈련 그룹은 훈련 후 증가하는 경향을 보였으나 유의하

지는 않았다. 또한 훈련 후 총 일량은 두 그룹 간 유의한 차이를 보였다.

3. 내측광근 RMS는 후방보행 훈련 그룹에서 훈련 후 유의한 증가를 보였으며 전방보행 훈련 그룹은 훈련 후 증가하는 경향이 컸으나 유의하지는 않았다. 또한 훈련 후 내측광근 RMS는 두 그룹 간 유의한 차이를 보였다.
4. 외측광근 RMS는 후방보행 훈련 그룹 및 전방보행 훈련 그룹 모두에서 훈련 전과 후, 그룹 간 유의한 차이를 보이지 않았다.

참고문헌

1. 조현정. 경사도에 따른 전후방보행 훈련이 하지 근력과 근활성도에 미치는 영향. *고려대학교 석사학위 논문* 2008.
2. 한상완. 경사진 트레드밀에서 전방 걷기와 후방걷기 동안 넵다리 네갈래근 활동성 비교: 표면 근전도 분석. *한국 전문 물리치료 학회지*. 2005;12(1):63-70.
3. Allen DG. Skeletal muscle function. role of ionic changes in fatigue, damage and disease. *Clin Exp Pharmacol*. 2004;31(8):485-493.
4. Barak Y, Ayalon M, Dvir Z. Spectral EMG changes in vastus medialis muscle following short range of motion isokinetic training. *J Electromyography and Kinesiol*. 2005;16(5):403-412.
5. Barclay CJ. Mechanical efficiency and fatigue of fast and slow muscles of the mouse. *J Physiol*. 1996;497(3):781-794.
6. Bentley DJ, Smith PA, Davie AJ, et al. Muscle activation of the knee extensors following high intensity endurance exercise in cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 2000;81(4):297-302.
7. Chen HY, Liao JJ, Wang CL, et al. A novel method for measuring electromechanical delay of the vastus medialis obliquus and vastus lateralis. *Ultrasound Med Biol*. 2009;35(1):14-20.
8. Cipriani DJ, Armstrong CW, Gaul S. Backward walking at three levels of treadmill inclination: an electromyographic and kinematic analysis. *Journal of Sports Phys Ther*. 1995;22(3):95-102.
9. Devita P, Stribling J. Lower extremity joint kinetics and energetics during backward running. *American college of Sports Medicine*. 1990;23(5):602-610.
10. Farahmand F, Senavongse W, Amis AA. Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related instability of the patellofemoral joint.

- J Orthop Res.* 1998;16(1):136-143.
11. Flynn TW, Soutas-Little RW. Patellofemoral joint compressive forces during forward and backward running. *Med Sci sports Exerc.* 1995;21(5):277-282.
 12. Fox TA. Dysplasia of the quadriceps mechanism: hypoplasia of the vastus medialis muscle as related to the hypermobile patella syndrome. *Surg Clin North Am.* 1975;55(1):199-226.
 13. Gerdle B, Karlsson S, Crenshaw AG, et al. The relationship between EMG and muscle morphology throughout sustained static knee extension at two submaximal force levels. *Acta Physiol Scand.* 1998;160: 341-351.
 14. Greig M. The influence of soccer-specific fatigue on peak isokinetic torque production of the knee flexors and extensors. *Am J Sports Med.* 2008;36(7):1403-1409.
 15. Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, et al. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med.* 2001;35(1):43-47.
 16. Huberti HH, Hayes WC. Patellofemoral contact pressures. The influence of Q angle and tendofemoral contact. *Journal of Bone and Joint Surg.* 1984;6(5):715-724.
 17. Hungerford DS, Barry M. Biomechanics of the patellofemoral joint. *Clin Othop.* 1979;144:9-15.
 18. Lattier G, Millet GY, Martin A, et al. Fatigue and recovery after high-intensity exercise part I: neuromuscular fatigue. *Int J Sports Med.* 2004;25(6):450-456.
 19. Lay AN, Hass CJ, Gregor RJ. The effects of sloped surfaces on locomotion: Backward walking as a perturbation. *Jour of Biomechanics.* 2007;40:3050-3055.
 20. Lin YF, Lin JJ, Jan MH, et al. Role of the vastus medialis obliquus in repositioning the patella. *A dynamic computed tomography study.* 2008;36(4):741-746.
 21. Mariani PP, Caruso I. An electromyographic investigation of subluxation of the patella. *J Bone Joint Surg Br.* 1979; 61-B(2):169-71.
 22. Oliveira AD, Caputo F, Gonçalves M, et al. Heavy-intensity aerobic exercise affects the isokinetic torque and functional but not conventional hamstring : quadriceps ratios. *J Electro and Kinesiol.* 2008.
 23. Powers CM. The influence of altered lower extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003; 33(11):639-646.
 24. Sakai N, Luo ZP, Rand JA, et al. The influence of weakness in the vastus medialis oblique muscle on the patellofemoral joint: an in vitro biomechanical study. *Clinical Biomechanics.* 2000;15(5):335-339.
 25. Sauza DR, Gross MT. Comparison of vastus medialis obliquus: vastus lateralis muscle integrated electromyographic ratios between healthy subjects and patients with patellofemoral pain. *Phys Ther.* 1991;71(4): 310-320.
 26. Terblanche E, Page C, Kroff J, et al. The effect of backward locomotion training on the body composition and cardiorespiratory fitness of young women. *Int J Sports Med.* 2005;26:214-219.
 27. Threlkeld AJ, Horn TS, Wojtowicz G, et al. Kinematics, ground reaction force, and muscle balance produced by backward running. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1989; 11(2):56-63.
 28. Winter DA, Pluck N, Yang JF. Backward walking: a simple reversal of forward walking? *J. Mot. Behav.* 1989; 21(3):291-305.

