

동적 근전도를 통한 퇴행성 슬관절염 환자의 보행 분석

인제대학교 의과대학 재활의학교실, 인제대학교 스포츠 재활 연구소¹⁾

임길병 · 이홍재 · 주성주 · 채지원¹⁾

- Abstract -

Dynamic Electromyographic Activities of Lower Extremity Muscles in Patients with Osteoarthritis of the Knees

Kil-Byung Lim, M.D., Hong-Jae Lee, M.D., Sung-Joo Joo, M.D., Ji-Won Chai¹⁾

Department of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Inje University,
Institute of Sports Rehabilitation, Inje University¹⁾

Objective: To investigate the characteristics of electromyographic activities in individuals with knee osteoarthritis using dynamic electromyography (dEMG)

Method: dEMG activities of eight muscles of lower extremities in 15 patients and 16 healthy controls were measured during walking. dEMG activities were divided according to four phases of a gait cycle (Phase 1, heel strike - foot flat; Phase 2, foot flat - toe off; Phase 3, toe off - midswing; Phase 4, midswing - terminal swing). Duration of each phase to duration of one gait cycle (%) and normalized integrated electromyography (NIEMG) of each muscle (%) were compared between patients and controls.

Results: Patients showed longer duration of phase 2 and shorter duration of phase 3 than controls ($p<0.05$). The NIEMGs of vastus medialis and those of peroneus longus during phase 1 were smaller and larger, respectively, in patients than in controls ($p<0.05$). The NIEMGs of tibialis anterior during phase 3 and those of medial gastrocnemius during phase 4 were larger and smaller, respectively, in patients than in controls ($p<0.05$).

Conclusion: Duration of gait cycle and dEMG activities of the lower extremities of the individuals with knee osteoarthritis were different from those of healthy subjects.

Key Words: Knee osteoarthritis, Dynamic EMG, Gait

서 론

보행이란 두 하지를 반복적으로 번갈아 이용하여 우리 몸을 한 장소에서 다른 장소로 이동하는 행위로 중추 신경계와 말초 신경계의 협력에 의해 206개의 뼈와 수 많은 감각 수용체, 신경 전달계 및 636개의 근육을 조화롭게 움직임으로써 가능한 인간이 가진 가장 복잡

하고 습관적인 무의식적 동작이다. 많은 신경계, 근골격계 질환들이 보행 장애를 초래하여 장애를 발생시키게 되는데 그 중 퇴행성 슬관절염은 관절의 가동을 부드럽게 해주고 충격을 흡수하는 기능을 갖고 있는 관절 연골이 닳아서 발생하는 근골격계 질환 중 하나로 중년 이상의 인구에서 높은 유병률을 가지며 실제로 63세에서 94세의 연령층에서 여자의 34%, 남자의 31%가 방사선학적 변화가 나타나는 것으로 보고 되고 있다.¹⁾ 연

Address reprint requests to **Sung-Joo Joo, M.D.**

Department of RM, Inje University Ilsanpaik Hospital

2240 Daewha Dong, Ilsan Gu, Koyang City, Kyunggi Do, 411-706 Korea

TEL : 82-31-910-7440, FAX : 82-31-919-7746, E-mail : zzuchu@ilsanpaik.ac.kr

* 본 연구는 2003년도 인제대학교 부설연구소 연구비 지원에 의한

골이 소실됨에 따라 관절을 움직일 때 뼈가 직접 마찰을 일으키고 이로 인하여 이차적인 변화로 골 돌기가 생성되어 동통과 관절 운동 시 불편함이 따르게 된다. 또한 통증으로 관절 주위의 근육을 사용하지 않음으로써 근육의 위축 및 근력 약화가 동반된다. 이러한 변화는 보행에 영향을 미쳐 실제로 정상 성인에 비해 퇴행성 슬관절염 환자의 보행 속도, 활보장, 분속수, 슬관절의 운동범위, 슬관절의 각속도 등은 감소된다.²

보행 분석은 1836년 Weber와 Weber³에 의하여 연속적인 사진 촬영과 관찰적인 연구가 시작된 이후로 Schwartz에 의해 보행 동작의 기전이 분석되었고, 1981년에 이르러 Inman과 Ralston⁴에 의하여 보행의 체계적인 분석과 관찰이 본격적으로 시행되었다. 그 후 보행 분석의 연구는 괄목할 만큼 발전하여 현재는 삼차원 보행분석기를 사용하여 시행되고 있으며 재활의학, 정형외과학, 스포츠 및 산업의학 분야에서도 활발한 연구가 진행되고 있다. 보행 분석은 운동형상학적 분석(kinematic analysis), 운동역학적 분석(kinetic analysis), 동적근전도(dynamic electromyography), 그리고 에너지 소비량 측정(energy expenditure measurement) 등의 여러 측면에서 이루어지며,⁵ 어떠한 이유로 관절의 가동성과 근육의 활동에 이상이 생겨 발생하게 되는 병적 보행을 분석하여 치료에 응용하기 위한 중요한 정보를 제공한다. 이에 본 연구는 보행 분석의 구성요소 중 하나인 동적 근전도를 이용하여 퇴행성 슬관절염 환자의 보행 특징을 알아보고 향후 치료 대책과 치료 효과 판정을 위한 기초를 마련하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 연구대상

인제대학교 일산백병원 재활의학과에서 진료 받은 퇴행성 슬관절염 여성 환자 중 이전에 전고관절 인공관절 치환술이나 하지의 골절을 입은 과거력이 있는 사람, 류마티스 혹은 다른 형태의 관절염이 의심되는 환자와 슬관절부 이외의 관절에 관절염 증세가 있는 환자를 제외한 15명을 환자군으로, 연령이 비슷하고 슬관절부나 그 이외의 관절에 관절염 증세의 과거력이 없는 여성 16명을 대조군으로 하여 2002년 2월부터 2002년 7월까지 비디오 도움 하에 보행검사를 시행하였다.

2. 연구방법

측정 오류의 방지를 위하여 사포를 이용하여 내측 광근, 대퇴이두근, 내측 비복근, 전경골근, 장비골근의

전극 부착 지점의 이물질을 제거하고 알콜로 깨끗이 닦았다. 근전도 검사 기구인 Megawin사에서 제공하는 전극 부착에 대한 소프트웨어를 모니터링하면서 피험자의 각 근육의 기시점과 정지점의 중간 부위에 가장 잘 발달된 부위의 근육에 세 개의 전극 중 두 개를 부착하고 나머지 한 개의 전극은 측정 근육에서 떨어진 근육이 적은 관절 부위에 부착하였다. 보행에 대한 근전도 자료의 동조화를 위해 디지털 비디오 카메라를 설치한 후 피검자가 3 보행 주기를 보통의 보폭과 속도로 걷는 동안 근전도 신호를 수집하고 보행을 촬영하였다(Fig. 1). 근전도의 주파수 범위는 20-500Hz 사이로 설정하였고, 소음 제거율을 110dB 이상으로 설정하였다. 증폭된 아날로그 근전도 신호는 아날로그-디지털 변환기에 의하여 1초에 1,024개의 디지털 신호로 변환시켜 1,000Hz의 비율로 샘플링하여 기록하였다. 보행 동작 시 각 근육의 전기적 신호는 근육에 부착된 표면 전극을 통하여 preamplifier cable에 의해 증폭되었고, ME 3000 P8 Measurement Unit이 전기적 신호를 획득하였으며, 획득된 신호는 optical interface를 통해 serial adapter card를 거쳐 개인용 컴퓨터에 저장되었다. 또 보행 시 촬영된 영상은 marvel connector box를 거쳐 Matrox Marvel G200 Display Adapter를 통해 컴퓨터에 저장되어 Megawin PC software에 의해 근전도 자료와 함께 비디오 영상이 동조되었다. 동조된 영상을 재현하여 보행 주기를 우하지 접지에서 우하지 중립 입각까지를 제 1기, 우하지 중립 입각에서 우하지 들림까지를 제 2기, 우하지 들림에서 우하지 중간 유각까지를 제 3기, 우하지 중간 유각에서 우하지 접지까지를 제 4기의 4단계로 나누고 각 단계별 소요 시간을 구하였다. 또 Megawin PC software program을 통해 각 보행 단계에 따른 각 근육



Fig. 1. Surface EMG recording of the 6 muscles in the right lower limb is conducted with synchronization of video-assisted recording of walking.

의 평균 적분 근전도 값을 산출하였다(Fig. 2). 이상과 같은 방법으로 3 보행 주기에 대한 평균값을 구하였다. 환자군과 대조군의 비교를 위해 보행 단계별 소요시간은 1 보행 주기의 소요시간에 대한 백분율로 환산하였고, 보행 단계별 각 근육의 표준 적분 근전도 값은 보행 단계별 8개 근육의 평균 적분 근전도 값의 합에 대한 각 근육의 평균 적분 근전도 값의 백분율로 환산하였다.

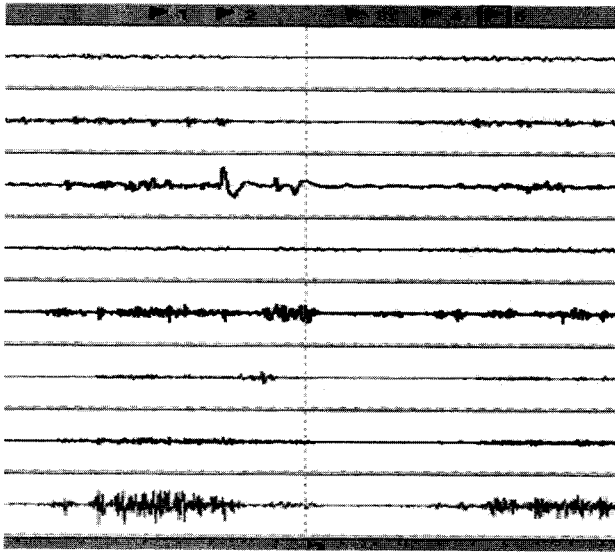


Fig. 2. Raw surface EMG tracing from the 6 muscles in the right lower limb during walking is divided into 4 phases according to gait cycle marked by 5 flags (1st; heel strike, 2nd; foot flat, 3rd; toe off, 4th; midswing, 5th; heel strike).

3. 분석 방법

통계분석은 Window용 SPSS 10.0 version을 이용하였으며 환자군과 대조군의 보행 단계별 소요시간의 백분율과 보행 단계별 8개 근육의 표준 적분 근전도 값을 independent t-test를 사용하여 비교 분석하였다.

결 과

1. 연구대상의 일반적 특성

환자군의 평균 연령은 62.0세, 평균 체중은 62.6 kg, 평균 신장은 155.9 cm이었으며 대조군의 평균 연령은 58.9세, 평균 체중은 57.3 kg, 평균 신장은 155.5 cm이었다(Table 1).

2. 보행 단계별 소요시간의 비교

제 1기는 환자군에서 19.6%, 대조군은 28.4%로 환자군에서 짧은 경향을 보였으나 ($p=0.056$), 통계적으로 유의하지는 않았다. 제 2기는 환자군에서 40.2%, 대조군에서 22.7%로 환자군에서 의미있게 길었다 ($p<0.05$). 제 3기는 환자군에서 18.0%, 대조군에서 27.7%로 환자군에서 의미있게 짧았으며($p<0.05$), 제 4기에서는 환자군과 대조군의 차이를 보이지 않았다. 유각기 시간비와 입각기 시간비는 환자군과 대조군 사이에 차이를 보이지 않았다(Table 2).

Table 1. General Characteristics of Subjects

	Patient group (n=15)	Control group (n=16)
Age (yr)	62.0±4.5	58.9±7.9
Height (cm)	155.9±5.9	155.5±5.6
Weight (kg)	62.6±7.4	57.3±7.1

Values are mean ± standard deviation.

Table 2. Comparison of Relative Duration of Each Phase between Patient Group and Control Group (%)

	Patient group (n=15)	Control group (n=16)
Phase 1	19.6±8.1	28.4±19.0
Phase 2	40.2±6.7*	22.7±13.7
Phase 3	18.0±5.8*	27.7±15.7
Phase 4	23.3±7.3	24.3±7.4
Stance phase	59.6±9.7	58.2±5.8
Swing phase	40.4±9.7	41.7±5.8

Values are mean ± standard deviation. * $p<0.05$

3. 보행 단계별 각 근육의 표준 적분 근전도 값의 비교

제 1기에서 내측 광근의 표준 적분 근전도 값은 환자군이 9.7%, 대조군이 28.1%로 환자군이 낮았고(Fig. 3, $p < 0.05$), 장비골근의 표준 적분 근전도 값은 환자군이 24.6%, 대조군이 8.2%로 환자군이 높았다(Fig. 4, $p < 0.05$). 제 3기에서 전경골근의 표준 적분 근전도 값은 환자군이 41.3%, 대조군이 16.9%로 환자군이 높았으며(Fig. 5, $p < 0.05$), 제 4기에서 내측 비복근의 표준 적분 근전도 값은 환자군이 7.2%, 대조군이 14%로 환자군이 낮았다(Fig. 6, $p < 0.05$). 구간별 외측 광근, 장내전근, 대퇴이두근, 외측 비복근의 표준 적분 근전도 값은 환자군과 대조군사이에 통계적 차이를 보이지 않았다(Fig. 7,8,9,10).

고 찰

동적 근전도는 표면 전극 혹은 침전극을 사용할 수 있는데 침전극의 경우 특이도가 높고 신호 강도가 높은 특성을 가지나 관혈적이라는 단점이 있어 일부 선택된 환자에서만 시행되고 있다.⁶ 본 연구에서는 다루기 용이

하고 안전하며 비관혈적인 표면 전극을 사용하였다. 표면 전극은 간섭혼선(cross talk), 잡음 등의 문제가 있고 피험자의 근육량과 피하지방, 신체 크기나 근육 길이 등의 차이로 인해 연구 결과에 영향을 줄 수 있으며, 매 측정마다 동일한 조건에서 동일인을 대상으로 측정했음에도 불구하고 측정값이 일정하게 산출되지 않는 단점이 있지만 근골격계 질환의 평가와 치료에 널리 이용되고 있다.⁷ 본 연구에서는 보행시 측정된 모든 근육의 평균 적분 근전도값의 합을 100%로 하여 한 근육의 적분 근전도 값을 백분율로 표준화한 표준 적분 근전도 값으로 정상 성인과 환자군의 보행시 하지 근육의 활성도를 비교하였다.

퇴행성 슬관절염은 서서히 관절 연골 및 연골하골을 침범하는 질환으로 초기에는 증상을 보이지 않지만 후기에는 통증, 변형, 관절 가동 범위 제한 등의 증상이 나타나며 슬관절 주위근육의 약화, 고유수용감각 기능의 저하가 동반되어 나타나게 된다. 관절 내 신경은 실제로 관절 연골에는 분포되어 있지 않고 관절막, 인대, 골막 등에 분포 되어 있으며 일상적인 활동에 활성화되는 저역치 섬유, 무리한 활동 및 유해한 자극에 활성화되는 고역치 섬유, 기계적인 자극에 반응을 보이지 않는 무수초 섬유 등으로 구성되어 있다.⁸ 퇴행성 관

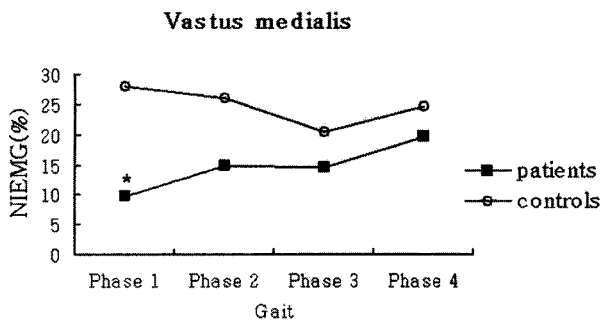


Fig. 3. Comparison of NIEMG (%) of the vastus medialis between patient group and control group according to the phase of gait cycle. * $p < 0.05$

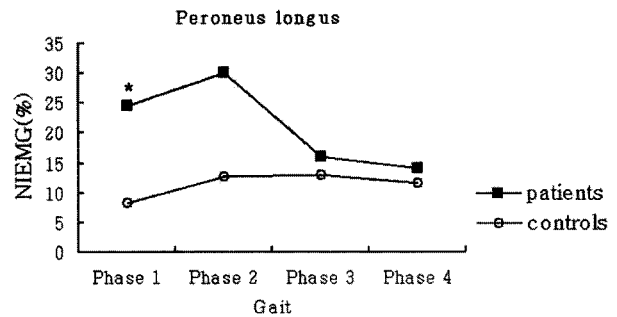


Fig. 4. Comparison of NIEMG (%) of the peroneus longus between patient group and control group according to the phase of gait cycle. * $p < 0.05$

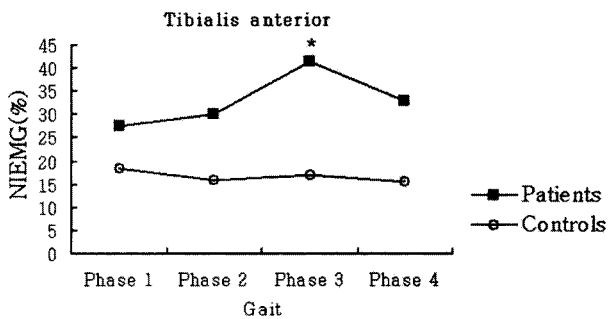


Fig. 5. Comparison of NIEMG (%) of the tibialis anterior between patient group and control group according to the phase of gait cycle. * $p < 0.05$

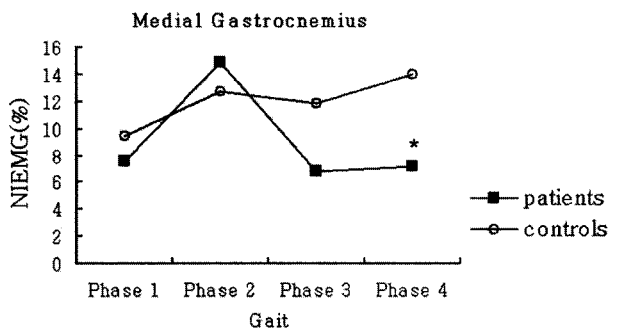


Fig. 6. Comparison of NIEMG (%) of the medial gastrocnemius between patient group and control group according to the phase of gait cycle. * $p < 0.05$

절염이 진행함에 따라 기계적인 자극에 반응을 보이는 저역치 섬유와 고역치 섬유의 역치가 낮아지고 반응부가 넓어짐으로써 체중 부하시에 통증을 느끼게 된다. 퇴행성 슬관절염 환자는 이러한 체중 부하시의 통증을 줄이기 위해 보행 양상의 변화가 생기게 된다. Radin 등의 연구에서 슬관절 통증을 보인 환자는 발 뒤축 접지 이후 빠른 체중이동을 보이는데 이는 통증을 피하기 위하여 발생하는 보상기전이라고 하였다. 본 연구에서도 발 뒤축 접지부터 중간 입각 시점까지의 시간비가 환자군에서 19.6%, 대조군은 28.4%이었다. 이는 슬관절염 환자의 통증 회피의 보상기전으로 생각된다. 퇴행성 슬관절염은 주위 근육의 약화를 동반하게 되는데 Messier 등¹⁰의 연구에 따르면 정상인에 비해 슬관절염 환자의 우성하지는 22%, 비우성하지는 39%의 근력약화를 보인다고 하였다. 이와 유사하게 Fisher 등¹¹의 연구에서도 33% 미만의 근력약화를 보인다고 보고 하였다. 특히 대퇴사두근의 근력은 Slemenda 등¹²의 연구에 따르면 정상인에 비해 20~30% 감소된다고 보고하였다. 대퇴사두근은 보행 분석상 체중 부하에서 슬관절 굴곡을 제한함으로써 발뒤꿈치에 가해지는 충격을 흡수하는 중요한 기능을 한다. 이러한 대퇴사두근의 약화는 체중부하에 급격한 슬관절 굴곡을 제한 및 조절

하는 기능을 상실하고, 이를 보상하려는 기전으로 슬관절을 과신전시켜 정상적인 보행 속도 및 지구력을 유지하려고 한다. 또한 슬관절 내 병변으로 동통이 심한 경우, 관절 운동시 발생하는 전단력을 보상하기 위해, 체중 부하에 정상적인 슬관절 굴곡이 일어나지 않는다. 따라서 퇴행성 슬관절염 환자에서는 슬관절 동통과 함께 슬관절 주위 근육, 특히 대퇴사두근이 약화되기 때문에 체중부하에 정상적인 슬관절 굴곡이 일어나지 않을 수 있다. 이는 본 연구에서의 대퇴 사두근 중 내측 광근의 표준 적분 근전도 값이 체중 부하에 내측 광근의 환자군이 9.7%, 대조군이 28.1%로 환자군에서 낮은 값을 보인 결과와 깊은 관련이 있는 것으로 생각된다. 하지 들림에서 하지 중간 유각까지 전경골근의 표준 적분 근전도 값은 환자군이 41.3%, 대조군이 16.9%로 환자군이 높은 것으로 나타났는데 이는 퇴행성 슬관절염 환자에서 체중 부하의 정상적인 슬관절 굴곡이 이루어지지 않아 유각기의 발끝립을 보상하기 위해 나타난 결과로 생각된다. 퇴행성 슬관절염이 진행함에 따라 흔히 관찰되는 슬관절의 내번 변형은 슬관절을 불안정하게 하므로 슬관절의 외측 근육의 활성도와 연부 조직의 긴장도가 증가됨으로써 슬관절의 안정성이 유지된다.¹³ 이와 같은 보상기전의 결과로 본 연구에서

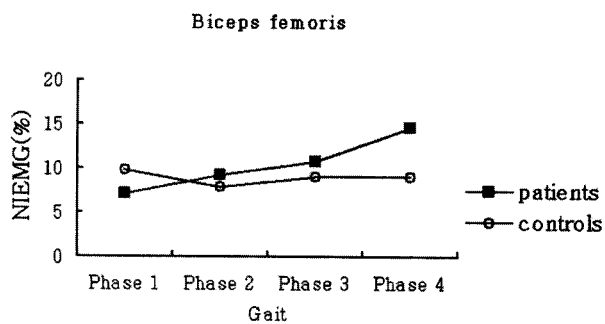


Fig. 7. Comparison of NIEMG (%) of the biceps femoris between patient group and control group according to the phase of gait cycle.

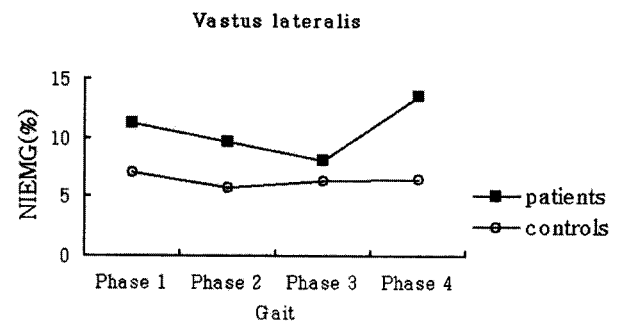


Fig. 8. Comparison of NIEMG (%) of the vastus lateralis between patient group and control group according to the phase of gait cycle.

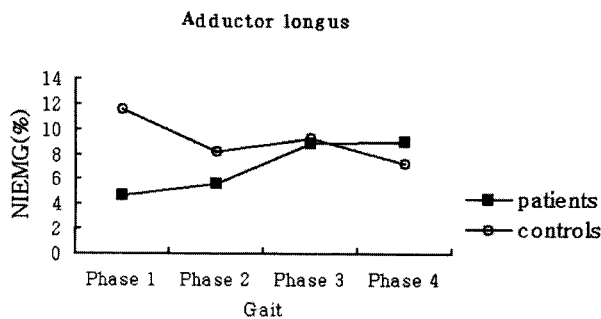


Fig. 9. Comparison of NIEMG (%) of the adductor longus between patient group and control group according to the phase of gait cycle.

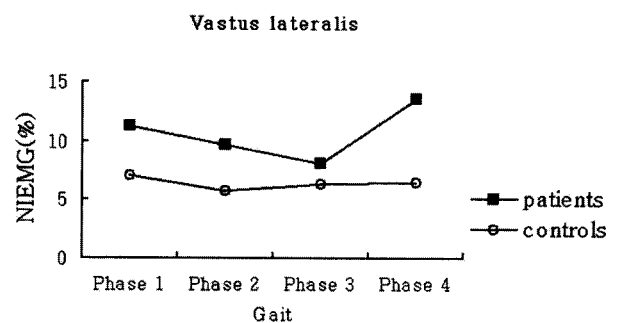


Fig. 10. Comparison of NIEMG (%) of the lateral gastrocnemius between patient group and control group according to the phase of gait cycle.

도 하지 접지에서 우하지 중립 입각까지 장비골근의 표준 적분 근전도 값이 환자군이 24.6%, 대조군이 8.2%로 환자군에서 높게 나타났다. 한편 Stauffer 등¹⁴은 고유수용감각기능의 저하가 퇴행성 슬관절염 환자의 병적 보행의 원인 중 하나라고 하였다. 고유수용감각은 근육, 인대, 피막, 반월상 연골, 피부 등의 기계수용체로부터 정보를 받아 여러 가지 반사 반응에 관여하며 관절의 동적 안정성을 유지하는데 중요한 역할을 한다.¹⁵⁻¹⁷ Skinner 등¹⁸에 따르면 슬관절의 고유수용감각기능은 연령에 따라 감소되어 슬관절의 불현성 퇴행성 변화의 표지자가 될 수 있다고 하였다. 이상과 같이 통증 회피, 근력 약화, 슬관절 변형, 고유수용감각기능의 저하 등의 여러 가지 요인들로 인해 퇴행성 슬관절염 환자의 보행에 변화가 생기는 것으로 생각된다. 이러한 변화는 퇴행성 슬관절염 환자의 보행뿐만 아니라 균형능력의 저하를 유발하기도 한다.^{19,20} Guccione 등²¹의 연구에 의하면 퇴행성 관절염은 보행 및 일상생활 동작 수행에 미치는 영향이 커서 노령층 인구에 있어 심혈관계질환 및 다른 내과적 질환으로 인한 일상생활 동작의 장애 위험보다 크다고 하였다.

나 등²²은 80명의 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 quad-setting exercise, squatting exercise, 등속성 운동을 시행한 결과 대퇴 사두근과 슬와부 근육의 근력이 20.1%, 7.2%의 증가를 보였고 특히 대퇴사두근의 지구력은 8.5%의 증가를 보였다고 하였다. 또 이러한 변화는 실내 보행 및 계단 오르기 면의 기능 수행 능력의 향상과 통증 경감의 효과로 나타났다고 하였다. Peterson 등²³은 보행 프로그램을 통해 퇴행성 슬관절염 환자의 보행거리가 15%, 활보장이 9.1% 증가하였다고 보고하였으며, Fisher 등²⁴은 3개월간의 운동치료를 포함한 물리치료 프로그램으로 계단 오르기, 의자에서 일어나기, 50 ft 빨리 걷기에서 의미 있는 개선이 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구를 바탕으로 퇴행성 슬관절염 환자의 운동치료 후 보행시 동적 근전도 활성도의 변화에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각되며 이러한 연구는 향후 퇴행성 슬관절염의 치료 대책 및 치료효과 판정을 위한 기초가 될 것으로 생각된다.

결 론

슬관절부에 관절염 증세가 있는 15명을 환자군으로, 연령이 비슷하고 슬관절부나 그 이외의 관절에 관절염 증세를 호소한 과거력이 없는 여성 16명을 대조군으로 하여 2002년 2월부터 2002년 7월까지 비디오 동조화 동적 근전도를 통한 보행검사를 시행한 결과 보행 단계별 소요시간이 두 그룹간의 차이를 보였고 통증 회피, 근력 약화와 슬관절 변형 등에 대한 보상기전으로 환자

군의 내측 광근, 장비골근, 전경골근, 내측 비복근의 표준 적분 근전도 값이 대조군과 차이를 보였다. 이를 바탕으로 앞으로 퇴행성 슬관절염 환자의 운동치료 후 보행시 동적 근전도 활성도의 변화에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각되며 이러한 연구는 향후 퇴행성 슬관절염의 치료 대책 및 치료효과 판정을 위한 기초가 될 것으로 기대한다.

참고문헌

1. Felson DT, Naimark A, Anderson J, Kazis L, Castelli W, Meenan RF: The prevalence of knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham Osteoarthritis Study. *Arthritis Rheum* 1987; 30: 914-918.
2. Al-Zahrani KS, Bakheit AM: A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. *Disabil Rehabil* 2002; 24: 275-280.
3. Weber W, Weber E: *Mechanik du Menschlichen*. Göttingen, 1836, pp 75-95.
4. Inman VT, Ralston HJ: *Human walking*, 4th ed, Philadelphia: Williams & Wilkins, 1981, pp 21-61.
5. Perry J: *Gait analysis: normal and pathological function*, Thorofare, NJ: Slack, 1992, pp 352-411.
6. Shiavi R : Electromyographic patterns in adult locomotion: a comprehensive review. *J Rehabil Res Dev* 1985; 22: 85-98.
7. Cram JR, Kasman GS, Holtz J: *Introduction to surface electromyography*, 1st ed, Maryland: Aspen, 1993, pp5-7.
8. Pinals RS: Mechanisms of joint destruction, pain and disability in osteoarthritis. *Drugs* 1996; 52 Suppl 3:14-20.
9. Radin EL, Yang KH, Riegger C, Kish VL, O' Connor JJ: Relationship between lower limb dynamics and knee joint pain. *J Orthop Res* 1991; 9: 398-405.
10. Messier SP, Loeser RF, Hoover JL, Semble EL, Wise CM: Osteoarthritis of the knee: effects on gait, strength, and flexibility. *Arch Phys Med Rehabil* 1992; 73: 29-36.
11. Fisher NM, Pendergast DR, Gresham GE, Calkins E: Muscle rehabilitation: its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 1991; 72: 367-374.
12. Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, Mazucca S, Braunstein EM, Katz BP, Wolinsky FD: Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. *Ann Intern Med* 1997; 127: 97-104.
13. Schnitzer TJ, Popovich JM, Andersson GB, Andriacchi TP: Effect of piroxicam on gait in patients with osteoarthritis of the knee. *Arthritis Rheum* 1993; 36: 1207-

- 1213.
14. Stauffer RN, Chao EY, Gyory AN: Biomechanical gait analysis of the diseased knee joint. *Clin Orthop* 1977; 126: 246-255.
 15. Jerosch J, Prymka M: Proprioception and joint stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996; 4: 171-179.
 16. Johansson H, Sjolander P. Neurophysiology of joints. In: Wright V, Radin E, editors. *Mechanics of human joints: physiology, pathophysiology, and treatment*, New York: Dekker, 1993, pp 178-181.
 17. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, Fu FH: The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med* 1997; 25: 130-137.
 18. Skinner HB, Barrack RL, Cook SD: Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop* 1984; 184: 208-211.
 19. Hinman RS, Bennell KL, Metcalf BR, Crossley KM: Balance impairments in individuals with symptomatic knee osteoarthritis: a comparison with matched controls using clinical tests. *Rheumatology* 2002; 41: 1388-1394.
 20. Messier SP, Glasser JL, Ettinger WH Jr, Craven TE, Miller ME: Declines in strength and balance in older adults with chronic knee pain: a 30-month longitudinal, observational study. *Arthritis Rheum* 2002; 47: 141-148.
 21. Guccione AA, Felson DT, Anderson JJ, Anthony JM, Zhang Y, Wilson PW, et al: The effects of specific medical conditions on the functional limitations of elders in the Framingham Study. *Am J Public Health* 1994; 84:351-358.
 22. 나영무, 석 현, 박윤길, 서정훈, 성연재, 박종률, 등: 슬관절 골관절염 환자에서 운동치료의 효과. *대한재활의학회지* 2000; 24: 966-971.
 23. Peterson MG, Kovar-Toledano PA, Otis JC, Allegrante JP, Mackenzie CR, Gutin B, et al: Effect of a walking program on gait characteristics in patients with osteoarthritis. *Arthritis Care Res* 1993; 6:11-16.
 24. Fisher NM, Pendergast DR, Gresham GE, Calkins E: Muscle rehabilitation: its effect on muscular and functional performance of patients with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 1991; 72: 367-374.