

대퇴신경 손상 환자의 보행분석 : 사례연구

황선홍^{1,2} · 박선우^{1,2} · 손종상^{1,2} · 박정미³ · 권성주³ · 최익선³ · 김영호^{1,2}

¹연세대학교 대학원 의공학과, ²연세의료공학연구원, ³연세대학교 원주외과대학 원주기독병원 재활의학교실

Gait Analysis of a Pediatric-Patient with Femoral Nerve Injury : A Case Study

S. H. Hwang^{1,2}, S. W. Park^{1,2}, J. S. Son^{1,2}, J. M. Park³, S. J. Kwon³, I. S. Choi³ and Y. H. Kim^{1,2}

¹Dept of Biomed. Eng., Yonsei Univ. Graduate School, ²Institute of Medical Eng. in Yonsei Univ.

³Dept of Rehab. Med., Wonju College of Medicine, Yonsei Univ.

(Received December 18, 2010. Accepted February 24, 2011)

Abstract: The femoral nerve innervates the quadriceps muscles and its dermatome supplies anteromedial thigh and medial foot. Paralysis of the quadriceps muscles due to the injury of the femoral nerve results in disability of the knee joint extension and loss of sensory of the thigh. A child could walk independently even though he had injured his femoral nerve severely due to the penetrating wound in the medial thigh. We measured and analyzed his gait performance in order to find the mechanisms that enabled him to walk independently. The child was eleven-year-old boy and he could not extend his knee voluntarily at all during a month after the injury. His gait analysis was performed five times (GA1~GA5) for sixteen months. His temporal-spatial parameters were not significantly different after the GA2 or GA3 test, and significant asymmetry was not observed except the single support time in GA1 results. The Lower limb joint angles in affected side had large differences in GA1 compared with the normal normative patterns. There were little knee joint flexion and extension motion during the stance phase in GA1. The maximum ankle plantar/dorsi flexion angles and the maximum knee extension angles were different from the normal values in the sound side. Asymmetries of the joint angles were analyzed by using the peak values. Significant asymmetries were found in GA1 with seven parameters (ankle: peak planter flexion angle in stance phase, range of motion; ROM, knee: peak flexion angles during both stance and swing phase, ROM, hip: peak extension angle, ROM) while only two parameters (maximum hip extension angle and ROM of hip joint) had significant differences in GA5. The mid-stance valleys were not observed in both right and left sides of vertical ground reaction force (GRF) in the GA1, GA2. The loading response peak was far larger than the terminal stance peak of vertical ground reaction curve in the affected side of the GA3, GA4, GA5. The measured joint moment curves of the GA1, GA2, GA3 had large deviations and all of kinetic results had differences with the normal patterns. EMG signals described an absence of the rectus femoris muscle activity in the GA1 and GA2 (affected side). The EMG signals were detected in the GA3 and GA4 but their patterns were not normal yet, then their normal patterns were detected in the GA5. Through these following gait analysis of a child who had selective injuries on the knee extensor muscles, we could verify the actual functions of the knee extensor muscles during gait, and we also could observe his recovery and asymmetry with quantitative data during his rehabilitation.

Key words: Femoral Nerve Injury, Quadriceps muscle, Gait, Pediatric, Kinematics, Kinetics, Ground reaction force, EMG

Corresponding Author : 김영호
강원도 원주시 흥업면 매지리 234 연세대학교 대학원 의공학과 (220-710)

TEL: +82-33-760-2859 / FAX: +82-33-760-2806

E-mail : younghokim@yonsei.ac.kr

본 연구는 지식경제부(MKE) 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지역산업기술 개발사업과 지식경제부 기술혁신사업(산업원천기술개발사업 :10032029)으로 지원된 연구임.

1. 서 론

대퇴신경(femoral nerve)은 허리근(psoas muscle) 내에 서 L2, L3, L4로부터 일어나 살인대(inguinal ligament) 밑을 통해 내려와 대퇴에서는 대퇴동맥 외측에 위치하고 거

기에서 나뉘어져 많은 가지를 낸다. 이들 가지 중 하나가 복재신경(saphenous nerve)으로, 이는 대퇴혈관들과 동반하여 하지에까지 계속되고 슬관절 안쪽면을 지나 발의 내측과 내측복사(medial malleolus)에 이른다. 이 신경은 장골근(iliacus), 치골근(pectineus), 봉공근(sartorius), 대퇴사두근(quadriceps) 및 장내전근(adductor longus)을 지배하고 피부가지는 대퇴의 앞면, 하지와 발의 내측면에 분포한다.

대퇴신경은 말초신경(peripheral nerve)으로 손상시 손상부 원위쪽인 축삭 말단을 향하여 변성이 일어나는 왈러변성(Wallerian degeneration) 또는 순행변성(anterograde degeneration)이 일어나거나 손상부에서 신경원체로 변성이 일어나는 역행변성(retrograde degeneration)이 나타난다. 역행변성이 일어나고 6시간~5일경에는 축삭의 근위쪽에서 새로 생성된 신경가지가 슈반세포에 의해 땀겨의 띠(Bunger's band)를 형성하여 손상된 말초 신경이 재생된다. 중추신경과는 달리 재생기전을 가진 말초신경은 그 손상의 정도에 따라 몇 가지로 분류된다. 신경손상의 분류는 일반적으로 Seddon의 분류법을 사용하는데, 이것은 기계적 외상(mechanical trauma)의 정도에 따라 신경절단증(neurotmesis), 축삭절단증(axonotmesis), 생리적 신경차단(neuropraxia)로 분류된다. 신경절단증은 신경섬유와 모든 막이 단절되는 손상으로 가장 심한 신경손상이고, 축삭절단증은 신경섬유막과 신경바깥막의 손상 없이 축삭이 차단되는 경우이며, 생리적 신경차단은 신경다발 중 축삭은 존재하며 외전상 신경의 연결은 정상이나 국소적으로 수초발생이 차단되는 상태를 말한다[1,2].

대퇴신경의 손상 원인은 외상(대퇴나 골반의 골절, 관통상 등), 감염이나 신생물 등이 있다. 증상은 대퇴사두근의 마비로 슬관절 신전장애가 나타나며 대퇴부 앞쪽내측 일부분에 감각소실을 나타낸다. 대퇴신경의 운동지배를 받는 대퇴사두근은 보행 중 말기유각기(Terminal-swing)에서부터 활성화되어 초기접지(Initial contact) 직전 슬관절을 신전(knee joint extension)시켜 발을 위치시키는(Limb advancement) 작용을 한다. 이시기에 슬관절 굴곡근인 슬픽근(Hamstring muscle)과 동시수축(co-contraction)하여 슬관절에 안정성을 부여한다. 입각기 하중수용기>Loading response)에는 슬관절이 굴곡, 신전되면서 부하를 경감시키는 충격완화(shock absorption)의 기능을 수행 하는데 대퇴사두근이 중요한 작용을 한다. 또한, 입각기 전체에 걸쳐 안정적인 체중지지(stable weight-bearing)를 위한 역할도 수행한다[3].

대퇴부 관통상으로 인해 대퇴신경에 손상을 입어 슬관절 신전근의 기능이 거의 완전히 소실되었던 아동 환자가 심각한 손상에도 불구하고 독립보행이 가능하였다. 이에 본 연구는 환자의 독립보행을 가능케 한 하지의 보상작용(compensation)과 회복과정을 16개월에 걸친 삼차원 보행분석을 통하여 정량적으로 측정 및 분석하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 피검자

환아는 11세의 남자아기로 2007년 1월 11일 우측 대퇴 안쪽 부위로 나뭇가지가 관통하는 사고를 당하였다(그림 1). 응급실로 내원한 환아는 관통한 이물질(나뭇가지) 제거시술(foreign body removal) 및 괴사조직제거(debridement) 시술만 실시하였고 그 외 특별한 신경외과적 처치는 없었다. 환아는 사고 후 몇 일간 우측 대퇴부에 통증과 함께 부종, 압통 등을 호소하였고, 사고 직후 실시한 운동기능평가(motor function test)에서는 족관절의 관절 운동만 정상이었고 고관절과 슬관절은 통증으로 인하여 평가가 불가능하였다. 사고 한 달 후 2007년 2월 12일 실시한 도수근력평가(MMT)에서는 슬관절 신전근(knee extensor)의 근력이 zero, 슬관절 굴곡근(knee flexor)은 fair+로 평가 되었고 족관절, 고관절의 근력은 good 이상으로 평가 되었다. 이 시기 환아는 물리치료실에서 우측 슬관절 신전근에 전기자극치료(EST)와 우측 하지 근육의 근력강화(strengthening exercise) 운동 치료, 보행 및 균형 훈련(gait and balance training)을 받았다. 사고 직후 한 달 동안 환아는 쪼그려 앉은 자세에서 스스로 일어 설 수 없었고, 의자에 앉은 자세에서 오른쪽 무릎을 전혀 신전 시킬 수 없었다. 그러나 환아는 응급 시술 직후부터 독립보행이 가능하였다.

대퇴신경의 부분축삭손상(Axonotmesis)으로 대퇴직근(RF, Rectus femoris)과 내측광근(VM, Vastus medialis)의 운동기능이 상실된 것으로 예상되는 환아는 사고 후 한 달부터 매달 동작분석 시스템을 이용한 보행분석을 실시하여 하지의 운동기능 회복 과정을 정량적으로 관찰 하였다.



그림 1. 환자의 우측 대퇴부 안쪽을 관통한 이물질의 모습
Fig. 1. Foreign body which is penetrating the medial thigh of patient

2.2 실험장비 및 분석방법

여섯 대의 적외선 카메라(near infra-red camera)로 구성된 VICON 612 시스템(Oxford Metrics)을 이용하여 환아의 삼차원 운동형상학 데이터를 수집하였다. 환아의 전신 피부 표면에는 31개의 역반사(retroreflective) 마커들이 Plug-In-Gait(PIG) 모델(Oxford Metrics)에 따라 부착되었다.

지면 반발력(GRF, Ground Reaction Force)과 힘 모멘트는 실험실 바닥에 설치된 네 개의 힘측정판(2 AMTI force platforms, Watertown, MA, USA, 2 Kistler force platforms, Switzerland)을 이용하여 측정하였다. 또한 환아의 하지 주요 근육들의 근 활성화 분석을 위하여 전경골근(TA, Tibialis Anterior), 비복근(GCM, Gastrocnemius), 대퇴직근(RF, Rectus Femoris), 대퇴이두근(BF, Biceps Femoris)의 피부 표면 위에 근전도 전극을 부착하여(MA 300, Motion Lab., USA) 좌우 총 여덟 개 채널에서 표면 근전도 신호를 측정하였다.

운동형상학 데이터는 100Hz, 지면 반발력과 근전도는 1080Hz의 샘플링률로 측정하였으며 모든 데이터는 삼차원 동작분석 장치인 VICON 시스템을 이용하여 동기화 하여 측정하였다.

측정된 마커 데이터와 지면 반발력 데이터는 VICON 상용 소프트웨어(VCM, Vicon Clinical Manager)를 통해 신호처리(Woltring filtering, [4]) 및 후처리 하여 하지 관절들의 보행 주기별 관절각도를 계산하였고, 역동역학 방정식[5]을 이용하여 하지 관절 모멘트를 계산하였다.

근전도 데이터는 상용 소프트웨어 Matlab (Mathworks, Inc., USA)를 이용, 대역통과 필터(BPF 20~500Hz)를 설계하여 잡음을 제거하고, RMS 값으로 정류한 후 6Hz 차단 주파수의 저역통과 필터를 이용하여 선형 포락선화(Linear envelope)한 값을 보행 주기별로 정리하여 분석하였다.

2.3 보행분석 일정 및 통계분석 방법

환아는 사고 한 달 후인 2007년 2월 26일부터 16개월 동안 총 10회의 보행분석을 실시하였는데, 본 연구에서는 그 중 2007년 2월 26일(GA1), 2007년 6월 25일(GA2), 2007년 10월 11일(GA3), 2008년 1월 7일(GA4), 2008년 6월

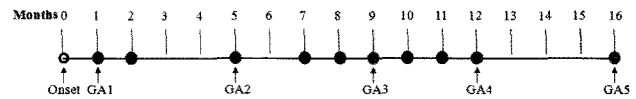


그림 2. 보행분석을 실시한 날짜
Fig. 2. Gait analysis schedule

18일(GA5)에 실시한 총 5회의 보행분석 결과를 비교, 분석하였다.

GA1부터 GA5까지 시공간 변수들(Temporal-spatial parameters)의 평균 값들은 일원배치 분산분석(One way ANOVA) 사후검정 방법인 Tukey 검정을 통해 비교하였고, 좌우 관절 각도의 비대칭 정도는 짝지은 표본 비교(paired t-test)를 이용해 분석하였다.

3. 결 과

4개월 간격으로 실시된 보행분석 동안, 결과에 영향을 줄 수 있는 환아의 체중과 신장을 매 실험마다 측정하였다(표 1). 환아는 사고 후 1년 4개월 동안 체중은 약 1.6 kg, 신장은 11.2 cm 성장하였다.

3.1 시공간변수(Temporal-spatial parameters)

16개월 5회의 검사 기간 동안 보행의 시공간 변수 - 분속수 혹은 보행속도(cadence or walking speed), 보장(step) 및 활보장(stride) 길이와 시간, 단하지 지지기(single limb support)와 양하지 지지기(double limb support), 발가락 들림(toe off) 시기의 변화 추이는 그림 3에 나타내었다. 손상측(우측)의 보행속도는 GA1에서 96.5 ± 9.33 steps/min, GA5에서 110.89 ± 4.44 steps/min 으로 측정시마다 점차 증가하였으며, 활보장의 길이는 GA1에서 1 ± 0.11 m, GA5에서 1.39 ± 0.03으로 약 40 cm 가량 증가 하였다. 활보장 시간과 보장 시간은 GA1에서 1.26 ± 0.15, 0.62 ± 0.05, GA5에서 1.08 ± 0.04, 0.55 ± 0.03으로 각각 감소하였다. 또한, 양하지 지지기, 단하지 지지기 시간도 GA5에서 감소하였고, 발가락 들림 시기는 다소 앞당겨졌다. GA1에서는 각 변인들의 평균에 대한 편차가 다른 검사에서 보다 상당히 컸으나 시간

표 1. 환자 체중 및 신장 변화 정보

Table 1. Height and weight information

	GA1	GA2	GA3	GA4	GA5
Date	2007.2.26	2007.6.25	2007.10.11	2008.1.7	2008.6.18
Mass(kg)	41.7	42.1	41.6	41	43.3
Mass(N)	408.66	412.58	407.68	401.8	424.34
Height(cm)	143	145.7	147.9	149.7	154.2
Leg length(cm)	72	75	77	78	80

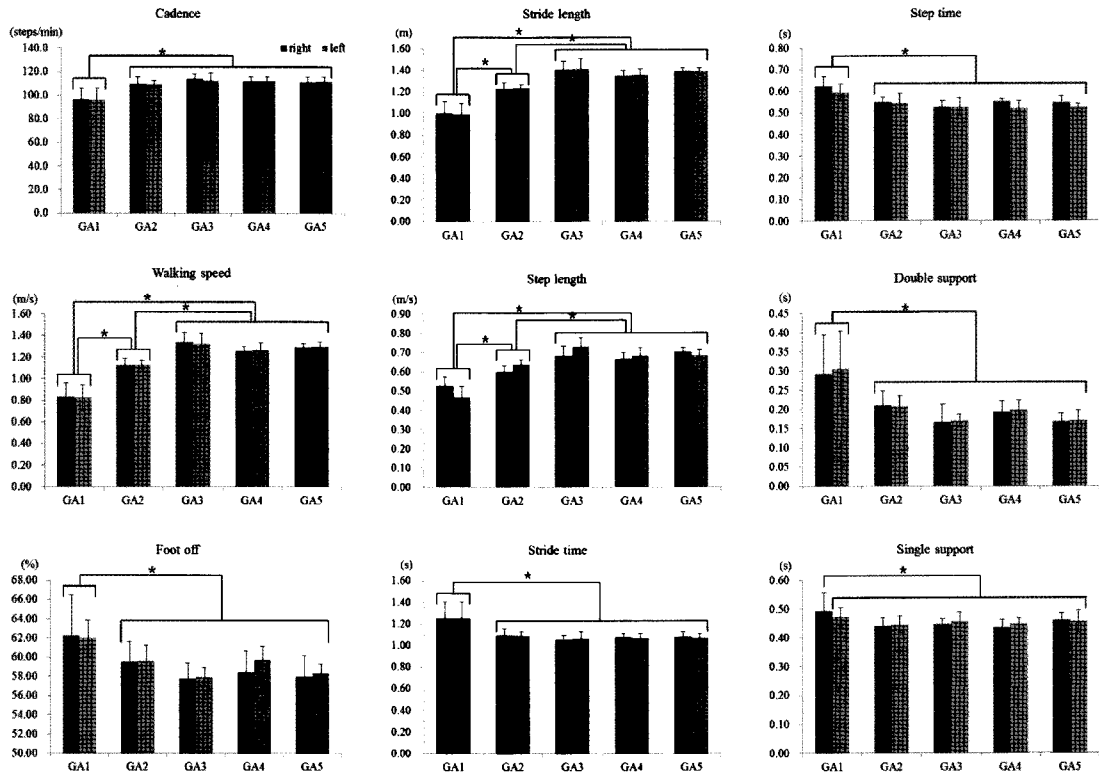


그림 3. 시공간변인의 보행분석 검사 시기(GA1~GA5)별 평균 값
Fig. 3. Mean values of temporal-spatial parameters from GA1 to GA5

168

이 지날수록 이 편차는 감소하였다. 또한, 측정된 시공간 변수에서는 모든 검사에서 좌우 비대칭성이 유의하지 않은 것으로 검정되었다.

그림 3에서 별표(*)는 유의수준 0.05이상에서 평균값이 유의하게 차이 나는 집단을 표시한 것이다. 분속수의 경우 좌우 구분 없이 GA2, GA3, GA4, GA5의 평균값이 거의 비슷한 반면 초기 측정치인 GA1에서만 유의하게 낮은 값을 보였다. 보행속도의 경우는 GA1, GA2, GA3로 점점 유의하게 증가한 후 GA3이후에는 일정하였다고 할 수 있다. 분속수, 발가락 들림시기, 활보장 시간, 보장 시간, 양하지 지지기는 두 번째 평가 GA2에서부터 거의 회복되어 일정한 값을 보였고, 보행속도, 활보장 길이, 보장 길이는 세 번째 평가 GA3에서부터 일정하게 유지 되었다.

3.2 운동형상학 : 족관절, 슬관절, 고관절 각도

그림 4는 보행 1주기 동안 우측 하지 족관절(ankle joint), 슬관절(knee joint), 고관절(hip joint)의 시상면(sagittal plane)에서의 관절각도를 나타낸 것이다. 정상적인 패턴에서 벗어난 정도를 살펴보기 위하여 9~13세 정상아동 보행에서의 평균 관절각도(normative angle)를 대조군으로 하여 음영(붉은색) 띠로 함께 나타내었다(n=24). GA1에서부터 GA5까지 변화 추이를 고려했을 때 족관절은 입각기(stance

phase) 동안 배굴(dorsi-flexion)의 각도가 과도하던 것이 점차 감소하여 GA5에서는 거의 정상패턴의 범위로 감소하였다. 족관절 각도에서 두드러진 변화는 유각기(swing phase) 시 배굴 각도인데 GA1과 GA2에서 유각기 배굴이 현저히 컸던 것이 GA3이후 점차 감소하였다.

고관절의 경우 초기 평가 GA1에서 신전(extension)이 거의 없는 보행패턴(> 0°)에서 점차 신전의 범위가 증가하여 10~15°까지 신전이 일어났다.

환아의 손상 부위가 직접적으로 슬관절 근육을 지배하는 신경이었기 때문에 슬관절의 각도가 정상패턴과 가장 큰 차이를 보였는데, 특히 GA1과 GA2에서 입각기시(하중 수용기) 슬관절 굴곡이 거의 나타나지 않았다. GA3부터 충분치는 않으나 하중수용기에(loading response) 슬관절의 굴곡이 나타나기 시작하였으며, GA4, GA5에서는 슬관절 굴곡이 조금씩 증가하였다. 그러나 GA4, GA5에서 하중수용기에 약간 굴곡된 슬관절이 유각기에 들어서기 전 중간입각기(mid-stance)에 신전되어야 하는데 이 시기에 신전이 거의 이루어지지 않았다.

좌측 하지의 경우 전혀 손상이 없었음에도 불구하고 우측의 기능 손실로 인해 좌측도 정상보행의 패턴과 차이를 보였음을 관절각도에서 확인할 수 있었다. 그림 5는 환아의 좌측(건축) 하지의 보행중 시상면 관절 각도를 나타낸 것이다. 손

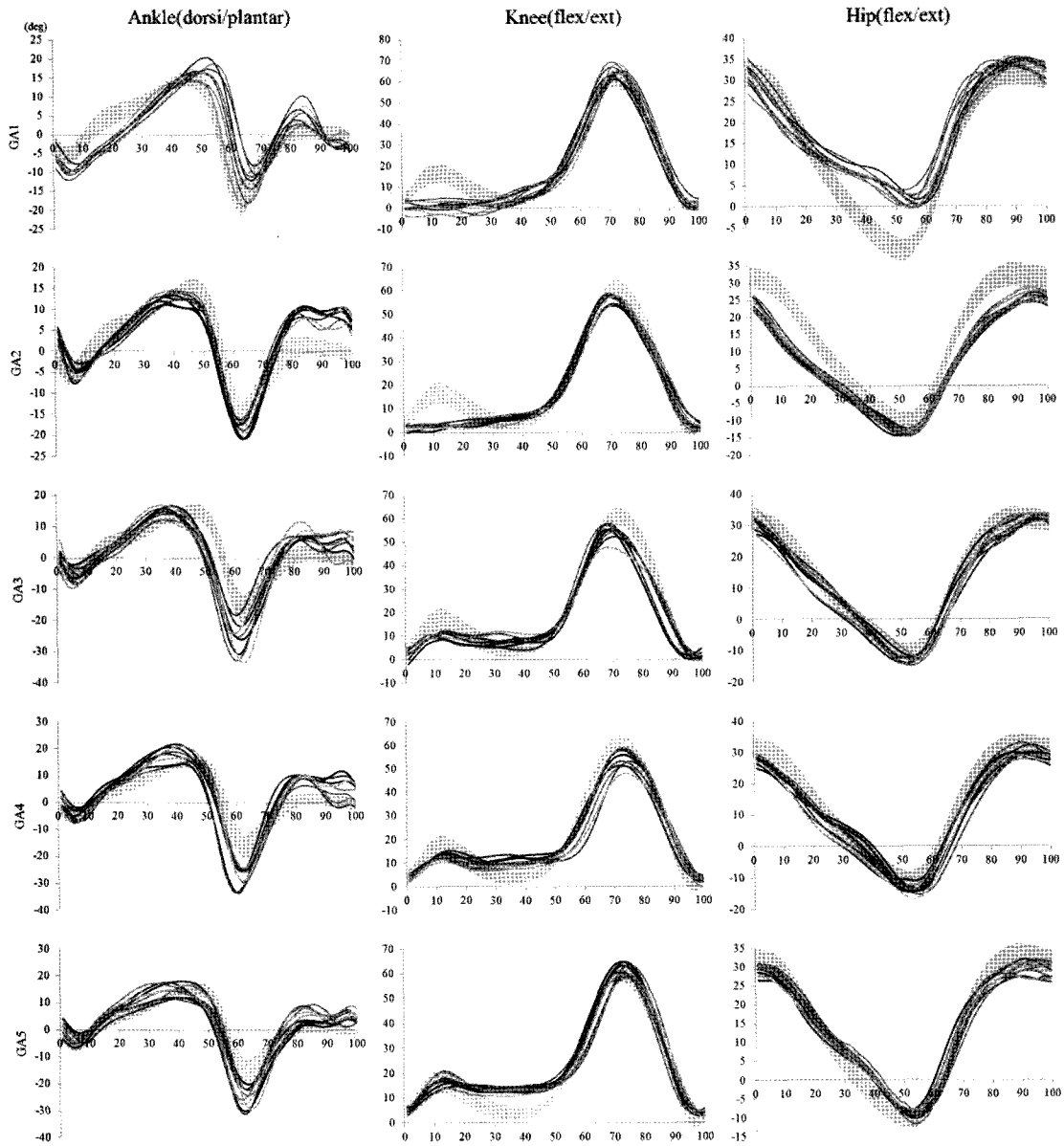


그림 4. 보행 1주기 동안 우측(환측) 시상면 족관절, 슬관절, 고관절 각도
 Fig. 4. Ankle, knee and hip joint angles in sagittal plane of right(affected) side during a gait cycle

상측인 우측에서처럼 비정상 보행패턴이 두드러지게 나타나지는 않았으나 유각기 족관절 각도에서 과도한 배굴이 나타났음을 볼 수 있었다. 또한 환측 하지의 슬관절과 유사하게 말기입각기와 전유각기에 슬관절 신전이 충분치 못하게 일어났다. 고관절 각도는 정상패턴과 유사하게 측정되었다.

3.2.1 시상면 하지 관절각도의 좌우 비대칭 분석

보행의 좌우 비대칭 특성은 시공간 변수에서는 모든 검사에서 비대칭이 유의하게 나타나지 않은 것으로 분석되었으나 (그림 3) 운동형상학적 결과에서는 Benedetti 등[6]이 정의한 분석 변인 중 주요 9곳의 값을 대상으로 대응표본 t-검정 ($p < 0.05$)을 실시한 결과 GA1에서 족관절에서는 입각기 초

기(7% 부근) 최대 저굴 각도와 관절운동범위(ROM, Range of Motion)가 유의한 차이를 보였고, 슬관절에서는 하중수용기와 중간유각기의 최대 굴곡각도 및 관절운동범위가 유의한 차이를 보였다. 또한 고관절에서는 최대 신전각도와 관절운동범위의 좌, 우 차이가 유의하였다. 이처럼 손상 초기 GA1에서는 관찰한 하지관절 변인 중 총 7가지에서 유의한 좌우 비대칭을 보였던 것이 GA5에서는 최대 고관절 신전각도와 고관절의 관절운동 범위, 2가지에서만 비대칭을 보였다(그림 6).

3.3 지면반발력(Ground Reaction Force)

그림 7은 환측의 지면 반발력을 나타낸 것이다. GA1의 수직 지면 반발력 그래프에서 정상보행의 30%시기(중간입각기

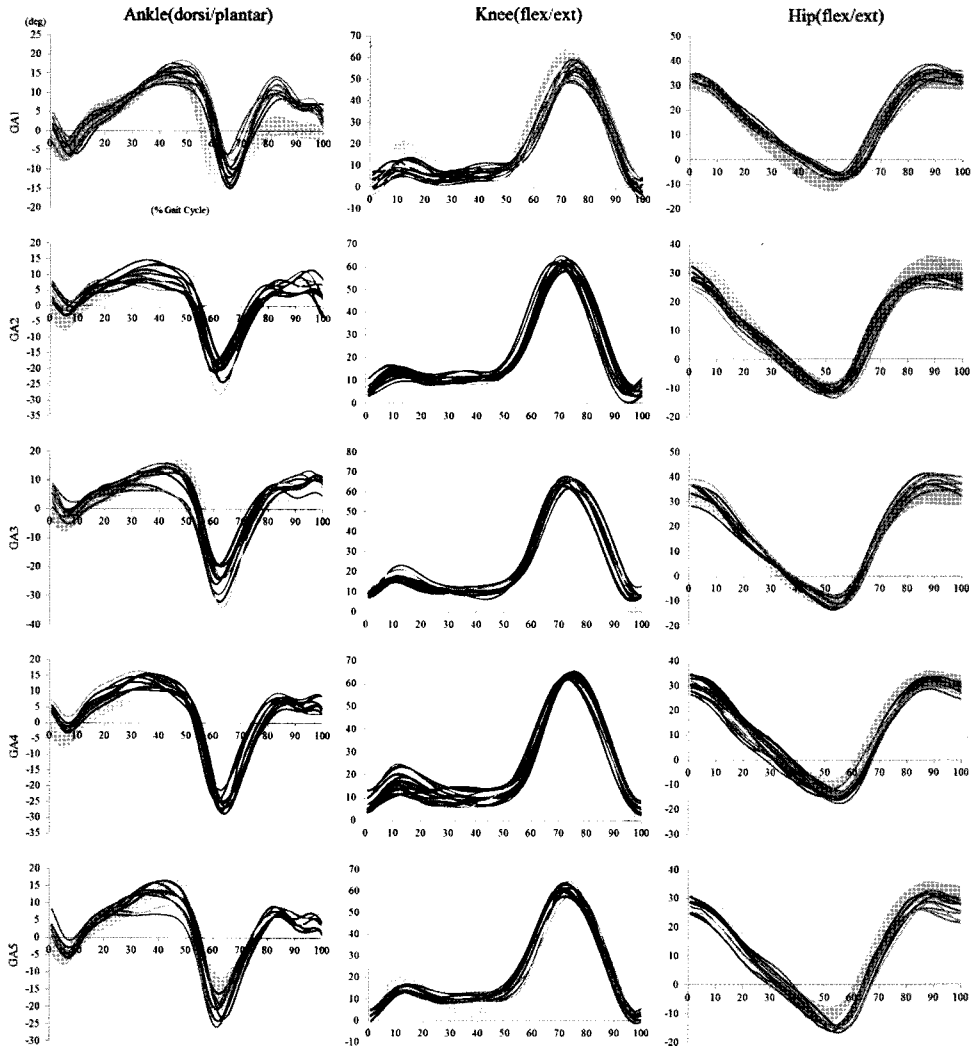


그림 5. 보행 1주기 동안 좌측(건측) 시상면 족관절, 슬관절, 고관절 각도
 Fig. 5. Ankle, knee and hip joint angles in sagittal plane of left(sound) side during a gait cycle

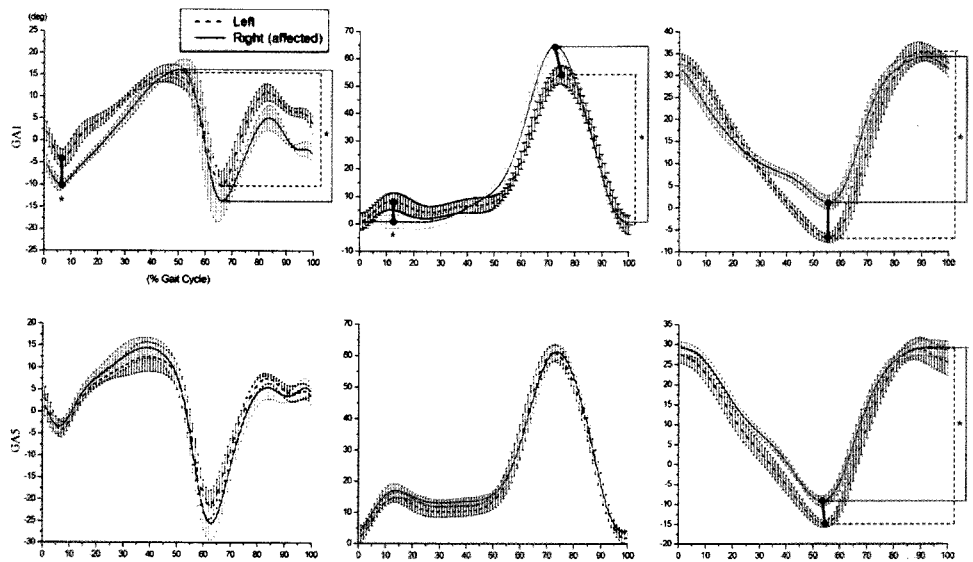


그림 6. GA1과 GA5에서 보행 1주기 동안 좌(건측),우(환측) 하지 관절각도의 비대칭성 (시상면)
 Fig. 6. Asymmetry of lower limb joint angles in GA1 and GA5 (sagittal plane)

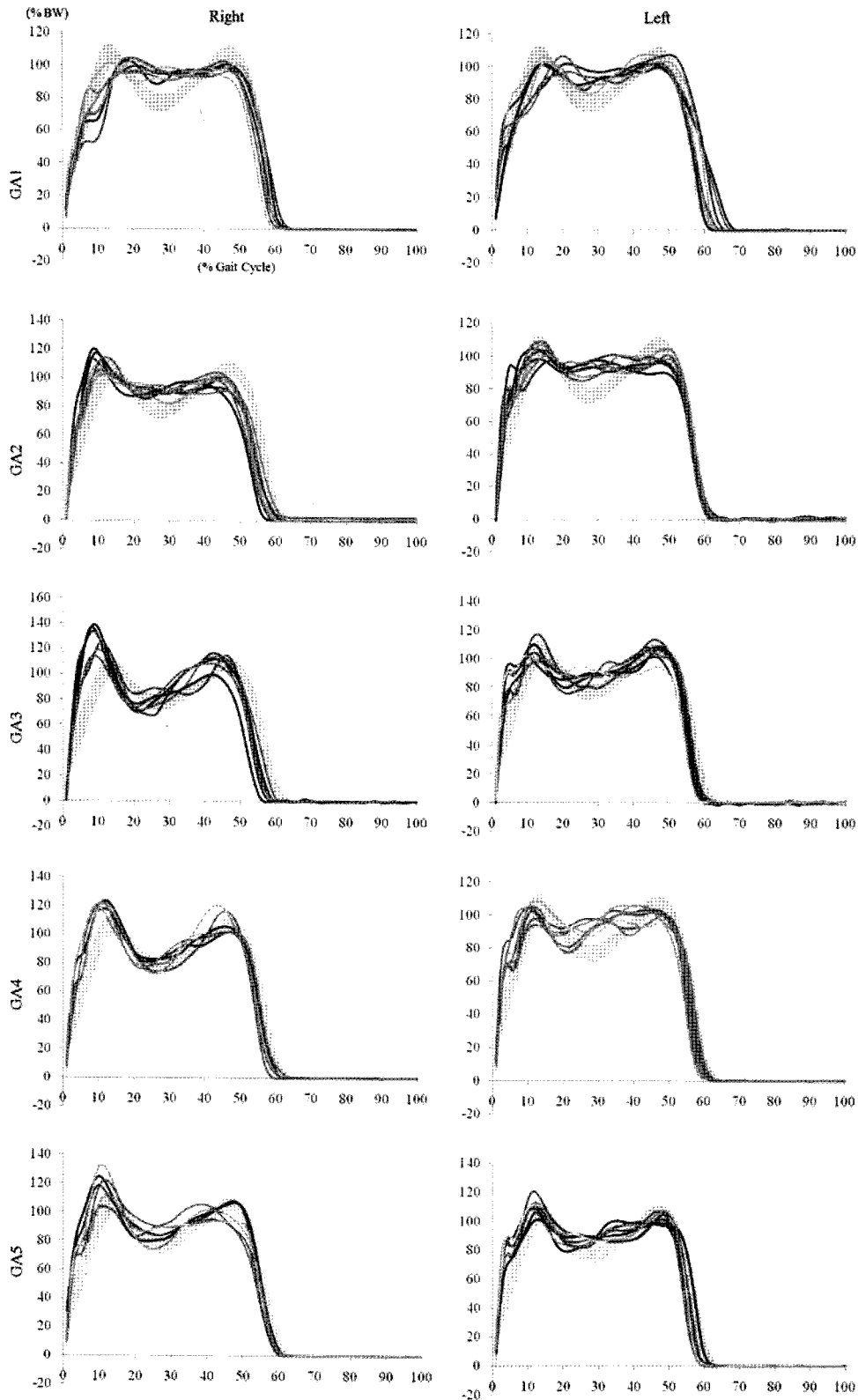


그림 7. 우측(환측)과 좌측(건측)의 수직 지면반발력
 Fig. 7. Vertical ground reaction force of right(affected) and left(sound) side

에서 말기입각기로 들어서는 시점에 나타나는 중간입각기 골(mid-stance valley)이 거의 나타나지 않았으며 최대 수

직 지면 반발력도 다른 검사에서 보다 낮게 나타났다. GA2 에서 GA5까지의 수직 지면 반발력 곡선의 변화를 살펴보면

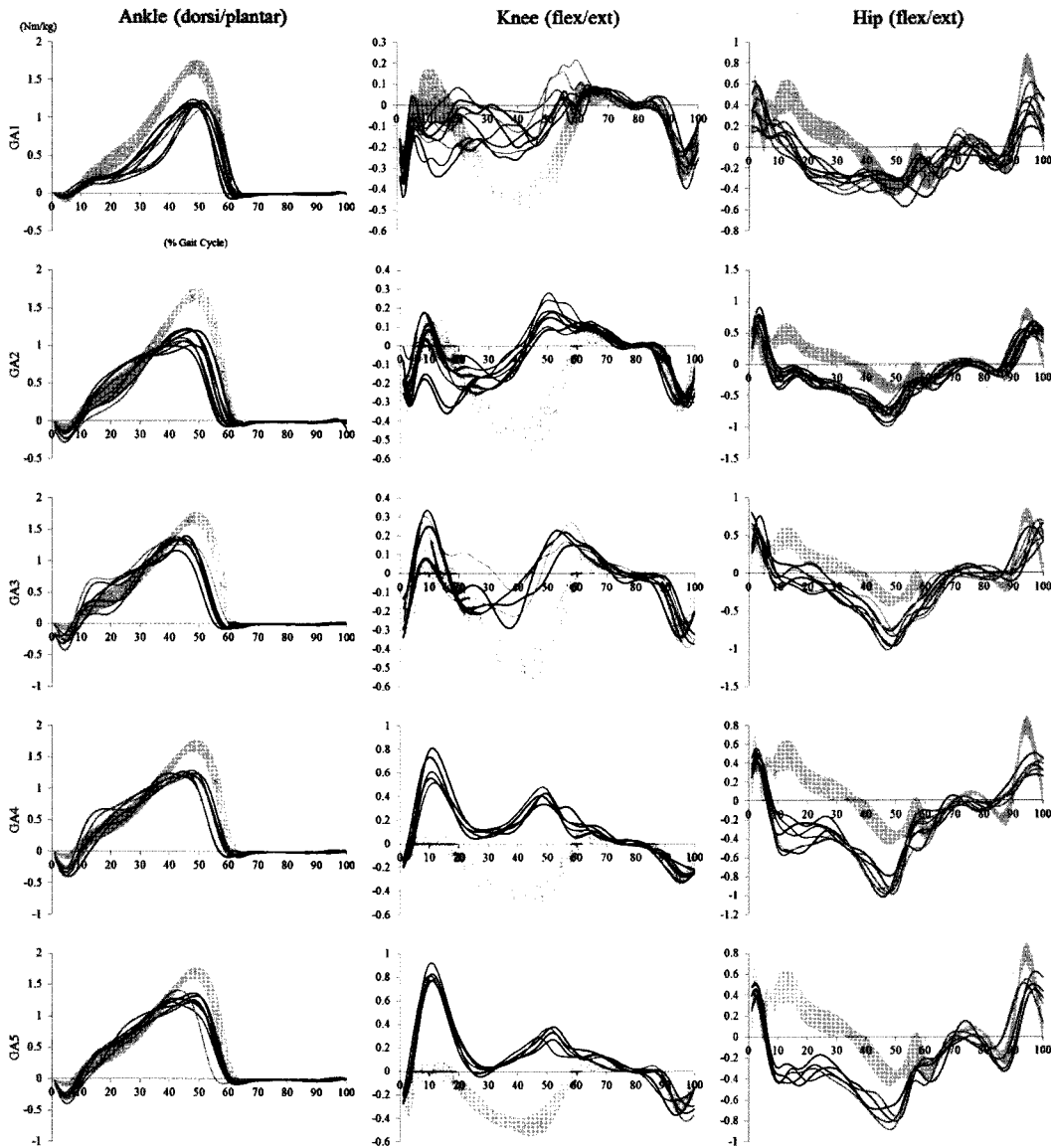


그림 8. 보행 1주기 동안 우측(환측) 시상면 족관절, 슬관절, 고관절 모멘트
 Fig. 8. Ankle, knee and hip joint moments in sagittal plane of right(affected) side during a gait cycle

172

중간입각기 끝이 점차 나타나고 증가하였다. 그러나 첫 번째 최대 수직 지면 반발력(하중수용기 정점, loading response peak)과 두 번째 최대 수직 지면 반발력(말기입각기 정점, terminal stance peak)의 차이가 커졌다. 특히 첫 번째 최대 수직 지면 반발력의 크기가 GA3에서는 140%이상 크게 나타났다. GA4와 GA5에서 첫 번째 최대 수직 지면 반발력의 크기는 다소 감소하였으나 여전히 두 번째 최대 수직 지면 반발력의 크기보다는 컸다.

건측인 좌측의 지면 반발력 곡선도 정상 패턴에서는 다소 차이가 있었다. GA1과 GA2에서는 환측과 마찬가지로 중간입각기 끝이 나타나지 않았다. GA3~GA5까지 수직 지면 반발력은 점차 정상패턴의 곡선과 유사하게 변화되었지만 여전히 차이를 보였다.

3.4 운동역학 : 족관절, 슬관절, 고관절 모멘트

환측 하지 세 관절의 시상면 관절 모멘트는 그림 8과 같았다. GA1에서 족관절의 최대 저굴 모멘트가 정상패턴에서 보다 낮게 나타났다. 시간이 갈수록 족관절 최대 저굴 모멘트는 증가하기는 하였으나 GA5에서도 정상치에 미치지 못하는 하였다. 무릎관절 모멘트는 GA1에서 개별 측정 데이터간 편차가 매우 컸다. 이 편차는 점차 줄어들어 GA5에서는 매우 작아졌다. 슬관절에서 초기 접지 직후 최대 신전 모멘트와 말기입각기시 최대 굴곡 모멘트는 GA1부터 GA5까지 그래프에서 정상치와 많은 차이를 보였다. 특히 GA4와 GA5에서는 입각기동안 무릎관절의 굴곡 모멘트는 거의 측정되지 않을 정도로 매우 작았고 신전 모멘트가 매우 컸다. 고관절의 모멘트 패턴도 정상패턴과 달랐고 GA1,2에 비해 GA5에

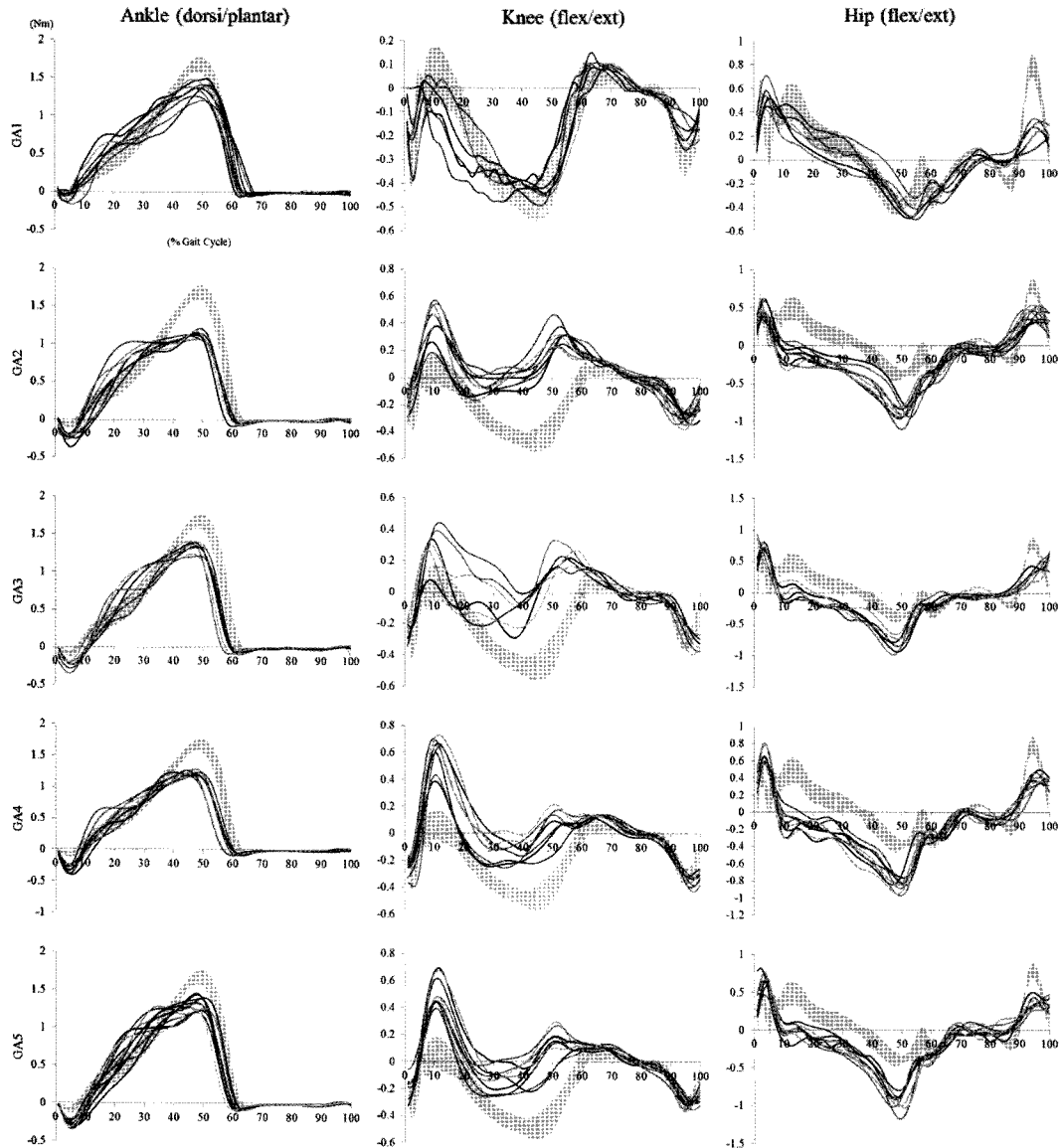


그림 9. 보행 1주기 동안 좌측(건강) 시상면 족관절, 슬관절, 고관절 모멘트

Fig. 9. Ankle, knee and hip joint moments in sagittal plane of left(sound) side during a gait cycle

서 입각기시 굴곡 모멘트가 더 많이 발생하였다.

건강의 최대 족관절 저굴 모멘트도 환측에서처럼 정상치보다 낮게 나타났다(그림 9). GA1에서 보다 GA5에서 편차도 크게 감소하지 않았다. 슬관절 모멘트는 초기에 GA1에서는 정상패턴과 유사하게 나타났으나 시간이 갈수록 환측의 패턴과 유사하게 10%에서 최대 신전 모멘트가 증가하고 굴곡 모멘트는 감소하였다. 건강의 고관절 모멘트는 정상패턴과 차이가 있었지만, GA1에서 GA5까지 큰 변화 없이 유사한 패턴으로 나타났다.

3.5 표면 근전도

보행 중 환측 주요 하지근육의 근전도 측정 결과는 그림 10과 같다. 손상된 대퇴신경의 직접 지배를 받는 슬관절 신

전근육인 대퇴직근은 GA1과 GA2에서 거의 근전도 신호가 측정되지 않았다. 슬관절 신전근의 경우 정상 보행시 유각기 말기부터 다음 입각기 초기까지 근전도가 발생하는데, 환아는 이러한 정상패턴과 유사한 근전도 결과가 GA5에서만 관찰되었다.

4. 고 찰

환아의 보행 중 운동형상학적, 운동역학적 결과가 정상패턴에서 얼마나 편이 되었는지 분석하기 위해서는 손상 직전 환자 자신의 정상 보행 분석 결과와 비교하는 것이 가장 정확하겠으나 현실적으로 손상 이전의 정상데이터 획득이 불가능하였기 때문에 본 연구에서는 9~13세 정상 아동의 평균데

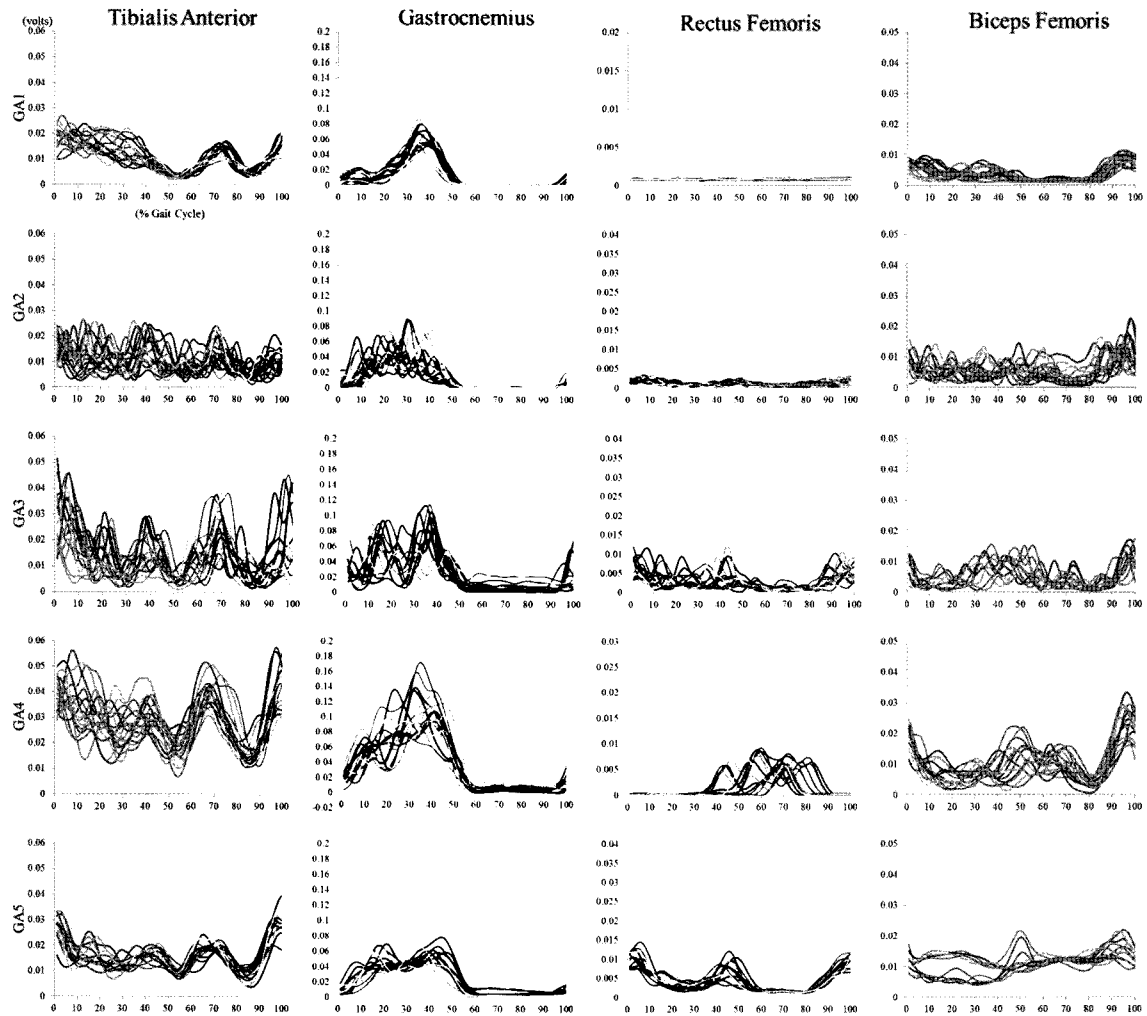


그림 10. 보행 1주기 동안 우측(환측) 하지 주요 근육(전경골근, 내측 비복근, 대퇴직근, 대퇴 두갈래근)의 근전도
 Fig. 10. Electromyography in major lower limb muscles (Tibialis anterior, Gastrocnemius, Rectus femoris, Biceps femoris) of right (affected) side during a gait cycle

이터(Normal normative)를 대조군으로 비교하였다(control group, n=24). 손상 이전 환자의 보행이 성숙된 보행 패턴이었던지 미성숙 보행 패턴이었던지 확인할 수 없고, 본 연구에 사용된 대조군의 평균 데이터도 성숙도가 다른 아동들의 평균치인 점은 고려되어야 할 사항이다. 아동 보행의 경우 성숙도를 고려한 분석이 필요한데, 나이에 따른 보행의 성숙 시기에 관한 선행연구들을 보면 Keen 등[7]은 대부분의 연구자들이 보행의 성숙이 정상 아동의 5세 때 나타난다고 동의하였다고 보고하였고, Sutherland 등[8]은 성숙한 보행패턴은 3세까지 이루어진다고 보고하였다. 그러나 최근의 연구에 따르면 고관절과 슬관절의 운동역학적 패턴이 성인과 같게 나타나는 연령은 5세였으나 족관절의 경우 9세 이후에도 미성숙 상태라는 보고도 있었으며[9], 12~13세까지는 보행이 성숙되지 않았을 것이라는 전제를 지지하는 결과를 얻은 연구도 있었다[10]. 이처럼 환아와 같은 10세 아동의 보행이 성숙한 보행인지 아닌지는 여전히 논쟁중이고

[11~13] 정상 대조군의 데이터는 각 연구실의 실험 데이터베이스를 이용하는 경우가 많으므로 본 연구에서도 실험실에서 측정해 놓은 비슷한 연령대의 정상그룹 데이터베이스를 이용하였다.

환아의 보행을 16개월 동안 분석한 결과 시공간 변수, 관절 각도, 관절 모멘트, 근육활성도 등의 변수들의 회복의 속도와 정도가 각각 달랐다. 손상초기 전혀 측정이 되지 않았던 대퇴직근의 근전도 및 근력은 손상 9개월 후인 GA3에서 조금씩 나타나기 시작하여 GA5에서는 정상측인 좌측과 거의 비슷한 수준에 이르렀다. 이를 근거로 환아는 초기에 대퇴신경이 불완전 축삭손상(Axonotmesis by Seddon, Second-degree injury by Sunderland)을 입었으며 말초신경 재생기전을 통하여 손상된 신경이 회복되었을 것으로 추정된다. 또한 환아는 검사기간 동안 신장이 11.2 cm나 증가했을 정도로 매우 왕성한 성장기 연령대의 아동이기 때문에 신경 회복 속도도 빨랐을 것으로 사료된다.

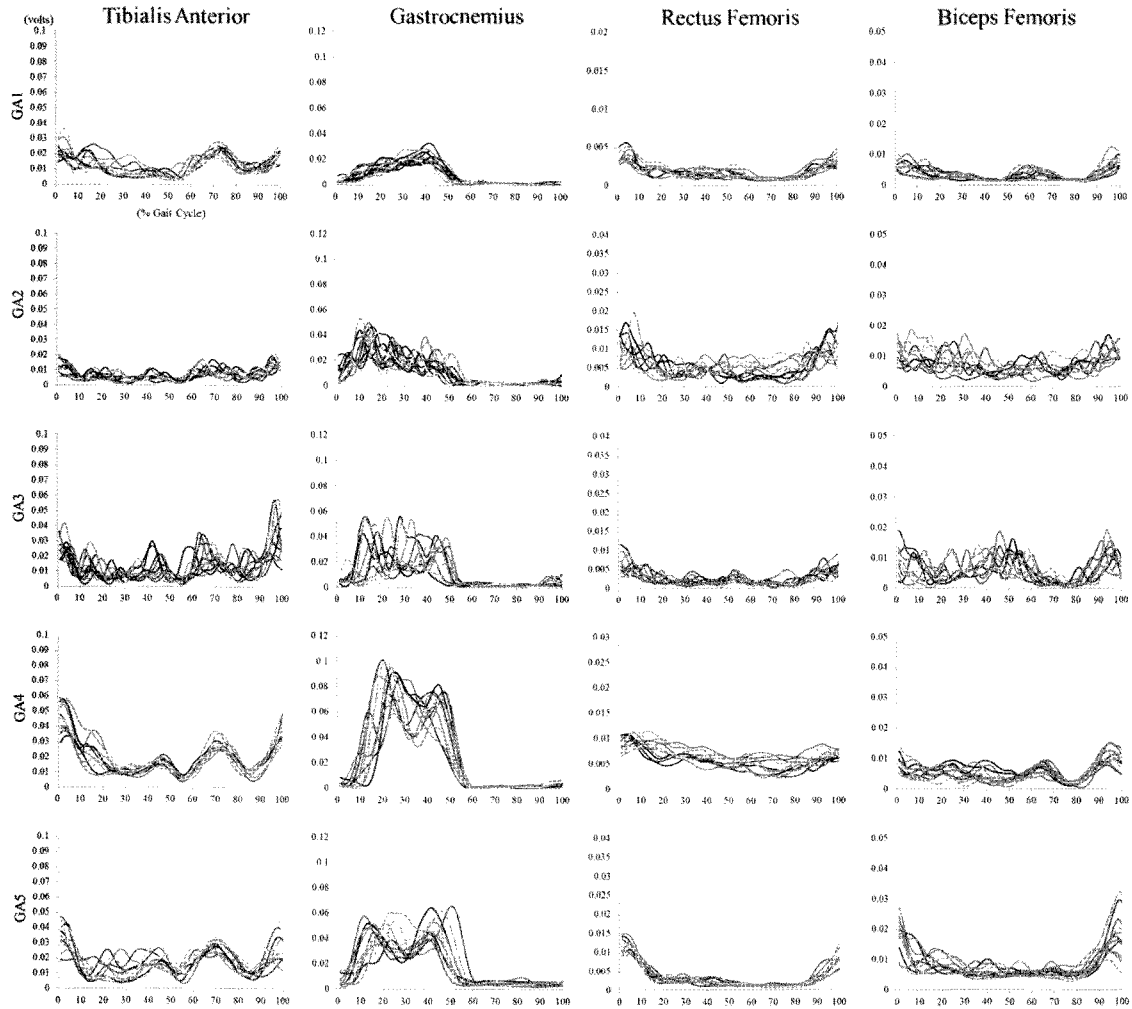


그림 11. 보행 1주기 동안 좌측(진측) 하지 주요 근육(전경골근, 내측 비복근, 대퇴직근, 대퇴 두갈래근)의 근전도
 Fig. 11. Electromyography in major lower limb muscles (Tibialis anterior, Gastrocnemius, Rectus femoris, Biceps femoris) of left (sound) side during a gait cycle

손상 초기부터 독립보행이 가능했던 것은 손상된 대퇴 신경근의 주기능에서 원인을 찾을 수 있다. 보행 1주기 동안 슬관절 신전이 일어나는 때는 중간입각기와 중간유각기 2회인데, 유각기시 일어나는 슬관절 신전은 발가락 들림 이후 고관절 굴곡으로 인하여 하지가 전진하면서 수동적으로 슬관절 신전이 일어날 수 있기 때문에 환아는 건측으로 체중지지가 가능한 상태에서 대퇴근육의 능동적(구심성) 수축 없이 유각기 슬관절 신전은 가능하였다. 그러나 하중수용기부터 중간입각기에는 슬관절 굴곡근과 협력수축으로 슬관절을 굴곡, 신전시키며 충격흡수 및 체중지지 기능을 수행하여야 하는데, 신전근의 기능 부전으로 인하여 이 기능을 전혀 수행하지 못하였다. 대신 환아는 보행속도를 감소시킴으로써 초기접지 시간을 길게 하여 충격을 완화하는 전략을 취한 것으로 분석된다. 이것은 GA1에서 상대적으로 보행속도가 느린 점, 수직지면 반발력 곡선에서 첫 번째 최대치까지의 경사가 완만한 점으로 확인할 수 있었다.

5. 결 론

무릎신전 근육의 움직임을 관장하는 대퇴신경의 손상으로 정상 보행이 불가능 할 것으로 예상되었던 환아가 손상 초기부터 독립보행이 가능하여 정량적 분석을 통한 환아의 손상 초기 기능적 특징을 분석하고 회복과정을 살펴보고자 하였다. 1년 동안의 보행 분석 결과 환아의 손상된 말초신경은 불완전 신경 손상으로 아동의 성장, 성숙과 함께 정상수준으로 회복이 가능했을 것으로 사료된다. 환아가 손상 초기 독립보행이 가능했던 이유는 환측의 족관절, 고관절 및 건측 하지의 보상작용이 비정상패턴이기는 하였지만 보행을 가능하게 했을 것으로 사료된다. 하중수용기부터 중간입각기에 슬관절 굴곡, 신전이 거의 나타나지 않아 보행 중 충격 완화의 기능은 소실되었는데, 소실된 슬관절의 기능과 관절 운동 각도는 시간이 지날수록 회복이 되었지만, 정상 패턴과 차이를 가진 체 재활이 된 것으로 분석되었다. 무릎

신전근만을 선별적으로 손상 입은 환자의 보행분석을 통해 무릎 신전근의 보행 중 주요 역할에 대해서 검증할 수 있었으며, 한 쪽 관절의 일부 근육 손상이라 하더라도 손상 받지 않은 다른 관절뿐만 아니라 정상 측에도 영향을 미쳐 기능 변화 및 비대칭성이 발생함을 관찰할 수 있었다.

참고문헌

- [1] V.B. Brooks, "The Neural Basis of Motor Control," *Oxford University Press.*, 1986.
- [2] E.R. Kandel, J.H. Schwartz and T.M. Jessell, "Essentials of Neural Science and Behavior," *Appleton & Lange.*, 1995.
- [3] J. Perry, "Gait Analysis: Normal and Pathological Function," *SLACK Inc.*, 1992.
- [4] H.J. Woltring, "A fortran package for generalized cross-validated spline smoothing and differentiation," *Adv Eng Software.*, vol. 8, pp. 104-113, 1986.
- [5] B. Bresler and J.P. Frankel, "The forces and moments in the leg during level walking," *Trans ASME*, vol. 72, pp. 27-36, 1950.
- [6] M.G. Benedetti, F. C. A. Leardini, E. Pignotti, and S. Giannini, "Data management in gait analysis for clinical applications," *Clin Biomech*, vol. 13, no. 3, pp.204-215, 1998.
- [7] M. Keen, "Early development and attainment of normal mature gait," *J Pros Ortho*, vol. 5, no. 2, pp. 35-38, 1993.
- [8] D. H. Sutherland, R. O. L. Cooper and S. L.-Y. Woo, "The development of mature gait," *J Bone Joint Surg*, vol. 62, no. A, 336-353, 1980.
- [9] V. L. Chester, M. T. Edmund and N. Biden, "A comparison of kinetic gait parameters for 3-13 year olds," *Clin Biomech*, vol. 21, pp. 726-732, 2006.
- [10] N. Lythgo, C. Wilson and M. Galea, "Basic gait and symmetry measures for primary school-aged children and young adults. II: Walking at slow, free and fast speed," *Gait Posture*, in press.
- [11] R. J. Beck, T. P. Andriacchi, K. N. Kuo, R. W. Fermier and J. O. Galante, "Changes in the Gait Patterns of Growing Children," *J Bone and Joint Surg Am.*, vol. 63, pp. 1452-1457, 1981.
- [12] I. Holm, A. T. Tveter, P. M. Fredriksen and N. Vollestad, "A normative sample of gait and hopping on one parameters in children 7-12 years of age," *Gait Posture*, vol. 29, pp. 317-321, 2009.
- [13] M. G. Benedetti, S. Straudi, L. Berti, A. Leardini and M. Manfrini, "Gait performance in an original biologic reconstruction of proximal femur in a skeletally immature child : A case report," *Arch Phys Med Rehabil.*, vol. 87, pp. 1534-1541, 2006.