

슬관절 동종골을 이용한 사지 구제수술 환자의 3차원 보행분석

장익규^{1,4}, 박홍성⁴, 남경원¹, 홍만복¹, 김수현¹, 김한수³, 강현귀², 김광기¹

¹ 국립암센터 실용화 연구부 의공학 연구과

² 국립암센터 특수암센터, 골연부종양클리닉

³ 서울대학교병원 정형외과

⁴ 강원대학교 IT특성화대학 전자통신공학과

3D Gait Analysis of Limb Salvage Patients with Osteoarticular Knee Allograft Reconstruction

Ik-Gyu Jang^{1,4}, Hong-Seong Park⁴, Kyoung-Won Nam¹, Man-Bok Hong¹, Soo-Hyun Kim¹,
Han-Soo Kim³, Hyun-Guy Kang², Kwang-Gi Kim¹

¹National cancer center, Biomedical Engineering Branch, Gyeonggi-do, Korea

²National cancer center, Orthopaedic Oncology Clinic, Gyeonggi-do, Korea

³Seoul National University College of Medicine, Department of Orthopaedic Surgery, Seoul Korea

⁴Kangwon National University College of IT, Department of Electronic & Telecommunication, Chun-cheon Korea

(Received October 8, 2009. Accepted January 25, 2010)

Abstract

This paper presents the three dimensional gait analysis of the patients with osteoarticular knee allograft reconstruction. The gait analysis has been performed in some medical fields such as orthopedics and neurosurgery for the purpose of the rehabilitation of patients. However, to the author's knowledge, the analysis of gait for the patients with osteoarticular knee allograft reconstruction caused by tumor has not been reported. In this work, we confirmed the validity of this method by analyzing 50 samples per one gait cycle obtained from each of 3 patients and 3 normal persons. The motion capture was performed using six infrared cameras. The symmetry and stability of the gait patterns are investigated (patients' $r=0.39$, $p<0.05$, normal persons' $r=0.65$, $p<0.05$) respectively using the correlation coefficients and the standard deviations of the joint angles of the left and right legs. It also would be applied to the comparison analysis where artificial knee joint is transplanted.

Key words: 3D gait analysis, Knee joint allograft, normal gait, symmetry, stability, correlation analysis

1. 서론

사지(limb)에 악성 종양을 가진 환자를 절단(amputation)하지 않고 구제(limb salvage)하는 방법으로 금속성 인공관절(artificial joint) 대체물(prosthesis)을 이용한 재건수술이 주로 행하여져 왔으나, 인공구조물 자체의 수명한계로 인한 재수술의 빈도가 높은 단점이 있었다[1]. 최근 기증자의 뼈(allograft, 동종골)를 이용한 재건수술방법이 도입되어 시행되고 있으며, 동종

이식골의 수명도 인공구조물에 못지않는 결과가 발표되고 있다[2]. 인공관절대신에 사용할 수 있는 동종골관절이식(osteoarticular allograft) 수술은 주위 인대를 견고하게 봉합 하면서 관절과 뼈를 재건하여 관절의 생체역학적 운동이 거의 유지 될 수 있으므로, 금속 종양 대체물(tumor prosthesis)인 구속형(Constrained type)이나 반 구속형(semiconstrained type)의 인공관절보다는 기능면에서 유리하다고 볼 수 있다. 이러한 사지 구제 수술을 받은 환자의 수술 후 성공 여부 확인 및 회복 진행 상태 파악을 위해서는, 수술 이후 환자의 정상 보행 여부 및 보행 시 통증 유무에 대한 분석이 필요하다.

환자의 보행 패턴 분석을 위해서는 다양한 변수들이 사용된다(표 1). 기존의 여러 보행 패턴 분석 연구들의 경우 측정하고자 하

Corresponding Author : 김광기, 강현귀
(410-769) 경기도 고양시 일산동구 정발산로 111 국립암센터
Tel : +82-31-920-2241 / Fax : +82-31-920-2242
E-mail : kimkg@ncc.re.kr, ostumor@ncc.re.kr
이 연구는 지식경제부의 바이오 의료기기 전략기술개발사업(10028491)의 지원과 국립암센터 기관고유과제(0810120)의 지원을 받은 연구이다. 정창부 박사님, 성문연, 장진에 연구원께 감사드립니다.

표 1. 보행분석의 특성변수들

Table 1. Characteristic Variables of Gait Analysis

구분	변수
시거리 특성변수	보행속도, 분속수, 보행간격, 보장, 발보장, 디딤시간, 유각시간
운동형상학적 특성 변수	골반경사, 골반회전, 고관절 굽힘/펴, 고관절 모음/벌림, 고관절 내측회전/외측회전, 슬관절 굽힘/펴, 슬관절 내반/외반, 슬관절 내측회전/외측회전, 발목관절 발등굽힘/발바닥굽힘, 발목관절 옆침/뒤침, 발목관절 내측회전/외측회전
운동역학적 특성변수	발목관절 압축/이완 힘, 발목관절 내측/외측 힘, 고관절 굽힘/펴 모멘트, 고관절 모음/벌림 모멘트, 슬관절 굽힘/펴 모멘트, 슬관절 내반/외반 모멘트, 발목관절 발등굽힘/ 발바닥굽힘 모멘트, 발목관절 안쪽번짐/바깥쪽 번짐 모멘트

는 요소들을 선택, 측정된 후 각각의 요소에 따라 회복 정도와 정상 유무를 판정하기 위한 문턱치(threshold)를 주관적으로 설정하고 판단하는 방법을 사용하였다[3]. 하지만 보행 패턴은 사람마다 유일한 특성을 가지며[4], 동일인의 경우에도 연령에 따라 시거리 특성변수, 운동형상학적 특성변수, 운동역학적 특성변수가 모두 다르게 측정되고[5], 보행속도를 변화시킬 경우 측정된 변수들의 값이 모두 달라지게 되므로, 기존의 분석 방법들은 다양한 환자군에 공통적으로 적용하기 어려운 한계가 있었다[6-9].

본 논문에서는 사지구제수술 환자 중 무릎의 동종골관절(osteochondral allograft)를 이용하여 재건 수술을 받은 환자의 수술 후 보행 패턴에 대한 3차원 측정을 실시하고, 이를 통해 보행 시 좌우 하지의 운동 패턴의 대칭성과 안정성을 분석하였다. 또한 정상군과 환자군의 보행에 대한 비교 분석을 통해 수술 후 회복 정도를 객관화 하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

A. 환자군 및 대조군 선택

본 실험을 위해 슬관절면(articular surface of knee joint)이 포함된 동종골(allograft)을 이용하여 사지 구제 수술을 받은 환자 3

명(실험군)과 3명의 정상인(대조군)을 선택하였다. 선택된 환자는 각각 대퇴골(femur) 원위부 거대 세포종으로 관절 내 골절이 동반되었으나 대퇴골 원위부 내과(medial condyle)에는 종양의 침범이 없었으므로, 대퇴골 외과(lateral condyle)가 포함된 슬관절 동종골 이식으로 사지구제수술(limb salvage surgery)을 받은 환자(환자 A, 그림 1a, b), 대퇴골 원위부 골육종이 있으나 대퇴골 외과에는 종양의 침범이 없어 대퇴골 내과가 포함된 슬관절 동종골 이식의 사지구제수술을 받은 환자(환자 B, 그림 1c, d), 그리고 경골(tibia) 근위부에 골육종이 있으면서 슬관절 주위의 인대에 종양이 침범하여 대퇴골 원위부(distal femur) 및 경골 근위부(proximal tibia)와 비골 근위부(proximal fibula)의 골관절(osteochondral)이 포함되면서 슬관절의 십자인대(cruciate ligament), 측부인대(collateral ligament), 반월상연골판(meniscus), 관절막(joint capsule), 그리고 슬개건(patella tendon)이 포함된 동종 슬관절 전체(whole knee joint allograft)를 이식 받은 환자(환자 C, 그림 1e, f)였으며, 대조군 3명은 하지에 특별한 치료 병력 또는 수술 병력이 없는 정상보행을 가진 사람이었다. 실험에 참여한 모든 환자들에게 사전 설명 후 동의를 받았으며, 실험에 참여한 환자(A, B, C) 및 대조군(D, E, F)의 신체 특성들은 표 2와 같다.

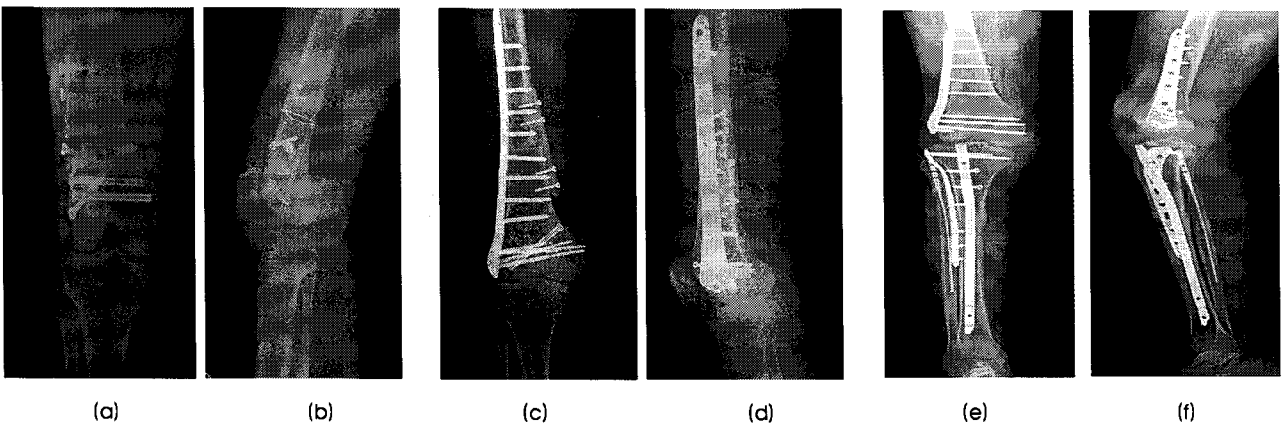


그림 1. 슬관절 동종골을 이용한 사지 구제수술 환자들의 수술 후 전후면(a,c,e)부와 측면(b,d,f)의 단순 방사선 사진들
Fig. 1. Postoperative Antero-posterior(a,c,e) and lateral (b,d,f) radiographs of the limb of the patients.

표 2. 환자군과 대조군의 신체 특성

Table 2. Body Characteristics of Patients and Normal Persons

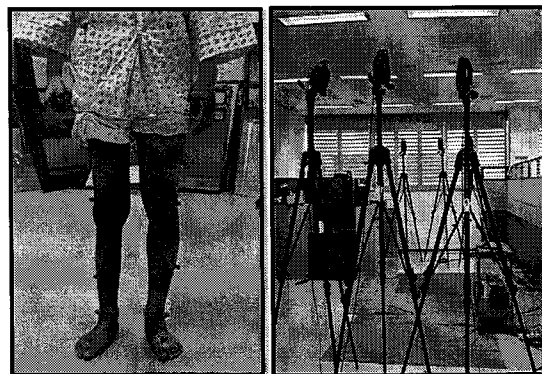
구분	환자A	환자B	환자C	정상인D	정상인E	정상인F
나이	26세	17세	18세	29세	25세	32세
성별	남	여	남	남	여	남
신장 (cm)	177	166	168	179	159	178
몸무게 (kg)	68 kg	45 kg	60kg	80kg	53 kg	75kg
하지길이 (cm)	95(좌), 96(우)	90(좌), 90(우)	77(좌), 77(우)	95(좌), 90(우)	82(좌), 82(우)	94(좌), 94(우)
무릎두께 (cm)	10.4(좌), 10.7(우)	9.8(좌), 10.3(우)	9.5(좌), 10(우)	16(좌), 16(우)	9.8(좌), 9.8(우)	11.3(좌), 11.3(우)
발목두께 (cm)	7.4(좌), 7.3(우)	6.1(좌), 6.1(우)	6.8(좌), 6.7(우)	7.1(좌), 7.1(우)	6.0(좌), 6.0(우)	7.5(좌), 7.5(우)
측정시 수술 경과 기간	9개월	13개월	14개월	없음	없음	없음

B. 측정 방법 및 대상

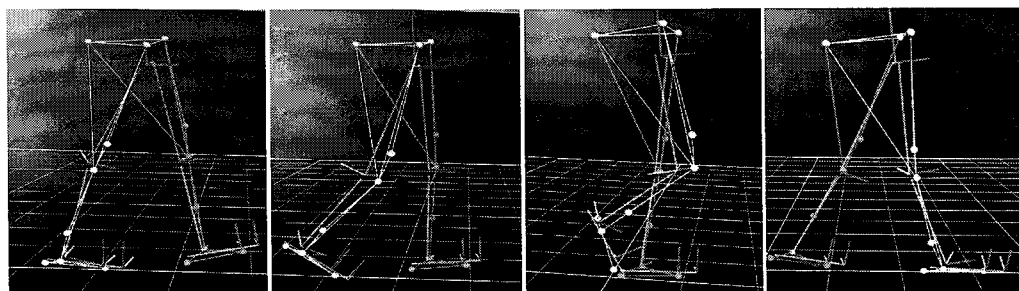
환자 및 대조군의 보행 패턴 측정을 위해, 피 측정자의 양쪽 하지 관절부에 15개의 적외선 마커를 부착하고, 6대의 적외선 VICON 카메라(MX30.3 Milion pixels motion capture camera; Oxford Metrics Inc., UK)를 피 측정자 주위에 배치한 후(그림 2a), 적외선 카메라를 이용하여 각 마커의 공간 상 위치를 측정, 그 결과를 종합하여 피 측정자 하지의 3차원 움직임을 Polygon(version 3.1, Vicon Motion systems-Apache software foundation, US) 프로

그램을 이용하여 실시간 합성하였다(그림 2b).

측정 장비를 통해 환자의 보행 패턴이 실시간으로 측정되면, 이를 이용하여 좌우 하지 관절(고관절, 슬관절, 발목관절, 골반관절)의 시상면(sagittal plane), 관상면(frontal plane), 수평면(horizontal plane)상[2] 관절 각도를 계산하고, 각 측정값들의 좌우 대칭성을 확인하기 위해 좌우 측정값들의 상호 상관 계수들을 계산하였다. 상관계수와 유의확률은 SPSS(13.0 for windows Release 13.0, SPSS Inc., US)를 이용하여 구하였다.



(a)



(b)

그림 2. 적외선 마커를 이용한 3차원 위치 측정 (a)마커 부착 및 카메라 배치, (b)센서 위치 합성을 통한 실시간 보행 측정.

Fig. 2. 3D position measurement using the infrared light markers; (a) locations of the attached markers and configurations of six infrared cameras, (b) real-time gait measurement by use of the measured marker positions.

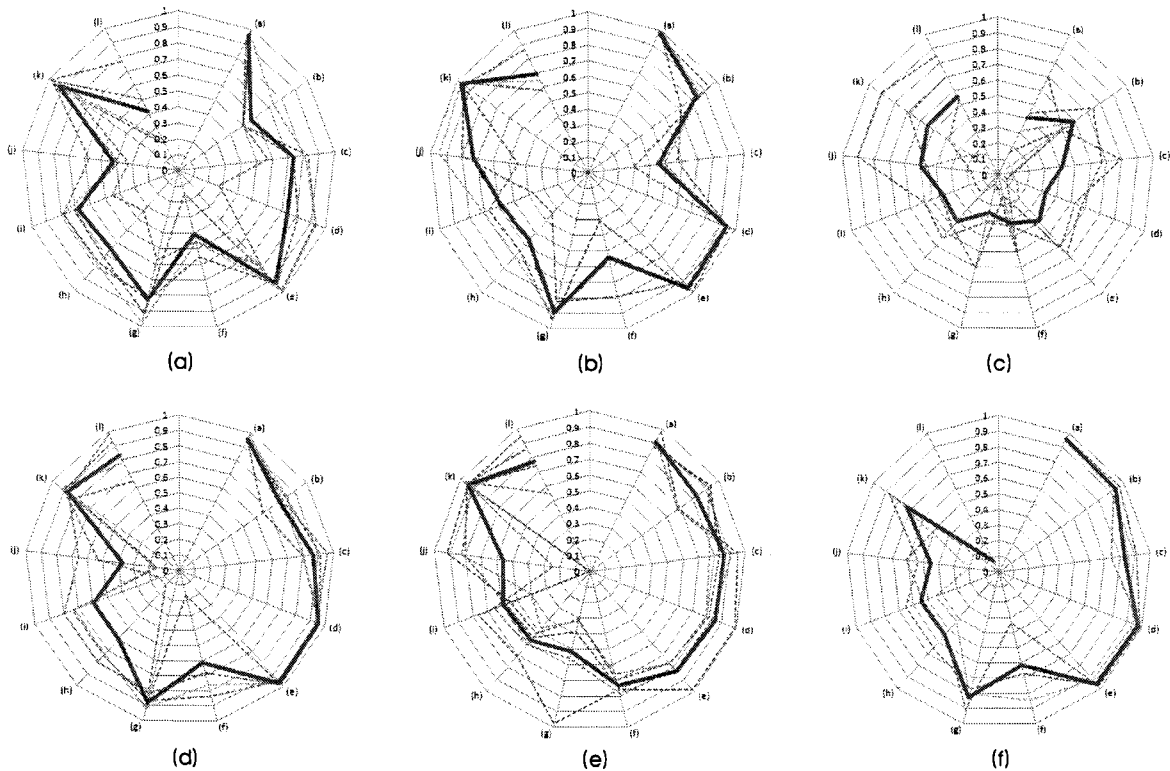


그림 3. 환자들과 정상인들의 각 관절 각도의 상관분석

Fig. 3. Correlation values of the joint and pelvis angles of the patients and normal persons Hip Flex-Extension (a), Abduction-Adduction (b), and Internal-External Rotation (c); Knee Flex-Extension (d), Abduction-Adduction (e), and Internal-External Rotation (f); Ankle Flex-Extension (g), Abduction-Adduction (h), and Internal-External Rotation (i); Pelvis Flex-Extension (j), Abduction-Adduction (k), and Internal-External Rotation (l); (A)~(C): Patients 1~3; (D)~(F): Normal Persons 1~3; Bold lines: Mean results

III. 결과

A. 대칭성 분석

관절(고관절, 슬관절, 발목관절, 골반관절)의 좌우 움직임 간의 상관계수 계산 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에서 요소 a는 고관절(hip joint)의 시상면 상 굴곡/신전(Flex-Extension)을, b는 고관절의 관상면 상 내/외전(Abduction/Adduction), c는 고관절의 수평면상 내/외회전(Internal/External rotation)을 각각 나타낸다. 요소 d, g, j는 슬(knee) 관절, 발목(ankle) 관절, 골반(pelvis)관절의 시상면 상 굴곡/신전을 나타내며, 요소 e, h, k은 관상면 상 내/외전을 각각 나타내며, 요소 f, i, l은 수평면 상 내/외회전을 각각 나타낸다. 각 요소의 값은 1.0에 가까울수록 좌우 측정값이 서로

동일함을 (즉, 대칭성이 높음을), 해당 값이 1.0에서 멀어질수록 좌우 측정값 간의 차이가 크음을 (즉, 대칭성이 낮음을) 의미한다. 실험에 참여한 실험군 및 대조군 모두 피 측정체 1인 당 3회씩 측정을 실시하였으며 측정값의 평균을 굵은 선으로 표기하였다.

그림 3에 나타난 바와 같이, 환자 A의 요소 b, f, j, l가 다른 요소들 보다 상관계수가 낮음을 확인할 수 있었다. 이는 슬관절(수평면상 내/외회전)을 포함한 상부 고관절(관상면 상 내/외전)과 골반관절(시상면 상 굴곡/신전, 수평면 상 내/외회전)의 비대칭도가 높은 것을 의미하며, 슬관절 수술에 의해 무릎 상부(힙, 골반)의 관절들 역시 영향을 받는 것으로 해석할 수 있다. 환자 B는 요소 c, f, h, i의 상관계수 값이 다소 낮았는데, 이는 고관절의 수평면상 내/외회전, 슬관절의 수평면 상 내/외회전, 발목관절의 관상면 상 내/외전

표 3. 환자들과 정상인들간 무릎 내/외 회전의 상관계수 값의 범위

Table 3. Correlation coefficient ranges of the knee internal/external rotation angles of the patients and normal persons

	(A)		(B)		(C)		(D)		(E)		(F)		P<0.05
Knee R.	min	Max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	
r-value	0.15	0.55	0.52	0.79	0.13	0.53	0.16	0.83	0.62	0.78	0.33	0.84	0~1

3D Gait Analysis of Limb Salvage Patients with Osteoarticular Knee Allograft Reconstruction

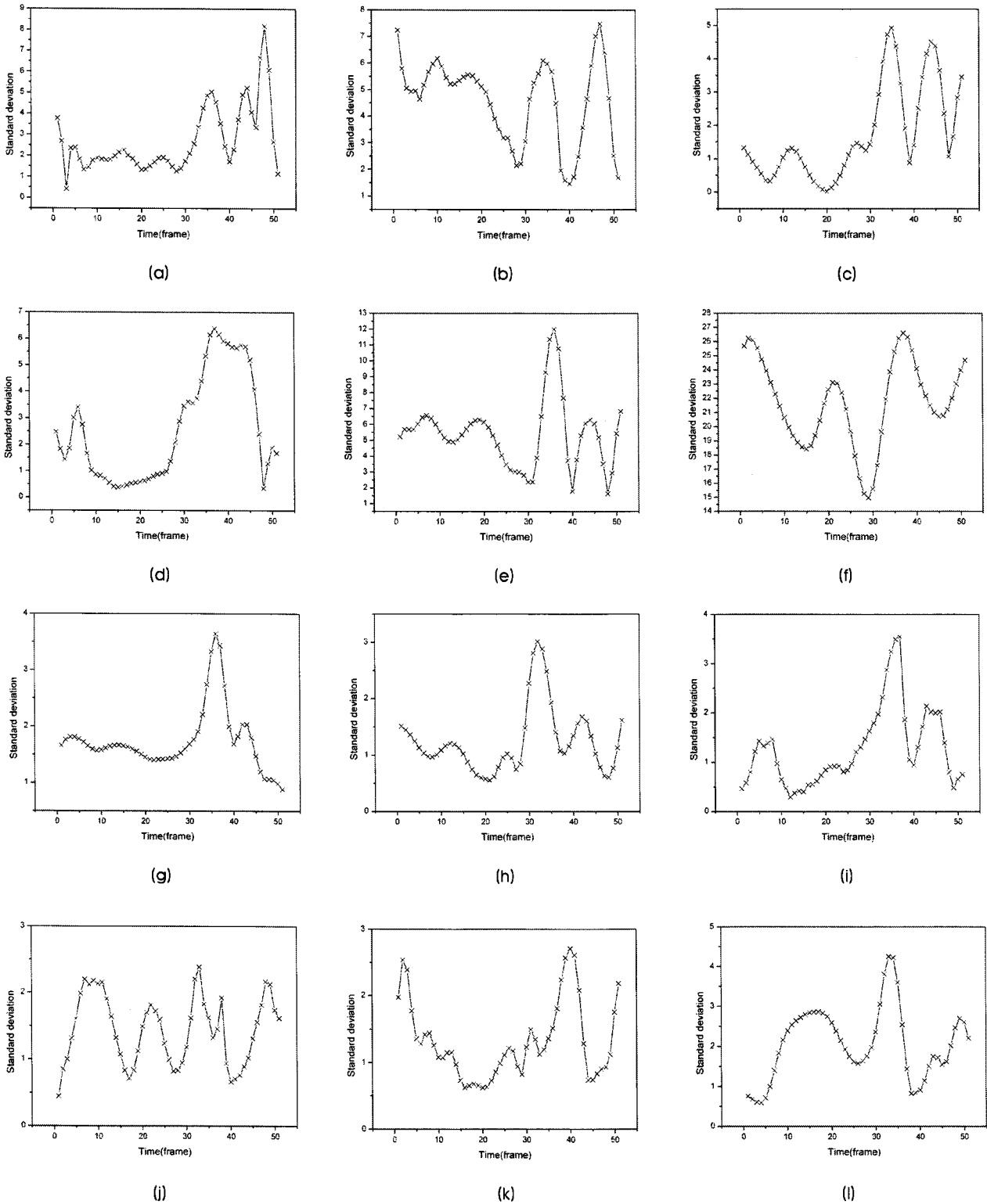


그림 4. 환자와 정상인의 좌우 무릎 내/외 회전 각도의 표준편차

Fig. 4. Standard deviation of knee rotation angles of patients and normal persons; x- and y- axes denote respectively the one gait cycle (50 samples) and normalized standard deviation; patient A-left (a) and right (b); patient B-left (c) and right (d); patient C-left (e) and right (f); normal person D-left (g) and right (h); normal person E-left (i) and right (j); normal person F-left (k) and right (l)

및 수평면상 내/외회전의 비대칭도가 높음을 의미하며, 이 결과를 볼 때 이 환자는 주로 수평면에 수직인 축(z축)에 대한 각 관절의 회전에 공통적인 비대칭성이 존재함을 알 수 있었다. 환자C의 경우 다른 실험군 및 대조군에 비하여 모든 관절에 대해 전반적으로 비대칭성이 현저히 높았는데, 이는 그림 1e,f에 나타난 바와 같이, 환자C가 대퇴골 및 경골과 슬관절 내 모든 구조물이 포함된 슬관절 전체를 이식 받은 환자임을 고려할 때 비교적 예측 가능한 결과라 할 수 있다.

그림 3으로부터, 실험군 환자 모두 요소 f의 비대칭성이 높음을 볼 수 있었으며, 이로부터 슬관절 동종골 사지 구제수술을 받은 환자는 슬관절 내/외 회전에 대한 비대칭성이 좋지 않음을 확인할 수 있었다. 하지만, 평균값이 아닌 표 3에 제시된 상관계수의 최대 최소 값을 고려해 볼 때, 환자B의 상관계수 범위는 $0.52 \leq r \leq 0.79$ 으로 정상인D ($0.16 \leq r \leq 0.83$), 정상인E ($0.62 \leq r \leq 0.78$), 정상인F ($0.33 \leq r \leq 0.84$)와 비교해서 정상인과 거의 차이가 없었으며, 환자A ($0.15 \leq r \leq 0.55$)도 슬관절 동종골 전체 이식환자 C에 비해서 정상인과 많은 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있었다.

그림 3으로부터, 정상인들의 결과는 환자들에 대비하여 비대칭성이 비교적 높게 나타났지만, 정상인 D의 요소 j와 정상인 F의 요소 l의 상관계수 값은 정상인들에게도 골반 회전 각도의 비대칭성이 존재할 수 있음을 보여주었다. 또한, 정상인F는 골반 쪽 비대칭성이 좋지 않음을 볼 수 있는데, 이는 정상인F가 과거(10년 경과) 추간판 탈출증(요추 4~5번)의 병력이 있음을 고려해 볼 때 이에 의한 영향일 것임이 예측되었다.

B. 안정성 분석

전술한 바와 같이, 실험군 환자 모두 수술 부위인 슬관절의 내/외 회전에 대한 비대칭성이 낮게 측정되었다. 실험군 보다는 높지만 대조군인 정상인 역시 이 요소에 대한 비대칭성이 다른 관절 보다 낮게 나타났는데(그림 3), 이들 군 간의 차이를 알아보기 위해 슬관절의 내/외 회전에 대한 보행 안정성을 분석한 결과는 그림 4와 같다.

그림 4는 임상실험 대상자에 대한 좌, 우 슬관절 내/외 회전 관절 각도변화의 표준편차를 나타낸 것으로 이 값이 작을수록 안정적인 보행이라 할 수 있다. 요소 f의 비대칭성이 다소 낮은 환자 A는 그림 4의 a, b에서 무릎 내/외 회전의 표준편차가 큰 것으로 나타나 정상인에 비해 낮은 안정성을 나타내었다. 그림 4의 g, h, k, l에서 살펴볼 수 있는 바와 같이, 정상인D와 F의 슬관절 내/외 회전의 비대칭성은 환자들보다는 높지만 동일인의 다른 관절들 보다는 다소 낮게 나오는데, 이는 비대칭적인 보행습관이 상당기간에 걸쳐 굳어진 것으로 볼 수 있다. 환자A, B는 수술 후유가 좋지만 그림 4의 a~d에 나타난 것처럼 일반인 보다 표준편차가 크기 때문에, 안정성은 좋지 않음을 확인할 수 있고, 재활이 좀 더 요구되는 것으로 예측할 수 있다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구에서는 슬관절 동종골을 이용한 사지 구제수술 환자에 대한 3차원 보행분석을 수행하여, 수술의 성공여부와 환자의 회복 상태를 파악하였다. 이를 위해 6개의 적외선 비디오 카메라를 이용한 3차원 보행측정을 수행하였으며, 개인별로 고유한 보행 패턴 [3,4]으로 인한 측정 오류를 최소화하기 위해 환자와 정상인을 대상으로 동일인의 좌 우측 관절 각도 변화의 비대칭성을 상관분석기법을 통해 분석하였다. 또한, 비대칭성이 정상인과 차이가 나는 관절에 대하여 관절 각도 변화의 안정성을 측정, 비교하여 개개인의 각각 다른 정상보행에 대해서 견고하고 객관적인 분석 결과를 구하였다. 이를 통해 수술의 성공 여부를 명확하게 확인하고, 환자의 수술 후 회복상태를 파악할 수 있음을 제시하였다.

본 연구에서는 제시된 보행분석법을 사용하여 동종골 이식 환자들이 정상인과 보행에서 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였다. 인공관절 이식의 경우 감염, 삽입물의 해리, 폴리에틸렌의 마모와 파손[10], 또한 인공관절 자체의 수명한계와 금속증(metallosis)으로 인한 염증과 해리[11] 등의 요인으로 인한 재치환술이 빈번한 반면[1], 동종골 이식술의 경우 정상인과 유사한 보행 패턴을 유지하면서도 이러한 단점들을 가지지 않으므로, 본 실험을 통해 안정성 측면에서의 동종골 이식의 임상적 유용성을 확인할 수 있었다.

하지만 보다 정확한 보행 측정을 위해서는 본 연구에서 사용한 관절 각도 이외에도 무게에 따른 힘이나 모멘텀과 같은 운동역학적 특성변수[5]와 보행속도, 분속수, 활보장과 같은 시거리 특성변수[5]의 분석이 병행되어야 한다는 점은 본 연구의 한계라고 할 수 있다. 또한 적은 수의 증례로 인해 누적된 통계 분석이 힘들다는 점도 향후 개선해야 할 점이다.

결론적으로, 제시된 보행분석 방법은 추 후 사지 구제수술을 받은 환자 개개인의 고유한 보행 패턴을 분석하여 각 관절들의 재활과 기능 회복을 확인하는데 있어 기존의 방법들보다 객관적이고 신뢰성 있는 결과를 제시할 수 있으리라 기대된다. 또한 슬관절 동종골에 인공관절을 이식했을 경우와 슬관절 동종골을 재건했을 경우에 대한 비교 연구에 활용될 수 있을 것이다. 향후, 제시된 분석 기법과 더불어 3차원 CT데이터로부터 얻을 수 있는 환자의 기구학적 운동학적 정보를 활용하면, 사지 구제수술 환자의 장애 정도에 대한 기구학적 예측모델 구성이 가능할 것이라 생각한다.

참고문헌

- [1] L. Jeys, and R. Grimer, "The long-term risks of infection and amputation with limb salvage surgery using endoprostheses.," *Recent Results Cancer Research*, vol. 179, pp. 75-84, 2008.12.28. sunday, 2009.
- [2] K. Moore, and T. Persaud, *Use of Distal Femoral Osteoarticular Allografts in Limb Salvage Surgery*: WB Saunders Company, 1993.
- [3] H.G. Lim, J.H. Kim, and S. A. Ryu, S.C. Park, Y.S. Lee "A Study

3D Gait Analysis of Limb Salvage Patients with Osteoarticular Knee Allograft Reconstruction

- of Measurement on Reach of Motion using a 3-D Motion Analysis System for Korean Adults(20's and 30's)," *Korean Journal of Sport Biomechanics*, vol. 8, no. 2, pp. 1-20, 1998.
- [4] N. V. Boulgouris, D. Hatzinakos, and K. N. Plataniotis, "Gait recognition: a challenging signal processing technology for biometric identification," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 22, no. 6, pp. 78-90, 2005.
- [5] D. J. Kim, T. B. Ryu, and H. S. Choi, S.M. Kwon, M.K. Chung, "Development of Gait Diagnosis Supporting System using Korean Normal Gait Data," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, vol. 33, no. 4, pp. 480-486, 2007.
- [6] G. R. TACK, Y. M. Han, and J. H. Yi, J. S. Choi, Y. T. Lim, J. H. Jun, S. K. Park, S. H. Park, S. Darren, "Relationship between Walking Speed and Smoothness of Movement," *Korean Journal of Sport Biomechanics*, vol. 16, no. 1, pp. 11-17, 2006.
- [7] C.Y. Chung, M. C. Lee, and T. G. Kim, Y.W. Moon, S.T. Lim, S.C. Seong, "Gait Analysis after Total Knee Arthroplasty," *J. of Korean Orthop. Assoc.*, vol. 32, no. 5, pp. 1290-1301, 1997.
- [8] C.Y. Chung, M.S. Park, and T. J. Cho, I.H. Choi, W.J. Yoo, J.Y. Kim, "Three Dimensional Gait Analysis in Normal Korean -A Preliminary Report-", *J. of Korean Orthop. Assoc.*, vol. 40, no. 1, pp. 83-88, 2005.
- [9] J. H. Park, K. Son, and K. H. Kim, "Chaos Analysis of Major Joint Motions for Young Males During Walking," *The journal of The Korean Society of mechanical Engineers A*, vol. 31, no. 8, pp. 889-895, 2007.
- [10] W.S. Cho, Y.S. Youm, and B. S. Yang, "The Causes of Revision Total Knee Arthroplasty," *J. of Korean Orthop. Assoc.*, vol. 42, no. 2, pp. 216-220, 2007.
- [11] C.H. Chun, K.M. Kim, and H. J. K. S.H. Kweon, K.J. Jeong, "Revision Total Knee Arthroplasty using NexGen LCCK with Allograft," *J. of Korean Orthop. Assoc.*, vol. 43, no. 6, pp. 728-737, 2008.