

무릎관절 전치환술의 평가 시스템에 관한 연구 Study of Evaluation System for Total Knee Arthroplasty

*송일현¹, 김우영¹, 박종오¹, #박석호¹, 선종근², 송은규²

*I. H. Song¹, W.Y.Kim¹, J.O.Park¹, #S.H.Park(spark@jnu.ac.kr)¹, J.G.Sun², E.K.Song²

¹전남대학교 기계시스템공학과, ²전남대학교화순병원

Key words : Total Knee Arthroplasty (TKA), Evaluation, Robotic System

1. 서론

인체 해부학에서 무릎관절은 넓적 다리뼈와 정강이뼈를 잇는 다리 관절이다. 사람의 경우 무릎이 몸의 거의 모든 무게를 지탱하기 때문에, 갑작스런 충격이나 상처, 골관절염에 가장 취약한 관절이다. 무릎관절은 주로 노령화와 외상, 비만 등의 이유로 손상이 발생하게 되며, 심한 경우 생활에 큰 불편을 줄 정도로 거동이 힘들게 된다. 오늘날 인구의 노령화로 인한 퇴행성관절염과 비만으로 인한 무릎관절 손상이 증가하면서 무릎관절 전치환 수술의 시행 빈도수도 해마다 늘어나고 있는 추세이다[1].

본 연구에서는 로봇을 사용한 무릎관절 전치환술 평가 시스템에 관한 연구를 진행하였다. 향후 로봇 테스트 시스템을 통해 수술의 결과를 미리 예측하고 수술 중 발생할 수 있는 문제를 예상함으로써 환자에 맞는 효과적인 수술을 할 수 있도록 하는 평가 시스템을 설계하였다.

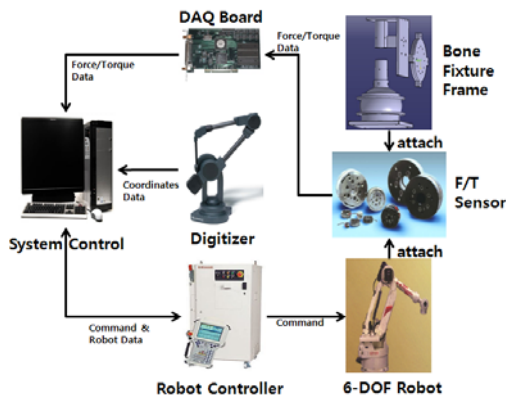


Fig. 1 Structure of Robotic System

2. 로봇 평가 시스템 구성

본 연구에서 우리는 다양한 무릎관절 전치환술을 평가하여 수술기법에 따른 차이를 파악하고 환자에 맞는 수술 변수들을 찾기 위한 TKA 평가 로봇 시스템을 Fig. 1과 같이 구성하였다.

제안된 시스템은 무릎관절의 동작을 모사하여 구현하기 위한 로봇과 로봇-PC를 연결해주는 로봇 컨트롤러, 관절에 작용하는 힘을 측정하기 위한 Force-Torque (F/T) Sensor, 시스템의 좌표계 설정 및 초기 테스트환경 설정을 위한 디지털타이저 등으로 구성되어 있다. 로봇 시스템의 동작은 PC에 의해 제어되며 이를 위해서 Visual Studio 2005를 사용하여 시스템 구동 프로그램을 제작하였다.

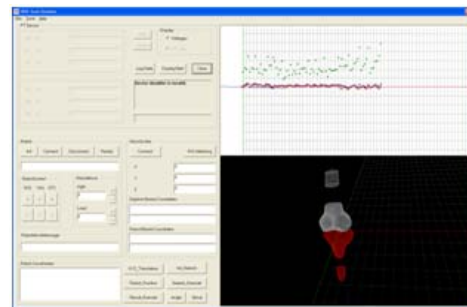


Fig. 2 GUI Program

3. TKA 평가 시스템의 구동 알고리즘

본 연구에서 구성한 로봇 시스템은 실시간으로 PC에서 계산된 값을 바탕으로 동작하게 된다. Fig. 2는 시스템을 제어하고 실행시키기 위해서 제작한 GUI 프로그램을 보여준다.

GUI 프로그램에는 로봇과 F/T Sensor, 디지털타이저를 PC에 연결시키고 데이터를 주고받

으며 로봇의 동작을 위한 계산을 실시간으로 수행하기 위한 기능을 구현하였다. 그리고 시스템이 동작하는 동안의 힘의 변화를 보여주고 로봇의 동작에 따른 무릎관절의 변화를 확인 할 수 있도록 하였다.

로봇 시스템은 로봇 좌표계를 기준으로 모든 동작을 하게 되므로 디지털타이저를 시스템에서 사용하기위해 디지털타이저 좌표계를 로봇 좌표계와 매칭 시키는 작업이 먼저 선행되었다. 좌표계 매칭작업이 완료 되고 로봇의 툴 좌표계를 등록하면 로봇은 로봇의 툴 좌표계를 기준으로 동작을 하게 된다. Fig. 3은 실험을 위해 모형 뼈가 평가 시스템에 장착된 모습과 로봇의 툴 좌표계를 보여준다.



Fig. 3 Experimental Setup and Robot Tool Axis

로봇의 역 자코비안[2]과 F/T Sensor 값을 사용한 연산을 통해서 변위를 구하여 로봇에 명령을 하면 로봇은 X, Y축을 기준으로 미소 회전 운동을 반복하여 무릎관절의 자세를 찾게 된다. 무릎은 초기 일직선 상태를 0°로 설정하여 120°까지 굽혀지는 굴곡 운동을 하며 각 각도에서의 최적의 자세를 찾는 과정을 반복하게 된다. 최적의 자세는 무릎관절에 작용하는 힘과 토크를 측정하여 힘을 가하는 축을 제외한 나머지 두 축 방향으로 가해지는 힘이 최소가 되는 로봇의 자세이다. 로봇 시스템의 동작 테스트가 끝나면 총 120개의 최적 자세가 구해지고 각각의 자세를 모두 연결하게 되면 0°~120°사이의 무릎관절의 기준 굴곡 운동과정이 만들어진다.

Fig. 4는 시스템을 사용하여 각 굽힘 각도에서 최적의 자세를 구한 결과 각각의 자세에서 무릎관절에 작용하는 3축의 힘을 보여주고 있다. Fig. 5는 인공관절의 로봇 테스트 결과 무릎

의 굴신운동에 대한 관절 경골의 내번-외번각(X축 회전량)의 변화량을 보여주고 있다. Fig. 6은 Z축에 대한 회전량을 보여주고 있다. 무릎관절의 굴신운동에 대해서 해석해 놓은 연구결과[3]와 비교한 결과 인공무릎 관절 경골의 내번-외번각의 변화량과 Z축에 대한 회전량이 실제 무릎운동의 결과와 유사함을 확인 하였다.

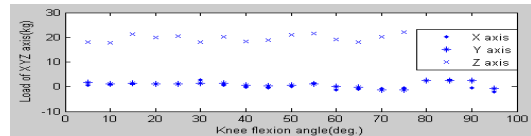


Fig. 4 Load of Three Axis during Test

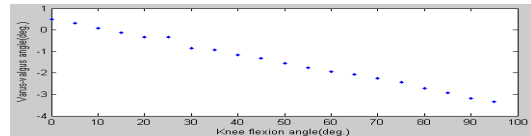


Fig. 5 Varus-Valgus Angle during Test

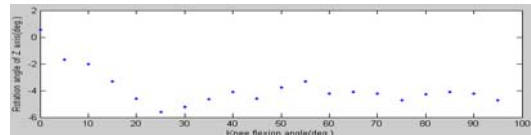


Fig. 6 Rotation Angle of Z-axis during Test

4. 결론

우리는 로봇 시스템을 통해 인공관절을 사용하여 무릎관절의 운동을 재현하고 정상적인 무릎관절 운동과의 비교를 통해서 본 시스템의 적절성을 검증하여 평가 시스템으로서의 가능성을 파악하고자 하였다. 로봇 시스템을 사용한 테스트 결과 본 시스템이 정상무릎 관절의 운동을 구현 하여 평가시스템으로 활용가능함을 검증하였다. 시스템에 대한 연구가 완료되면 환자에 맞는 수술 기법과 변수들을 찾아 효과적인 전치환술을 시행할 수 있을 것으로 기대되어 진다.

참고문헌

1. http://www.sciencetimes.co.kr/article.do?atid_x=0000017870 (인터넷과학뉴스 사이언스 타임즈)
2. Saeed B. Niku, "Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications", Prentice Hall, Inc, 2001.
3. 문병영, 손권, 박성홍, 서정탁, "인체 무릎 관절의 굴신 운동 해석 기법", 한국정밀공학회지, Vol. 20, No. 10, 233-239, 2003.