

게이지 정합 방법을 이용한 소형 인공고관절 수술로봇의 개발

신호철* · 박영배* · 윤용산* · 권동수* · 이정주* · 원중희**

Robot assisted THA surgery using gauge based registration

Ho-chul Shin, Young-bae Park, Yong-san Yoon, Dong-soo Kwon, Jung-ju Lee, Chung-hee Won

Key Words : THA(인공고관절전치환술), robot surgery(로봇수술), artificial joint(인공관절), registration(정합)

Abstract

In orthopedics, hip arthroplasty is the operation that replaces damaged hip joint to artificial joint. In hip arthroplasty, quite better result can be achieved if robot is applied to machine cavity in bone, especially when cementless stem is used. So several kinds of robots were introduced for hip arthroplasty, but they used MRI, CT Scan, vision analysis and real time tracking of bone position for registration of robot. To overcome shortage of conventional robot surgery, gauge based registration method was proposed and small robot was designed. In this method, small robot is mounted on femur, and its position is determined by gauge registration method. Operation procedure was performed on model femur and result was analyzed. This robotic hip surgery system is expected to more adaptable in operation room.

1. 서론

인공관절 치환 수술은 질병이나 사고로 인한 회복불능의 관절을 인공관절로 치환하는 수술을 말한다. 인공관절 치환 수술의 주요 대상은 고관절(hip joint)과 슬관절(knee joint)등이며 인공관절은 시멘트를 사용하는 것과 시멘트를 사용하지 않는 것으로 나눌 수 있다. 뼈의 성장이 활발한 젊은 사람에게는 가급적 이물질인 시멘트를 사용하지 않는 시멘트 비침가 인공관절(cementless stem)을 사용하는 방향으로 가고 있다. 시멘트 비침가 인공관절은 표면에 작은 공극(porous)들을 만들어 뼈가 성장하여 들어감으로써 인공관절이 고정되는 방식이며 뼈와 공극의 간격이 뼈의 성장에 중요한 영향을 미친다. 기존의 수작업 수술에서는 대퇴골의 가공표면과 인공관절의 접합도가 불충분하여 수술 후 환자의 회복을 더디게 하고 인공관절의

수명을 단축시키는 문제가 있었다. 대퇴골 가공에 로봇을 활용함으로써 표면의 정밀도를 높여 이러한 문제를 해결하고자 하였으나[1], 뼈의 위치를 로봇에게 인식시키는 정합과정을 위해 CT Scan, MRI, 실시간 영상처리장비등의 고가 장비가 사용되고 환자에게 편 삽입의 불편을 가중시키는 단점이 있었다. 또한 대퇴골 가공을 위해 다 자유도의 로봇이 필요해 큰 로봇 시스템이 필요하였다.

이러한 문제점을 해결하고자 게이지 기준 정합 방법이 제안되었으며[2], 이에 대한 오차가 분석되었다[3]. 게이지 정합방법에 적합한 대퇴골 부착식 소형 로봇을 제안하였으며[4], 모형 대퇴골에 대해 수술과정을 적용하여 제안된 시스템의 정확도를 측정하였다.

2. 게이지 정합 수술과정

2.1 게이지 정합

로봇으로 대퇴골을 가공하기 위해서는 뼈의 위치 정보를 로봇에게 전달할 필요가 있다. 기존의

* KAIST 기계공학과

** 충북의대

시스템에서는 이를 위해 MRI, CT Scan, 실시간 영상처리장비등의 고가장비가 사용되며 환자에게 편압의 불편을 야기하는 단점이 있었다. 제안된 게이지 정합에서는 외과의가 인공고관절의 삽입 위치를 결정하고 그 위치에 따라 게이지를 삽입하면 게이지의 위치를 이용하여 로봇을 대퇴골에 고정시키고 로봇이 작업을 수행하도록 하였다. 게이지는 실제 수작업 수술 시 사용되는 리머와 스타터를 이용하여 제작이 되었으며 이것은 대퇴골의 골강(bone cavity)에 삽입이 되므로 일관성 있는 위치를 확보할 수 있다.

2.2 게이지 정합 수술과정

게이지 정합의 수술과정을 Fig.1에 나타내었다.

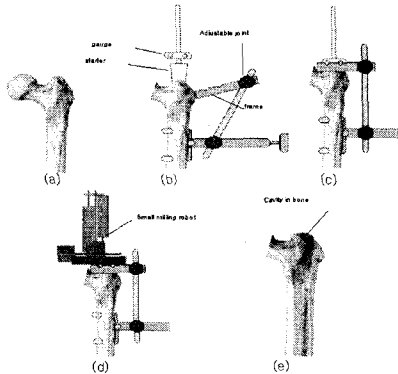


Fig. 1 Operation procedure

(a)는 수술전의 대퇴골이며 (b)는 수술을 위해 대퇴골 골두가 제거된 후 로봇부착 프레임이 부착되고 게이지가 삽입된 상태를 나타낸다. 게이지가 삽입되면 (c)에서와 같이 로봇부착 프레임이 게이지에 맞춰 정렬되며 고정된다. (d)로봇부착 프레임이 고정되면 로봇이 프레임에 부착되며 외과의에 의해 원점조정을 수행한다. 원점조정 수행 후 작업이 시작되며 (e)와 같이 뼈에 대퇴골 주대(stem)의 삽입구가 가공된다. 제안된 수술방법은 기존의 수작업 수술과정의 삽입구 확장 작업을 로봇이 대신하는 것으로 임상적용에 큰 무리가 없을 것으로 보인다.

3. 소형 수술로봇

3.1 소형 수술로봇의 개발

일반적으로 대퇴골에 인공관절 주대를 위한 삽입구를 가공하기 위해서는 6 자유도의 로봇이 필요하므로 기존의 로봇시스템은 크기와 무게가 클

수 밖에 없었다. 제안된 수술과정은 로봇을 대퇴골에 부착하는 방식이므로 3 자유도의 로봇만으로도 원하는 작업을 수행할 수 있다. 제안된 수술방법에 적합하도록 Fig.2의 직교좌표형태의 소형 수술로봇을 제작하였다. 로봇의 무게는 1.1kg 이고 크기는 23x23x28cm이다.

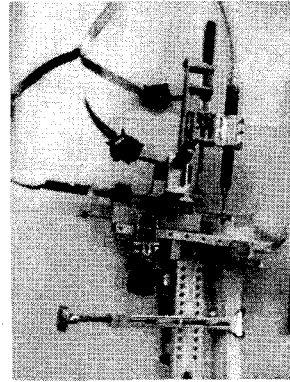


Fig. 2 Robot system

4. 실험결과

4.1 모형대퇴골의 가공

제안된 수술방법과 개발된 로봇을 사용하여 모형 대퇴골에 대해 게이지 정합방법과 대퇴골 가공을 수행하였다. 인공관절 주대의 모델링오차를 방지하기 위해 모형주대를 제작하고 이에 대해 실험을 수행하였다. 가공된 모형 대퇴골은 Fig.3과 같다. 가공시간은 10~15분 정도 소요되었으며 어느 정도 가변이 가능하다.



Fig. 3 Shaped model femur

4.2 오차분석

인공관절 주대를 대퇴골에 삽입하는 경우에 있어 오차는 크게 정렬오차(alignment error)와 접합도 오차(fitness error)로 나눌 수 있다. 정렬오차는 대퇴골에 인공관절 주대가 얼마나 정확히 삽입되었는지를 나타내는 것이며 여기에는 외과의가 의도하는 위치대로 게이지가 삽입되지 않아서 발생하는 오차와 정합과정 중에 발생하는 오차이다. 접

합도 오차는 인공관절 주대와 대퇴골 사이의 접합도를 말하며 접합도 오차는 로봇부착 프레임의 대퇴골 고정강도, 주대 모델링오차, 로봇 정밀도 및 뼈의 상태등에 의해 영향을 받는다.

4.2.1 정렬오차 분석

제안된 시스템에 대해 게이지 삽입오차와 정합오차 및 수술 후 환자의 거동에 중요한 영향을 미치는 Angle of torsion 의 오차를 측정하였다. 게이지 삽입오차와 인공관절 주대의 삽입오차는 대퇴골의 Anatomical axis 방향에 대한 각도의 편차와 proximal end 에서 거기에 수직한 거리의 편차에 대해 측정하였다. 게이지 삽입오차는 동일한 모형 대퇴골 10 개에 대해 수행하고, 인공관절 주대의 삽입오차는 앞서 사용한 모형대퇴골 중 5 개를 무작위로 선정하여 수술작업을 수행하고 인공관절 주대를 삽입한 후 측정하였다. 정합오차는 인공관절 주대의 삽입오차와 게이지 삽입오차의 차이로 나타나며 각 오차에 대한 결과는 Table.1 과 같다. 정합오차에서 거리오차가 없는 것은 게이지 정합 후 외과외가 원점조정을 하기 때문이다. 정렬오차들은 게이지 디자인을 개선할 경우 상당히 줄어 들 수 있다.

Table.1 Alignment error

오차	평균	최대
게이지 삽입오차	$\pm 1.6^\circ$	2.9°
	$\pm 0.9 \text{ mm}$	2.1 mm
인공관절 주대의 삽입오차	$\pm 2.6^\circ$	4.1°
	$\pm 0.9 \text{ mm}$	1.4 mm
정합오차 (주대 - 게이지)	$\pm 1.0^\circ$	/ °
	$\pm 0.0 \text{ mm}$	/ mm
Angle of torsion 오차	$\pm 2.8^\circ$	3.5°

4.2.2 접합도 오차

접합도 오차는 대퇴골과 인공관절 주대 사이의 간극을 말하며 뼈가 인공관절 주대 표면의 공극으로 자라 들어가는데 중요한 영향을 미친다. 접합도 오차를 측정하기 위해, 가공된 모형대퇴골에 인공관절 주대를 삽입하고 그 간극을 측정하였다. 간극은 주대의 상단, 중단 및 하단에 대해 간극이 있는 부위에 대해서 측정을 하였다. 결과는 Table.2 와 같다.

Table.2 Fitness Error

위치	상단	중단	하단
간극	0.12 mm이하	0.20 mm이하	0.29 mm이하

5. 결 론

본 연구에서는 실제 수술환경에 적합한 게이지 정합을 이용한 인공고관절 수술방법을 제안하고 이에 적합한 소형인공 고관절 수술로봇을 개발하였다. 제안된 방법은 기존의 수작업 수술 중 골강 확장작업을 로봇이 수행하는 것으로 실제 수술과정에 쉽게 대체될 수 있다. 또한 로봇을 대퇴골에 부착하는 방식으로 소형의 시스템 구현이 가능하였다. 개발된 시스템을 모형 대퇴골에 대해 적용하여 실험을 수행하였으며 결과를 분석하였다. 개발된 시스템은 기존의 인공고관절 수술로봇시스템과 달리 고가의 장비를 사용하지 않으면서 기존의 시스템과 비교하여 만족할만한 결과를 보여주었다. 추후 사체실험을 통해 실제 임상적용 가능성을 시험한 후 실제 임상적용이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 KAIST 의 Human-friendly Welfare Robot System Engineering Research Center 의 지원에 의해 수행되었음

참고문헌

- (1) J. Pransky, 1998, " Surgeons' realizations of ROBODOC ", Industrial Robot Vol.25 No.2, pp.105-108.
- (2) Lee E H, Yoon Y S, Park Y B., 2000, " Study of surgical robot registration method using block gauge ", Proceedings of the first International Workshop on Human-friendly Welfare Robotic Systems, KAIST
- (3) Y.S. Yoon, J.J.Lee, 2001, D.S. Kwon, A.J. Hodgson, T. Oxland, " Accurate femoral canal shaping in total hip arthroplasty using a mini-robot ", Proceedings of ICRA
- (4) Hochul Shin, Youngbae Park, Yongsan Yoon, Dongsoo Kwon, Jungjoo Lee, Chunghee Won, 2001, " Development of Hip Joint Replacement Surgery Robot for Gauge based Registration ", Proceedings of the 2nd International Workshop on Human-friendly Welfare Robotic Systems, KAIST