

Computer-Assisted Total Hip Arthroplasty

Kang-Il Kim, MD, PhD, Kee-Hyung Rhyu, MD, PhD, Kye-Youl Cho, MD, Dae-Seok Huh, MD

Department of Orthopaedic Surgery, Kyung Hee University School of Medicine, Seoul, Korea

Despite the overall satisfactory results of total hip arthroplasty, post-operative complications continue to occur. To minimize these problems, computer-assisted total hip arthroplasty using navigation or robot-assisted systems is being developed. A navigation system is defined as a system that locates a position in three-dimensional space and traces the target spot, and a robot-assisted system is defined as a system that performs operations automatically with mechanical robot arms based on prior preoperative planning. Computer-assisted surgeries have shown superior results to conventional methods in implant positioning, fixation, and accurate lower extremity alignment in the limited reports available. However, computer-assisted surgeries take longer compared to conventional methods. Due to the extra time needed, the risk of postoperative infection and blood loss is considered to be higher. Nevertheless, robot-assisted system is being developed for the field of hip arthroplasty, and thus its efficacy and accuracy needs to be further investigated. Since these methods have other advantages compared to conventional methods, they are the focus of much interest.

Key Words: Hip, Total hip arthroplasty, Computer-assisted orthopaedic surgery, Robot-assisted, Navigation

서 론

인공 고관절 수술은 10년 이상의 추시 보고에서 90% 이상의 생존율을 보여주는 우수한 치료법이다. 그러나 인공관절의 실패¹⁾나 수술 후 합병증도 여전히 발생하고 있어 현재까지도 많은 인공관절 기법들이 그러한 문제들을 최소화하고 환자들의 임상 결과를 개선하기 위하여 개발되고 있다. 이러한 결과로 최소 침습 수술(Minimal Invasive Surgery, MIS)²⁾과 같은 기법 등이 도입됨과 동시에 다른 영역의 수술들과 마찬가지로 컴퓨터를 이용한 정형외과 수술(Computer-Assisted Orthopaedic

Surgery, CAOS)이 개발되었다³⁻⁵⁾. 고식적 방법으로 수술 시 사용하는 인공관절의 이상적인 삽입 위치를 알려주는 기구들도 개량되어 왔지만, 모든 환자의 해부학적 형태가 동일하지 않으며 수술 시 골반 위치를 늘 정확하게 하는 것은 사실 상 어려운 일이므로 그 기구들에 의지하여 수술을 한다는 것은 가끔은 잘못된 결과를 야기하고^{6,7)} 그 정확도는 술자가 생각하는 정확도와는 거리가 멀 수도 있기 때문에 컴퓨터 응용 인공관절 수술이 도입되기에 이르렀다. 이 중 네비게이션 시스템은 정확한 인공관절의 삽입 위치와 올바른 하지 정렬을 얻을 수 있다는 장점이 발표되고 있으나 이로 인한 수술 시간의 지연이나 비용의 상승 및 이에 따른 합병증 등이 보고되고 있고 일부 술자는 그 정확성에 대해서도 부정적이다^{8,9)}. 로봇 보조 수술 역시 이론적인 장점에도 불구하고 고가의 로봇 가격, 수술 전 계획에 많은 노력과 시간이 걸린다는 점, 수술 중 로봇의 정지 시엔 고식적인 수술로 전환해야 한다는 점 등의 단점도 지적되고 있다^{4,10,11)}. 저자는 컴퓨터 응용 인공관절 수술의 두 가지 큰 흐름인 네비게이션 이용 수술 및 로봇 보조 수술에 대한 고찰을 저자의 임상적 경험과 함께 기술하고자 한다.

Submitted: January 21, 2011

1st revision: June 3, 2011

2nd revision: September 14, 2011

3rd revision: September 22, 2011

4th revision: September 27, 2011

5th revision: October 13, 2011

6th revision: October 27, 2011

7th revision: November 7, 2011

Final acceptance: December 7, 2011

• Address reprint request to **Kang-Il Kim, MD, PhD**

Department of Orthopaedic Surgery, Center for Joint Diseases and Rheumatism, Kyung Hee University Hospital at Gangdong, 892 Dongnam-ro, Gangdong-gu, Seoul 134-727, Korea

TEL: +82-2-440-6151 FAX: +82-2-440-6296

E-mail: drkim@khu.ac.kr

Copyright © 2011 by Korean Hip Society

정의 및 분류

“네비게이션(navigation)”이란 삼차원적인 공간에서 위치를 찾고 목표 지점을 추적(tracking) 하는 시스템을 말한다. “로봇”은 사전에 프로그램을 입력된(pre-programmed) 명령에 기초하여 기계적인 로봇팔(manipulator)이 자동적으로 작업을 수행하는 것을 말한다. 네비게이션 시스템은 실제 우리의 일상 생활에 많이 만날 수 있고 이용하고 있어 부연 설명이 필요 없어 보이지만 수술용 로봇에 대해서는 부가적으로 설명을 하고자 한다. 수술용 로봇은 ‘능동형(active)’, ‘수동형(passive)’, ‘반능동형(semi-active)’의 세가지로 나뉜다. 능동형 로봇은 수술 전에 로봇에 미리 입력해 놓은 프로그램에 따라서 로봇이 수술하는 기구들을 스스로 조정하여 직접적으로 수술을 수행하는 것을 말하며 수동형 로봇은 수술 시 로봇이 절골용 ब्ल록을 올바르게 안내하고 잡고 있거나 연부 조직을 견인하는 등의 일을 하면 이때 술자가 어떠한 움직임의 제한을 받지 않고 그것들을 이용하여 손쉽게 뼈를 자르거나 다른 기구를 이용하여 수술을 시행하는 것을 이른다. 반능동형은 로봇이 수술 도구의 움직임을 정해진 경로에 맞게 제한하지만 술자가 이 작업을 스스로 시행하게 되는 것으로, 다시 말하면 로봇과 술자가 같이 수술을 시행하는 개념이다.

로봇 및 네비게이션 수술의 기원

최초로 외과 분야에서 로봇을 이용한 것은 신경외과 영역의 뇌수술에서 stereotactic frame을 대신한 passive pointing device로 사용된 것이다¹¹⁾. 최초의 active surgical robot은 Robodoc® (Integrated Surgical Systems, Davis, CA, USA)이다. 1980년대 후반 처음 도입된 것은 무시멘트형 일차 인공 고관절 전치환술에서 이용되었다. 1994년에 Robodoc®은 유럽에서 판매허가가 나왔으며 고관절 재치환술, 일차 인공 슬관절 치환술, 슬관절 부분 치환술 등에서 주로 독일에서 개발되었다. 미국에서는 최근 식품의약국(FDA)으로부터 허가를 받았다. Robodoc®은 이후 3~4회의 개선 작업을 거치면서 현재의 모델에 이르렀으며 독일을 중심으로 한 유럽과 일본, 우리나라 등에 보급되어 사용되고 있다¹²⁾. 독일에서 개발된 Caspar®는 더 이상 쓰이지 않는 active robot이며 영국에서도 semi-active robot인 Acrobot®이 개발되어 인공 슬관절 치환술, 척추 수술 등에 사용되었다¹³⁾. 또한 다른 형태의 수술용 로봇들도 척추 수술이나 골절의 고정 등에 이용되기 위하여 개발되고 있는 실정이다.

네비게이션 수술은 1990년대 초에 척추 및 신경외과 수술에서 tool-tracking device로 먼저 사용되었다¹⁴⁾. 인공관절 수술에서의 네비게이션의 적용은 1990년대 후반부

터 주로 유럽에서 시작되었다. 로봇에 비하여는 구입에 드는 비용 부담이 적은 것이 하나의 매력으로도 작용되었다¹⁵⁾. 다양한 네비게이션 장치들이 상업적으로 유럽과 미국 등지에서 사용되고 있고 천천히 아시아 지역으로도 확대되고 있는 실정이다. 또한 최소 침습 인공관절 수술의 출현이 네비게이션이나 로봇 보조 수술의 관심을 다시금 일으키고 있다. 최소 침습적 방법으로 시행할 경우 논란의 여지는 있으나 일반적으로 고관절 외전근 등 연부 조직 손상을 최소화 함으로써 수술 후 통증 감소, 조기 보행, 재원 기간 단축 등 초기 임상 결과가 고식적 수술보다 양호하다고 알려져 있다²⁾. 그러나 이 수술의 단점으로 제한된 수술 시야 및 수술 부위의 노출로 인하여 부적절한 치환물의 삽입과 이로 인한 조기 삽입물 이완이 보고되고 있다⁶⁾. 따라서 최소 침습적 방법으로 인공관절 전치환술을 시행할 경우 치환물의 정확한 삽입이 수술의 성공 여부에 보다 중요한 요소가 된다¹⁶⁾. 따라서 최소 침습 수술 시 상기 문제들을 해결하기 위하여 컴퓨터 수술을 병행하는 방법들이 보고되고 있다. 이 두 개의 CAOS에는 분명한 특색이 있다. 네비게이션 수술을 하는 경우에는 정형외과 의사가 여전히 실질적인 인공 관절 수술의 모든 일을 하는데 반하여, active robot 시스템에서는 사전에 입력된(pre-programmed) 자료를 바탕으로 수술용 로봇이 직접 인공관절 삽입을 위한 골 조직 자르기 등을 시행하게 된다. 그러나 현재의 Robodoc®은 인공고관절의 많은 시술 가운데 대퇴골의 절단 및 밀링(milling) 기능에 국한되고 있다.

수술 전 계획

인공 관절 수술 시 수술 전 계획이 중요하고 성공적인 수술을 위한 작업이라 알려져 있으나 실질적으로 대부분의 술자들은 수술 전 방사선 사진을 보고 환자에 맞는 인공관절의 형태나 크기를 선정하는 작업에 그리 많은 시간을 투자하지는 않고 있다. 그 이유는 이것의 이론적인 가치를 실제에서는 찾기가 힘들다는 것이다. 또한 한가지 중요한 이유 중 하나는 그 계획이 실제 그리 정확하지 않다는 것이다. 술 전 계획이 수술 시 일반적인 가이드 역할을 할 수는 있지만 대부분의 술자들은 수술 시 본인이 보는 것과 느끼는 것을 더 중요시 하여 인공관절의 크기나 위치 선정을 하는 것이 현실이다. 그러나 최소 침습 수술과 같은 경우에는 수술 중 수술 시야가 좁기 때문에 정확한 수술 전 계획이 더 중요하다. 고식적인 수술 전 계획은 일반적인 단순 방사선 사진과 아세테이트로 되어있는 모형(template)을 가지고 시행한다. 이러한 이차원적 영상과 영상 확대 정도, 촬영 시 하지 회전의 정도 등이 합쳐지면 결국은 큰 오차를 야기하게 된다. 반면 CT scan은 영상 확대에서 오는 비율의 오차나 하지 회전 오차를 없앨 수 있으며 술자에게 삼차원적 영상을 제공한다. 로봇 보조

수술과 일부 네비게이션 시스템은 수술 전 영상으로 CT를 이용하며 이것이 결국 더 정확한 술 전 계획을 가능하게 한다. 그러나 만약 로봇이나 네비게이션에서의 영상 자체가 정확하지 않은 경우에는 수술 시 오차가 발생할 수밖에 없다.

능동형 로봇에서는 로봇이 술 전 계획을 정확하게 실행



Fig. 1. The robot monitor shows bone milling procedure according to the preoperative planning.

에 옮긴다¹⁷⁾. 그러나 많은 술자들이 로봇 보조 수술을 위해 술 전 계획을 수행하는 것을 꺼리고 이것이 로봇 보조 수술의 큰 단점 중의 하나라고 느낀다. 그러나 반대로 생각하면 로봇 보조 수술의 주요 장점 이야말로 술자가 시행한 수술 전 계획대로 수술실에서 로봇이 실제로 수술을 정확하게 실행한다는 것이다(Fig. 1). 모든 로봇과 네비게이션 수술의 목표는 술자가 범할 수 있는 인간적인 오차(human error), 실수를 줄이는 데 있다. 네비게이션 시스템의 장점은 술 전 계획이 별로 요구되지 않는다는 것이다. 이를 위해 시스템 안에서 가상의 뼈가 사용되고 수술 시 골 표면에 표시를 함으로써 환자의 뼈를 구현한다. 술자가 네비게이션 시스템 안의 소프트웨어에 저장된 자료에 기인한 인공관절의 위치, 권장하는 크기 등에 동의만 한다면 술 전 계획은 필요 없을 수도 있다. 이것이 근간에 인공관절 수술 시 널리 쓰이고 있는 소위 “CT-free” 또는 “image-free” 네비게이션 시스템이다⁵⁾.

등록(Registration)

로봇과 네비게이션 시스템 모두 인체에서 사용되기 위해서는 해당 환자들의 뼈를 자체 시스템에 등록해야만 한

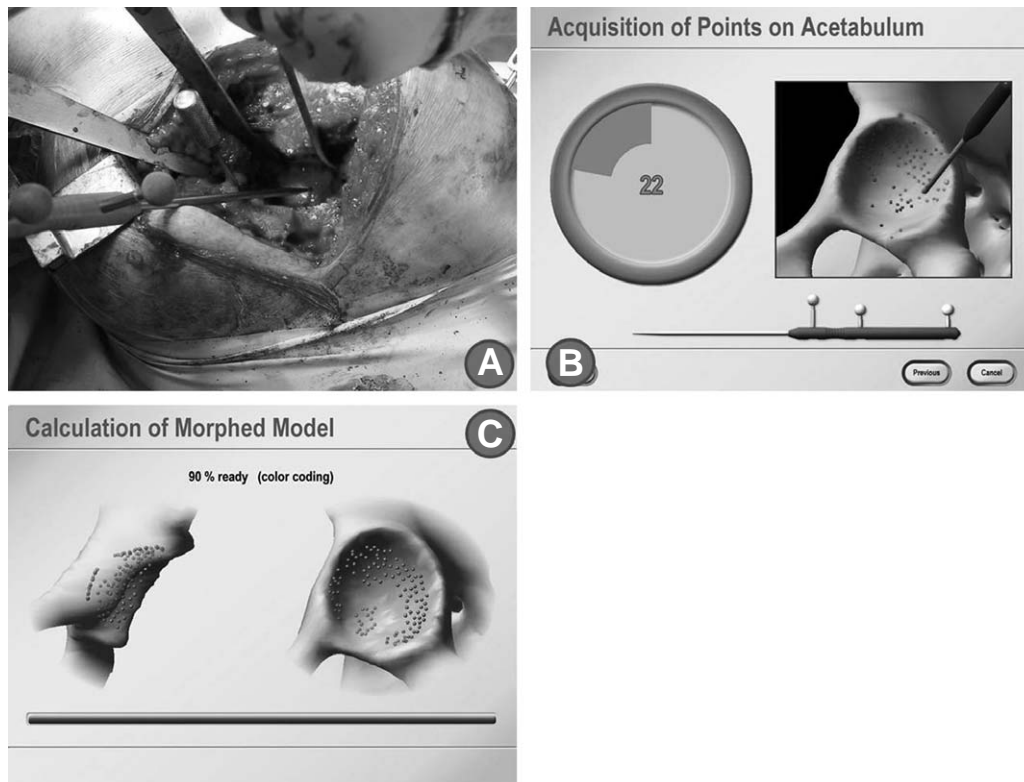


Fig. 2. (A) After incise the skin as a routine manner and expose the acetabulum, the cotyloid fossa and acetabular surface, including margin, must be acquired using multiple landmark acquisition. (B) To begin multiple landmark acquisition, hold the tip of the pointer to the required structure and pivot it slightly. The location of the points is a key factor in a proper matching to ensure in every steps. Acquire points by sliding the pointer tip along the defined structure. (C) One the bone model has been calculated in the navigation monitor, verify the pelvis registration immediately.

다. 여기에는 두 가지 방법이 있는데 표면에 지시자(pointer)를 얹어 그 점들을 모아 합성하는 방법(surface pointing/surface mapping)과 투시 방사선으로 영상을 조합하여 환자의 뼈 형상을 만드는 방법(fluoroscopic image matching)이 있다. surface pointing 방법은 술자가 탐색자(probe)를 가지고 수술 부위의 골 조직 표면 중 특별한 위치를 찍거나 넓은 부위를 긁어 등록하는 방법이다(Fig. 2A, B). 이들 점들은 이미 저장된 CT 영상에 지도화되어 기계에 입력된다(Fig. 2C). fluoroscopic image matching은 전후면, 측면의 두 가지 실시간 영상으로 각각의 점들을 마크한 후 영상 장치에 입력하는 것이다. 그러나 이들 방법 모두 상당한 오차를 유발할 가능성이 있다. Imageless 네비게이션은 양측의 전상 장골극(anterior superior iliac spine)과 치골 결절(pubic tubercle) 또는 치골 결합(pubic symphysis)을 기준점으로 사용하게 되고 이를 수술 중 surface pointing을 통해 입력하게 된다. CT-based 네비게이션과 비교하여 그 정확도는 통계적인 차이가 없다는 것이 일반적인 보고이다^{8,18,19}). 그러나 비정상적인 해부학적 특징을 가지는 비구이형성증 또는 후외상성 관절염 등과 같은 경우는 CT-based 네비게이션이 보다 우월한 것으로 사료된다⁸). 또한 imageless 네비게이션은 심각한 비만 환자에서는 전상 장골극과 치골 결절 등을 덮고 있는 연부 조직으로 인해 surface pointing의 오류가 생길 수 있다고 알려져 있고 비만 환자에서는 피부 절개를 통한 surface pointing이 한 가지 대안임이 제시된 바 있다^{18,19}). 이와 같이 네비게이션이나 로봇에 대한 여러 연구에서 수술 의사의 등록 기술 정확도가 수술 성공의 필수라고 발표되었다. 그러나 불행히도 이들 연구가 기계회사의 내부적인 연구가 대부분이고 임상 논문으로 지상 발표된 것은 드물다.

골조직 추적(Bone tracking)

골조직 추적(bone tracking) 작업은 네비게이션을 시행하는 대부분의 술자들과 연관이 깊다. 그러나 사실 로봇이나 네비게이션 모두 골 위치 추적은 가상의 공간에서 이루어진다. 로봇에서는 골 절삭(bone milling)시 원치 않는 움직임이 생기지 않도록 환자의 골조직이 단단히 고정되어 있어야 한다(Fig. 3). 따라서 로봇은 이러한 수술 도중에 발생할 수 있는 환자의 골조직의 움직임을 감지하기 위하여 기계적으로 'bone motion monitor'를 사용하고 있다. 그러나 네비게이션 수술 시에는 환자의 관절이나 골조직이 자유롭게 움직여도 상관없으며 이를 단순히 광학적 감지기와 marker를 이용하여 골조직의 위치를 실시간으로 추적만 하면 된다. 그러나 골조직에 삽입된 bone marker가 느슨해지거나 움직이는 경우에는 오차가 발생하게 된다. 로봇 시스템에서는 환자의 골조직이 고정기에 비교적 단단히 고정되어있어 느슨하게 되는 경우는 매우 드물다. 만약 규정 이상의 어떠한 움직임이라도 감지되는 경우에는 로봇은 정지하게 되고 그대로는 수술이 불가능하고 재등록(re-registration)을 하거나 로봇 기계를 빼내고 고식적인 방법으로 수술을 완전히 전환해야만 한다. 네비게이션 시스템에서는 이러한 감지 장치가 없기 때문에 편이나 marker의 느슨함이나 움직임을 아는 것은 실제적으로 불가능하며 이러한 경우에는 결국 골 위치의 입력된 자료와 현재 상태가 일치하지 않게 되어 수술적 오차가 발생하게 되므로 매우 주의를 요한다.

수술 시간의 추가

네비게이션 및 로봇 보조 수술 모두 수술 시 기계의 설치, 등록 등에 시간이 필요하기 때문에 일반 인공 관절 수

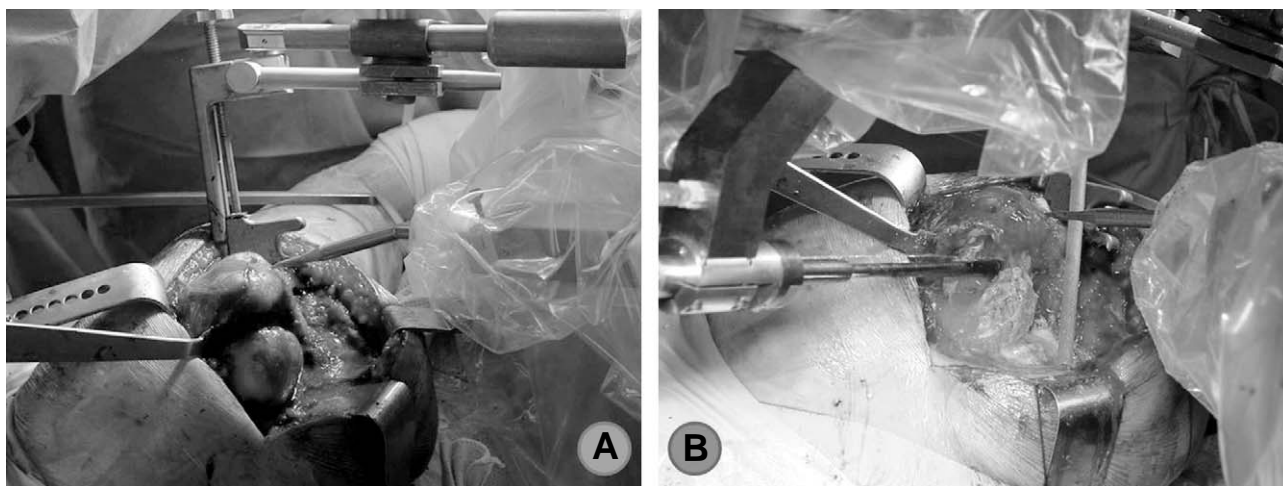


Fig. 3. (A) The bone should be securely fixed with robot machine with fixator and the soft tissue should be retracted safely. (B) The milling procedure by robot is carrying out with monitoring of bone motion.

술 보다는 추가 시간이 소요된다. 일단 이러한 작업이 완료되면 이 두 가지 시스템의 수술에 필요한 시간은 다소 차이가 날 수 있다. 예를 들면 로봇은 약 12~20분의 대퇴골의 절삭 시간이 소요되고 이는 삽입될 기계의 크기와 형태에 좌우된다. 그러나 네비게이션에서는 술자에 따라 수술 시간이 크게 다를 수 있는데 이는 얼마나 여러 가지 정보를 수술 시 선택하여 조회하여 보고 이에 의존하고 이용하는냐에 따라 영향을 받게 된다. 그러나 과도한 정보의 이용과 확인은 수술 시간이 길어지게 하여 술 후 감염의 위험성 증가와 실혈의 증가를 초래하고 고령의 환자의 경우 마취 시간의 연장에 따른 위험도 있을 수 있으므로 이를 고려해야만 한다.

비 용

네비게이션 및 로봇 보조 수술은 병원 차원에서 고가의 장비 구입 및 그에 따른 환자 부담의 증가가 필연적으로 발생하게 된다. Robodoc®의 경우 비용이 약 60만 달러로서 상당히 고가이며 컴퓨터 단층 촬영 등 복잡하고 번거로운 술전 처치 및 그에 따른 추가 비용이 발생하게 되나 대상 환자가 많으면 장기적으로 볼 때는 비용적인 측면이 줄어들 것으로 생각되므로 cost-effectiveness는 아직 언급하기가 힘들다 하겠다.

임상 발표 자료

로봇 보조 수술은 이제 검증된 수술 방법의 하나로 자리매김을 하였고 복부외과, 신경외과, 비뇨기과 영역 등에서도 사용이 증가하는 추세이다. 인공 관절 수술에서 이미 15,000에 이상의 로봇 보조 수술이 전세계적으로 시행되

고 있다. 아직도 논란의 여지가 많지만, 인공 관절 수술 후 고식적인 방법과 비교한 연구에서 인공 관절의 고정, 위치, 하지 정렬 등에서 보다 우수한 결과를 보고 하기도 하였다^{3,9,15}. 로봇에 의한 밀링(milling)과 술자에 의한 hand rasping을 비교한 보고에서는 로봇 보조 수술군에서 수술 중 근위 대퇴부 골절이 없었고 방사선적인 정확도가 높았으며 2년째 Merle D' Aubigne hip score가 유의하게 높았다고 하였다¹¹. 최근의 한 전향적 비교 연구에서는 로봇 보조 수술을 한 군에서 고식적인 수술군보다 2년 및 3년의 추시기간 동안 JOA (Japanese Orthopedic Association) clinical score가 더 우수하였으나 5년째에는 두 군간에 JOA clinical score에 차이가 없었다고 하였다²¹. 그러나 하지 부동은 적게 나타났으며 2년 및 5년의 추시기간 동안 대퇴 근위부의 stress shielding이 유의하게 적었다고 보고하였다²¹. 고식적인 인공 고관절 수술 시 broaching 시나 인공관절 삽입 시 발생할 수 있는 근위 대퇴부 골절도 거의 줄일 수 있는 것이 장점 중의 하나이다²¹. 실험적인 연구에서 로봇 보조 수술은 free hand broaching technique에 비하여 골 조직 내에 인공 관절을 삽입 시 공간적 정확성이 유의하게 증가하였다고 한다²². 이에 반해서 부정적인 결과를 발표한 연구도 있었는데 로봇 보조 수술이 고식적 수술에 비해 높은 재치환율과 근육 손상으로 인한 탈구의 증가 및 수술 소요 시간의 연장을 보였다고 한다¹⁰. 또한 다른 보고에서는 수술 후 2년 추시 결과 Harris Hip Score가 로봇 보조 수술을 시행한 군에서 통계적 의미는 가지지 않는 범위지만 좋지 않았다는 결과도 있다³. 이와 같이 로봇 보조 수술의 임상적 결과에 대한 장기 추시 보고가 되지 않았기에 이러한 임상적 결과 등에 대한 논란은 향후 더욱 연구되어야 할 것으로 사료된다. 네비게이션 수술은 임상적으로는 고관절 수술에서 아

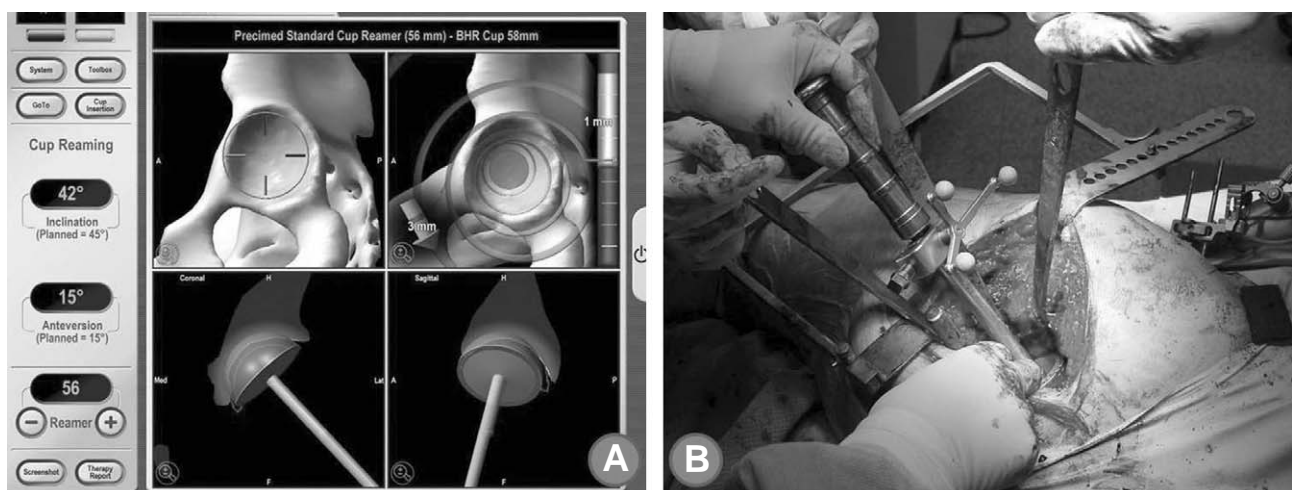


Fig. 4. (A) The planned inclination and version values for the implant are shown during reaming and the values are updated dynamically. (B) Once the reamer has been navigated to the planned position and reaming has been completed, a trial cup is usually used to confirm that the selected cup size is correct.

직은 초기 단계인 것으로 여겨진다. 이것의 유용성에 대한 논문은 소수만이 발표되었고²³⁻²⁵⁾ 앞으로 시간이 지남에 따라 이것들의 효용가치와 정확성이 알려질 것이다(Fig. 4). 모든 컴퓨터 응용 인공 고관절 수술들이 아직까지는 세계적으로 확대되어 시행되고 있지는 않다.

저자들의 병원에서는 네비게이션 및 로봇을 구입하여 술자의 선호도 및 골 변형의 정도 등을 고려하여 선택적으로 슬관절 및 고관절에서 컴퓨터 응용 수술을 시행하고 있다. 연구가 모두 종료된 것은 아니어서 아직 지상 발표는 하지 않았으나 학술대회 구연 및 학술지에 제출, 심사되고 있는 일부 결과를 간략히 기술하고자 한다. 인공 고관절 수술에서 인공관절 부품의 위치를 제대로 삽입하기 가장 어려운 수술은 표면치환술로 알려져 있다. 특히 대퇴부품 삽입위치가 대퇴 경부를 예각으로 침범하든지 너무 내반으로 삽입되면 대퇴 경부 골절 등 조기 실패의 원인이 되는 것으로 잘 알려져 있다. 이에 저자들은 전향적으로 표면치환술에서 네비게이션 수술의 정확성을 연구해 보았다. 연속된 40예 중 각각 20예씩을 네비게이션을 실시하거나 고식적인 방법으로만 수술을 시행한 군으로 나누어 술 후 방사선적, 임상적 평가를 시행하였다. 결과로는 네비게이션 군에서 stem alignment의 median difference가 2.3° ($0.2\sim4.9^{\circ}$), stem anteversion의 median difference가 1.0° ($0\sim3.6^{\circ}$)로 네비게이션을 실시하지 않은 고식적 군의 stem alignment의 median difference 5.4° ($0.2\sim10.9^{\circ}$), stem anteversion의 median difference 2.6° ($0\sim6.5^{\circ}$)보다 통계적으로 유의한 정확성을 보였다. 수술 시간은 통계적으로 유의하지 않은 범위에서 네비게이션 군이 길었으며 고관절의 운동 각도를 포함한 2년 단기 임상 결과에서는 차이가 없었다. 따라서 방사선적으로는 이상적인 위치로 인공관절이 삽입되었음을 확인하였으나 그것이 단기간의 임상적인 점수까지 우수한 결과를 보장할 수는 없었다. 또한 인공 슬관절 및 고관절 수술을 포함한 100예의 연속적인 로봇 보조 수술에선 22예의 수술이 로봇 보조 수술 도중 다소간의 시스템적인 문제가 발생하여 수술을 끝까지 로봇으로 수행하지 못하고 일부를 고식적인 방법으로 변경하여 시행하였다. 그 중 인공 고관절 수술은 38예였는데 이 중 1예에서 상기 상황이 발생하여 슬관절 수술에 비하여는 최종 단계까지 수술 수행율이 높게 나타났다. 따라서 로봇 보조 수술 시 정확한 수술 전 계획을 시행하고 실제 수술도 예정대로 진행된다면 인공관절의 삽입은 이상적으로 될 것이라 기대할 수는 있지만 로봇 보조 수술이 최종 과정까지 수행되지 못할 수도 있으므로 이 경우엔 술자의 고식적인 방법을 이용한 수술적 임상 경험에 따라 결과가 차이가 날 수 있음을 인지하고 있어야만 한다. 또한 능동형 로봇은 의사가 수술 전 계획하고 입력한 프로그램에 따라서 충실히 수술을 시행하기 때문에 만약 수술 전 계획이 조금이라도 잘못 되었다면 그

만큼 잘못된 위치로 인공관절이 삽입될 수 있고 그 오차가 심한 경우에는 로봇이 대퇴부의 피질 골조직까지 확공하여 인공 관절 주위 골절을 일으킬 수도 있으므로 수술 전 계획의 철저하고 정확한 입력이 필수적이다.

미래의 선택

네비게이션 시스템이 로봇 시스템에 비하여 가격이 월등히 저렴하고 쉽게 접할 수 있지만 인공 고관절 수술에서 네비게이션의 정확성은 아직 확립된 상태는 아니고 로봇 시스템이 더 정확한 것으로 알려져 있으나 수술 전 계획을 확실하게 수행해야 술자의 실수를 줄일 수 있다. 물론 그 전제로 수술 시 술자가 연부조직을 섬세하고 확실하게 처리하고 수술 전 로봇 보조 수술 프로그램을 정확하게 짜야 하는 것은 이론의 여지가 없다. 가까운 장래에는 이 두 가지 각기 다른 컴퓨터 응용 수술 기법이 합쳐질 것이고 그것이 최선의 방법이라 생각된다. 우리 몸에서 뼈 조직은 수술 전후에도 그 전체적인 모습은 바뀌지 않는 단단한 물질이기에 술 전에 수립하고 입력한 계획과 수술 중의 수술 부위의 실체를 정확히 조화시킬 수 있고 단순 방사선, 투시영상, 전산화 단층촬영 등으로 쉽고 정확한 영상을 획득할 수 있으며, 3차원적인 재구성도 용이하므로 인공 관절 수술이야말로 컴퓨터 응용 수술에 매우 적합한 분야로 여겨진다. 컴퓨터 응용 수술의 정확성이 확고해 지면서 정형외과 의사들은 인공관절 수술에서 또 다른 도전에 직면하게 되는데 이것 중 대표적인 것이 최소 침습 수술(MIS)이라 하겠다. 이 술식에서 네비게이션의 효용성이 훨씬 크게 작용할 것이기 때문이다. 컴퓨터 응용 인공관절 수술은 마치 과거 20년 동안 컴퓨터란 영역이 비약적으로 발전한 것처럼 빠른 속도로 지속, 발전될 것이라 사료된다.

REFERENCES

1. Parvizi J, Kim KI, Goldberg G, Mallo G, Hozack WJ. *Recurrent instability after total hip arthroplasty: beware of subtle component malpositioning. Clin Orthop Relat Res.* 2006;447:60-5.
2. Bonutti PM, Zywiell MG, Seyler TM, et al. *Minimally invasive total knee arthroplasty using the contralateral knee as a control group: a case-control study. Int Orthop.* 2010;34:491-5.
3. Bargar WL, Bauer A, Börner M. *Primary and revision total hip replacement using the Robodoc system. Clin Orthop Relat Res.* 1998;354:82-91.
4. Paul HA, Bargar WL, Mittlestadt B, et al. *Development of a surgical robot for cementless total hip arthroplasty. Clin Orthop Relat Res.* 1992;285:57-66.
5. Stulberg SD, Loan P, Sarin V. *Computer-assisted navigation in total knee replacement: results of an initial*

- experience in thirty-five patients. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84-A Suppl 2:90-8.
6. Dalury DF, Dennis DA. Mini-incision total knee arthroplasty can increase risk of component malalignment. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;440:77-81.
7. Saxler G, Marx A, Vandevelde D, et al. The accuracy of free-hand cup positioning--a CT based measurement of cup placement in 105 total hip arthroplasties. *Int Orthop.* 2004;28:198-201.
8. Kalteis T, Handel M, B?this H, Perlick L, Tingart M, Grifka J. Imageless navigation for insertion of the acetabular component in total hip arthroplasty: is it as accurate as CT-based navigation? *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88:163-7.
9. Leenders T, Vandevelde D, Mahieu G, Nuyts R. Reduction in variability of acetabular cup abduction using computer assisted surgery: a prospective and randomized study. *Comput Aided Surg.* 2002;7:99-106.
10. Honl M, Dierk O, Gauck C, et al. Comparison of robotic-assisted and manual implantation of a primary total hip replacement. A prospective study. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85-A:1470-8.
11. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1988;35:153-60.
12. Nishihara S, Sugano N, Nishii T, et al. Clinical accuracy evaluation of femoral canal preparation using the ROBODOC system. *J Orthop Sci.* 2004;9:452-61.
13. Jakopc M, Harris SJ, Rodriguez y Baena F, Gomes P, Cobb J, Davies BL. The first clinical application of a "hands-on" robotic knee surgery system. *Comput Aided Surg.* 2001;6:329-39.
14. Nolte LP, Zamorano L, Visarius H, et al. Clinical evaluation of a system for precision enhancement in spine surgery. *Clin Biomech.* 1995;10:293-303.
15. Langlots U, Lawrens J, Hu Q, Langlotz F, Lolte LP. Image guided cup placement. In: Lemke HU, Vannier MW, Inamura K, Farman AG ed. *Computer Assisted Radiology and Surgery.* Amsterdam: Elsevier; 1999. 717-21.
16. Digioia AM, Jaramaz B, Blackwell M, et al. The Otto Aufranc Award. Image guided navigation system to measure intraoperatively acetabular implant alignment. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;355:8-22.
17. Hananouchi T, Sugano N, Nakamura N, et al. Preoperative templating of femoral components on plain X-rays. Rotational evaluation with synthetic X-rays on ORTHODOC. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2007;127:381-5.
18. Dorr LD, Malik A, Wan Z, Long WT, Harris M. Precision and bias of imageless computer navigation and surgeon estimates for acetabular component position. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;465:92-99.
19. Ryan JA, Jamali AA, Bargar WL. Accuracy of computer navigation for acetabular component placement in THA. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:169-77.
20. Nishihara S, Sugano N, Nishii T, Miki H, Nakamura N, Yoshikawa H. Comparison between hand rasping and robotic milling for stem implantation in cementless total hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2006;21:957-66.
21. Nakamura N, Sugano N, Nishii T, Kakimoto A, Miki H. A comparison between robotic-assisted and manual implantation of cementless total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:1072-81.
22. Prymka M, Wu L, Hahne HJ, Koebke J, Hassenpflug J. The dimensional accuracy for preparation of the femoral cavity in HIP arthroplasty. A comparison between manual- and robot-assisted implantation of hip endoprosthesis stems in cadaver femurs. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2006;126:36-44.
23. Kelley TC, Swank ML. Role of navigation in total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91 Suppl 1:153-8.
24. Parratte S, Argenson JN. Validation and usefulness of a computer-assisted cup-positioning system in total hip arthroplasty. A prospective, randomized, controlled study. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:494-9.
25. Beckmann J, Stengel D, Tingart M, Götz J, Grifka J, Lüring C. Navigated cup implantation in hip arthroplasty. *Acta Orthop.* 2009;80:538-44.

국문초록

컴퓨터 시스템을 이용한 고관절 치환술

김강일 · 유기형 · 조계열 · 허대석

경희대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

인공 고관절 수술의 우수한 결과에도 불구하고 수술 후 합병증이 여전히 발생하고 있어 그러한 문제점들을 최소화하기 위해 컴퓨터를 이용한 정형외과 수술인 네비게이션 이용 수술 및 로봇 보조 수술이 개발되었다. “네비게이션”이란 삼차원적인 공간에서 위치를 찾고 목표 지점을 추적하는 시스템이며 “로봇”은 사전에 저장한 명령에 기초하여 기계적인 로봇팔이 자동적으로 작업을 수행하는 것을 말한다. 컴퓨터 응용 수술은 이미 일부 보고에 의하면 고식적인 인공 고관절 수술과 비교할 때 더 우수한 인공 관절의 고정, 위치 및 하지정렬을 얻을 수 있다고 하지만, 고식적인 인공 관절 수술보다는 추가 시간이 소요되므로 술 후 감염 및 실혈의 위험성을 고려해야만 한다. 로봇 보조 수술은 고관절 영역에서는 아직 시작 단계로 앞으로 효용가치와 정확성 여부가 연구되어야 할 것이다. 컴퓨터 응용 수술은 고식적인 수술에 비해 얻을 수 있는 장점도 있기 때문에 점점 관심이 증가하고 있는 분야이다.

색인단어: 고관절, 인공 고관절 전치환술, 컴퓨터 응용 수술, 로봇 보조, 네비게이션