

Feasibility of Robotic Surgical System in the Field of Head and Neck Surgery

Young Min Park and Se-Heon Kim

Department of Otorhinolaryngology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

로봇 수술 시스템을 이용한 두경부 수술

박 영 민 · 김 세 현

연세대학교 의과대학 이비인후과학교실

Received June 1, 2009

Revised July 3, 2009

Accepted July 3, 2009

Address for correspondence

Se-Heon Kim, MD, PhD
Department of Otorhinolaryngology,
Yonsei University
College of Medicine,
250 Seongsan-ro, Seodaemun-gu,
Seoul 120-752, Korea
Tel +82-2-2228-3600
Fax +82-2-393-0580
E-mail shkimmd@yuhs.ac

The current trend in managing head and neck cancer is to perform organ preservation therapy which improves quality of life and decreases treatment related morbidity. Transoral robotic surgery (TORS) can overcome the limit of "line of sight" often met in classic transoral procedure. We utilized robotic surgical system for the treatment of oropharyngeal, hypopharyngeal and laryngeal cancer. TORS was performed using the da Vinci surgical robot (Intuitive Surgical, Inc., Sunnyvale, CA). It is consisted of a surgeon's console and a manipulator cart equipped with 3 robotic arms. The surgeon is provided with 3-dimensional magnified images from the endoscopic arm and can control 2 instrument arms for delicate operations from the console. TORS can provide magnified three dimensional views and overcome the limitation resulting from the "line of sight" which hinders classic transoral procedure. Safe resection of the head and neck cancer lesion was possible with the 3-dimensional magnified images and two robotic arms which have 360 degree joint motion. The application of TORS for lateral oropharyngectomy, partial hypopharyngectomy and partial laryngectomy is technically feasible and safe.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2009;52:641-7

Key Words da Vinci surgical robot · Transoral robotic surgery (TORS) · Robotics · Head and neck carcinoma.

로봇 수술의 도입 배경

1921년 체코의 극작가 Karel Capek이 본인의 작품인 "Rossum's Universal Robots"에서 처음으로 "robot"이라는 말을 사용하였다.^{1,2)} 체코어로 강제 노동을 뜻하는 "robo-ta"에서 유래된 로봇은 초기에는 하찮고 반복적인 일을 하는 말없는 기계의 모습에서 현재는 지능을 가진 인간형의 모습으로 발전하였다. 현재 로봇은 컴퓨터에 사용되는 마이크로프로세서의 제작, 심해 텁협 등 인간이 견디기 힘든 상황 속에서 널리 이용되고 있으나 의학 분야에는 뒤늦게 도입되었다.

현대 의학의 새로운 패러다임으로 자리잡은 미세 침습 수술은 1987년 시행된 복강경 담낭 절제술과 함께 시작되었다.

이후 많은 연구들에 의해서 복강경 수술은 입원 기간의 단축, 일상 생활로의 빠른 회복, 통증의 감소, 우수한 미용적 결과 그리고 수술 후 더 나은 면역력을 보이는 것으로 알려졌다.^{3,4)} 이처럼 미세 침습 수술은 여러 장점을 갖고 있지만 이에 못지 않은 단점을 가지고 있다. 복강경에 사용되는 수술 기구들의 특성상 촉각을 느낄 수 없고 손과 눈의 자연스런 협조적인 운동이 힘들어 기민한 수술이 어렵다. 또한 수술자의 생리적인 멀림 현상이 긴 수술 기구를 통하여 전달되는 문제가 있다.⁵⁾ 로봇 수술 시스템은 시작부터 기존의 복강경이 가지고 있던 이러한 한계를 극복하기 위하여 개발되었다.

1990년대 초에 NASA의 기술진과 Stanford Research Institute가 협력하여 정밀한 원격 수술이 가능한 로봇을 개발하였고 이에 자극을 받은 미 육군에서는 전쟁 속에서 병

사들의 사망률을 낮추기 위해 원격 수술에 대한 연구를 진행하였다.¹⁾ 상처를 입은 병사를 로봇 시스템이 장착된 차량에 태우고 수술자는 이동 외과 병원에서 원격으로 수술을 진행하는 원격 수술은 동물 실험에서 성공적으로 시행되었으나 아직 실제 전쟁에 배치되지는 않았다. 미 육군에서 일하던 일부의 외과 의사와 기술자들에 의하여 이러한 로봇 시스템을 상용화하기 위한 벤처 회사가 세워졌다.

Computer Motion은 미 육군의 재정적 도움을 얻어 수술자의 목소리에 의하여 내시경 카메라를 조절할 수 있는 Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (AESOP)를 개발하였다. 외과 분야에서 임상적으로 사용된 최초의 로봇인 AESOP은 1994년에 robotic camera holder로 사용할 수 있도록 Food and Drug Administration (FDA)의 승인을 얻었다. 이후 Computer Motion은 손과 유사한 움직임을 보일 수 있는 Zeus surgical system을 개발하였지만 현재 수술의 보조적인 목적으로만 사용할 수 있도록 FDA의 승인을 받은 상태이다. Zeus system은 수술자가 위치하는 조정석과 3개의 로봇 팔이 장착된 수술 침대로 이루어진다. 좌우의 로봇 팔은 수술자의 팔 움직임에 따라 조정되며 3번째 로봇 팔은 시야 제공을 위한 내시경 팔로서 목소리에 의하여 조절된다. 이 시스템은 기존의 내시경 수술 도구와 유사한 직선형 로봇 팔 및 관절형 로봇 팔을 장착해 사용할 수 있다. 이런 시스템을 좀 더 보완하고 발전시킨 것이 다빈치 수술용 로봇 시스템이다. 이후 다빈치 로봇 수술 시스템은 복부 수술시 보조적인 목적이 아닌 주 수술자의 역할을 수행할 수 있도록 FDA의 승인을 받았다.

da Vinci 로봇 수술 시스템의 구성

현재 다양한 외과 분야에서 널리 활용되고 있는 다빈치 로봇 시스템은 개방성 수술과 복강경 수술의 한계를 극복하기 위하여 설계 되었으며 3가지 부분으로 구성된다. 환자로부터 멀리 떨어져 수술자가 위치하는 조정석과 여러 개의 로봇 팔이 장착되어 있는 수술 기계 그리고 환자가 위치

하는 수술 침대로 구성된다(Fig. 1). 수술 기계에는 1개의 내시경 팔과 2개 혹은 3개의 로봇 기구 팔이 장착되어 있으며 내시경 팔에는 2개의 통합 카메라 장착되어 3차원의 영상을 제공한다. 로봇 기구 팔에는 5 mm 크기 혹은 8 mm 크기의 기구들이 장착되어 Maryland forceps, Needle driver, Spatula cautery 혹은 Harmonic scalpel 등을 적절히 장착할 수 있다. 수술자는 조정석에 앉아 내시경 팔에 장착된 카메라에서 전달되는 3차원의 확대된 영상을 통해 시야를 확보한다. 조정석의 손잡이를 통하여 로봇 기구 팔을 조정하며 인체공학적으로 설계된 디자인은 수술자가 장시간의 수술에도 불구하고 피로감을 덜 느끼게 해준다. 다빈치 로봇 시스템은 자체의 지능을 가지고 있지 않으며 수술자의 의해서 수동적으로 조절을 받아야 한다.

로봇 수술 시스템의 장단점

로봇 시스템은 수술자의 생리적인 떨림 현상을 하드웨어와 소프트웨어를 통해 여과할 수 있으며 조정 손잡이의 상대적으로 큰 움직임을 로봇 팔의 섬세한 움직임으로 전환시킬 수 있다. 또한 눈과 손의 자연스러운 협조적인 움직임이 가능하여 수술을 용이하게 하고 인체 공학적 디자인으로 설계되어 장시간의 수술에도 수술자의 피로감을 줄여준다. 또한 기존의 경구강 수술시 이용되던 긴 수술 도구를 사용할 때 나타나는 지렛대 효과를 제거할 수 있다. 더불어 깊이 감각을 느낄 수 있게 도와주는 3차원의 영상은 기존의 복강경 수술에 사용되는 2차원의 카메라 영상에 비하여 장점으로 작용한다.

로봇 시스템은 몇 가지 단점을 가지고 있다. 가장 큰 문제는 수술자가 수술 과정 동안 능동적으로 촉각을 사용할 수 없다는 것이다. 이런 까닭으로 로봇 수술에 숙련되지 않은 외과의는 수술 중 로봇 팔에 의한 과도한 견인으로 인해 조작에 손상이 생길 수 있다. 그러나 이러한 문제는 3차원의 확대된 영상(10~12배 확대됨)이 제공하는 시각적인 정보 및 간접적 촉각을 바탕으로 어느 정도 극복할 수 있다.



Fig. 1. Transoral robotic surgery room setup. The surgeon's console (A) and working arms and endoscope (B) in robotic surgical system.

그러나 그렇게 되기까지는 수술자에게 많은 경험을 필요로 한다. 또 하나의 문제는 수술 과정 전과 후에 로봇 시스템을 장착하고 분리하는 시간이 필요하다는 것이다. 이러한 과정은 때로 시간을 지연시킬 수 있으며 수술 도중 과도한 출혈 등으로 인해 개방성 수술로 신속한 전환이 필요할 때 문제가 될 수 있다. 다른 단점 중 하나는 로봇 시스템의 높은 가격이다. 하지만 향후 로봇 기술의 발달과 여러 외과 분야에서 로봇 시스템의 활용이 활발히 이루어진다면 가격의 하락을 기대해 볼 수 있을 것이다. 아직 모든 수술 분야에 사용될 만큼 충분한 수술 도구들이 부족한 것도 문제이다. 이는 종종 보조 의사가 수술 도중에 기존의 수술 도구를 이용해 주 수술자를 보조해야 되는 상황을 유발하거나 향후 추가적인 수술 도구의 개발이 이를 해결할 것으로 보인다.

현재 두경부 영역에서 활용되는 로봇 수술

두경부 분야에서는 로봇 시스템에 대한 연구가 두 가지 방향으로 진행되고 있다. 첫째는 구강을 통해 로봇 팔을 넣어서 외부 절개 없이 상부 소화, 기도에 발생한 종양을 수술하는 방법이다. Hockstein 등은 처음으로 마네킹과 사체에서 다빈치 로봇 시스템을 이용하여 구강을 통해 부분 후두 인두 절제술을 시행하였다.^{6,7)} 이후 Weinstein 등⁸⁾이 경구강 상후두 부분 절제술을 시행하고 구강을 통해 적어도 3개의 로봇 팔을 넣어서 진행하는 이러한 수술을 경구강 로봇 수술(transoral robotic surgery, TORS)로 명명하였다(Fig. 2). 둘째는 주로 갑상선 종양에 대하여 적용되는 방법으로 경부에 외부 절개를 가하지 않고 액와에 절개를 가한 후 로봇 팔을 넣어서 갑상선을 절제하는 방법이다



Fig. 2. Transoral robotic surgery. An FK retractor (Gyrus Medical Inc.) was used to expose the lesion transorally, and an endoscopic arm was introduced through the oral cavity maintain a midline, with two instrument arms placed 30 degrees apart from the endoscopic arm from each side.

(Fig. 3). 기존의 개방성 갑상선 절제술은 경부에 상처를 남기기 때문에 미용적인 문제가 있어 내시경 수술에 대한 연구가 많이 진행되었다. 그러나 내시경 갑상선 절제술이 가지는 부적절한 시야와 단순한 수술 도구의 한계가 때문에 이를 극복하기 위하여 일부에서 로봇 시스템을 이용한 연구가 최근 진행되고 있다.^{9,10)}

경구강 로봇수술(Transoral robotic surgery, TORS)의 소개

Hockstein 등⁶⁾이 2005년에 처음으로 구강을 통해 로봇 시스템을 사용해 부분 인두 후두 절제술을 시행한 이후 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Genden 등¹¹⁾은 인두, 후두 그리고 부인두 공간에 발생한 초기의 악성 종양으로 진단받은 20명의 환자에게 경구강 로봇 수술을 시행하고 술식의 실행 가능성과 안정성을 보고 하였다. Carroll 등은 구강, 구인두, 하인두 그리고 후두의 악성 종양으로 진단받은 36명의 환자에서 경구강 로봇 수술을 시행하였고 술식의 실행 가능성과 안정성을 보고 하였다. 또한 수술 이후 환자들의 빠른 연하 기능 회복을 보고 하였으며 종양의 크기가 크지 않은 경우와 치아가 없는 경우에 경구강 로봇 수술의 성공 가능성이 크다고 제시하였다.¹²⁾ 저자들은 경구강 로봇 수술의 유용성을 평가하기 위하여 연세 윤리 위원회의 승인을 받아 26명의 환자에게 전향적 연구를 진행하였다. 구강, 구인두, 하인두, 후두 그리고 부인두 공간을 포함한 두경부에 발생한 종양을 대상으로 진행하였으며 모든 경우에서 성공적으로 수술을 시행할 수 있었다. 수술 후 평균 7일 이내에 연하 기능이 회복되었으며 기관 절개술을 시행하였던 16명에서 평균 7일 이내에 발관을 시행하고 발성에 특별한 문제가 발견되지 않았다. 기존의 연구들과 저자들의 연구를 바탕으로 경구강 로봇 수술의 실행 가능



Fig. 3. Robot assisted endoscopic thyroidectomy via unilateral axillary approach.

성과 안정성에 대해서는 입증이 되고 있다.

Robotic transoral lateral oropharyngectomy in TORS

구인두 종양의 수술적 제거를 위해서 흔히 이용되는 하악 절개나 경부 절개는 동반된 이환율이 높고 장시간의 수술시간이 필요하다는 단점이 있다. 이에 비하여 기존의 경구강 수술은 수술에 동반된 이환율이 낮은 장점이 있지만 긴 수술 도구를 구강을 통해 넣어서 수술이 진행되므로 정교한 조작이 힘들고 시야가 구강의 밖에서 시작되는 어려움이 있었다. 또한 편도와의 후외측 부위에는 경동맥이 위치함으로 수술 과정 동안 주의를 기울이지 않으면 손상의 가능성이 크다. Weinstein 등에 의하여 주로 구인두 종양에 대한 경구강 로봇 수술의 실행 가능성과 종양학적 안전성에 대한 연구가 진행되었다.¹³⁻¹⁵⁾ 저자들은 편도와 부위에 발생한 악성 종양의 치료에 로봇 시스템을 이용한 경구 측부 구인두 절제술(transoral lateral oropharyngectomy)을 시행하여 수술에 따른 이환율을 줄이면서 수술 후 빠른 회복을 관찰하였다.¹⁶⁾

저자들의 경험에 의하면, 현미경과 레이저를 이용하는 방법이나 전조등과 전기 소작기를 이용하여 구강을 통해 편도 절제술을 시행하는 경우 구인두 부위는 제한적인 시야 때문에 수술에 많은 어려움을 겪는다. 수술자의 시선이 편도의 중앙 부위로부터 멀리 떨어진 곳에 위치하기 때문에 측면의 대혈관, 하방의 설근부, 상방의 구개와 비인두에 의해서 시야가 제한되기 때문이다. 구강을 통한 접근이 어려운 경우 하악 절개술을 이용한 개방성 접근법과 유리조직 재건술이 활발히 이용될 수 있으나 이러한 개방성 접근법은 높은 이환율을 보이며 기관 절개술과 복잡한 재건술이 필요하고 장기간의 재활 기간이 필요하다는 단점이 있다. 로봇 수술 시스템은 두 개의 통합된 카메라가 장착된 내시경을 환자의 구강을 통하여 병변 가까이 위치시킬 수 있는 장점이 있다. 이처럼 카메라의 위치가 병변 가까이 놓 이게 때문에 기존의 경구 접근법에서 보였던 시야의 한계를 극복할 수 있다. 수술자가 모든 방향에서 우수한 시야를

가질 수 있어서 기존 경구 접근법의 적응증을 더욱 넓히게 되었다. 특히, 경구강 로봇 수술은 설근부 부위를 직접 시야하에서 절제할 수 있는 장점이 있다. 또한 확대된 3차원적 영상과 향상된 측면 시야는 수술자가 혈관을 결찰하거나 보존하는데 많은 도움을 준다. 실제 측면 부위의 절제 중 경동맥으로 인한 주위 연조직을 박동을 확대된 3차원적 영상을 통해 쉽게 확인할 수 있었으며 자유로이 움직일 수 있는 로봇팔의 성질을 이용하여 내경동맥과 같은 주행방향으로(기구가 내경동맥과 각을 이루면 동맥 파열의 위험성이 있으므로) 절제를 진행하여 내경동맥을 안전하게 보존할 수 있다(Fig. 4A).¹⁶⁾ 또한 설근부 부근에 발생한 종양은 크기가 작을 경우에도 수술적 접근을 위해 하악 절개나 경부 절개가 필요하지만 수술 이후에 연하와 발성의 장애를 유발하여 환자의 삶의 질을 떨어뜨린다. 몇몇 연구에서 수술과 방사선 치료의 병합 요법이 항암 방사선 요법 보다 높은 생존율을 보였지만 높은 이환율로 인하여 모든 환자에게 수술을 적용하는데 어려움이 있다.¹⁷⁾ 저자들은 설근부 부위에 발생한 종양으로 2명의 환자에게 경구강 로봇 수술을 시행하였고 수술 후 1주일 이내 연하가 가능하여 빠른 회복을 관찰하였다. 경구강 로봇 수술은 설근부 종양의 치료에 있어서 기존의 경구강 수술에 비하여 우수한 시야와 섬세하고 정교한 수술을 가능하게 하였으며 수술 후 연하와 발성의 회복이 빠른 장점을 보인다.¹⁴⁾

Robotic partial laryngectomy and pharyngectomy in TORS

하인두와 후두는 해부학적으로 구인두에 비하여 구강으로부터 멀리 떨어져 있고 좁은 내강안에서 수술이 진행되어야 함으로 경구강 접근법을 적용하기가 쉽지 않다. 기존의 레이저를 이용한 경구강 수술은 개방성 수술법과 비교하여 대등한 종양학적 결과를 보였다. 그러나 레이저 경구강 수술은 레이저의 직진성과 현미경의 제한된 시야 때문에 수술의 술기를 익히기가 쉽지 않아 널리 이용되지는 않고 있다. 저자들은 후두 종양 환자 7명과 하인두 종양 환

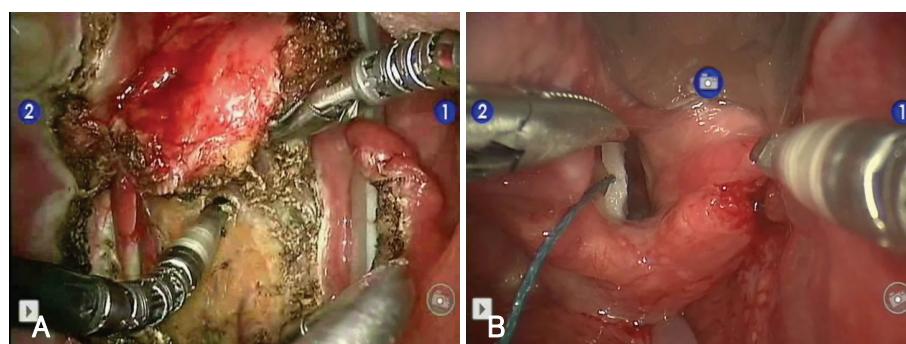


Fig. 4. Surgical view of transoral robotic surgery. Transoral lateral oropharyngectomy (A). Transoral partial pharyngectomy of pyriform sinus (B).

자 5명에 대하여 경구강 로봇 수술을 성공적으로 시행하였다. 로봇 수술 시스템의 향상된 기술적 진보와 함께 로봇 팔에 장착되는 수술 기구들의 크기도 감소하여 8 mm 크기의 기존의 도구들에 비하여 5 mm 크기의 도구를 장착하면 좁은 후두강안에서 수술을 원활히 진행할 수 있다 (Fig. 4B). 또한 3차원적이고 확대된 영상은 병변과 정상 점막의 구별을 가능하게 하여 기존의 레이저 수술처럼 병변을 가르면서 절제의 범위를 정하지 않고 3차원적인 절제를 시행할 수 있다. 또한 하인두와 후두는 연화와 발성에 관련된 기관으로 수술에 따른 기능의 손실 가능성이 있으나 경구강 로봇 수술의 경우 연화와 발성의 빠른 회복이 가능하여 환자의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 장점을 보인다.¹⁸⁾

지금까지는 종양학적 결과를 해치지 않으며 개방적 수술접근법이 갖는 이환율을 줄이고 기관 보존을 이루기 위하여 후두암 및 하인두암 환자에게 경구 레이저 미세수술을 시행되고 있다. 경구 레이저 미세수술은 치료 성적 및 치료와 연관된 합병증의 발생에 있어 개방적 수술 또는 항암치료를 포함한 다른 치료 방법과 비교하여 뒤지지 않는 것으로 알려져 있다. 또한 수술 후 후두 보존으로 인해 높은 삶의 질을 보장할 수 있고 후두의 감각 신경을 보존할 수 있어 특히 고령의 환자에게 이환율을 줄일 수 있는 방법으로 알려져 있다.

그러나 경구 레이저 미세수술은 현미경의 렌즈가 환자로부터 멀리 위치하며 광선(line of light) 상에 항상 조직이 위치하도록 조직을 견인해야 하는 문제점을 갖고 있다. CO₂ 레이저를 이용하기 때문에 광선에 위치한 조직 절제는 가능하나 종양의 하부 절제연(caudal)이나 상부 절제연(craniol) 쪽의 절제나 측방향(axial plane) 절제는 어렵다는 단점이 있다. 그러나 로봇 수술 시스템을 이용한 TORS는 경구접근법의 장점을 보존하면서 경구 레이저 미세수술이 갖고 있는 단점을 극복할 수 있다. TORS는 적절한 견인기를 이용해 하인두의 넓은 노출이 가능하며 인간의 손 움직임과 유사한 로봇 팔을 이용해 종양의 하부 절제연(caudal)이나 종양의 상부 절제연(craniol) 쪽 절제를 포함한 다양한 축으로 절제가 가능하다. 내시경의 끝이 환자의 입을 통하여 병변 가까이 위치할 수 있어 주변 구조물에 의한 시야의 제한이 없으며 수술 과정 동안 시야의 변화에 맞춰 즉각적으로 로봇 팔의 위치를 변화시키면 수술을 진행할 수 있는 장점이 있다. 또한 로봇 시스템이 제공하는 3차원적 영상은 촉각을 보상할 만큼 좋은 시각적 정보를 제공하고 영상의 높은 확대율과 해상도는 정상 조직과 병적 조직의 경계를 구분하는데 우수한 시각적 정보를 제공하여 복잡한 구조를 가지는 하인두 부위의 섬세한 조작이 가능하게 하였다. 더불어 치아, 하악, 설골 그리고 갑상연골 등의 단단한

구조물은 수술자의 손으로 전달되는 저항감을 통해 일부 촉진감을 느낄 수 있는 장점도 가지고 있다.¹⁸⁾

그러나 성공적인 로봇 수술을 위하여는 후두 및 하인두 종양 병소의 노출이 충분하지 않으면 안된다. 그러기 때문에 로봇 수술 전 전신마취하에 종양의 생검 및 범위 확인과 더불어 노출이 충분히 이루어질 수 있는지를 보고 수술을 진행하여야 한다. 고도비만, 경부척추의 강직, 작은 하악골, 과도히 돌출된 치아, 지나치게 작은 구강 등은 종양의 노출에 방해가 되는 요소이다.

Robot assisted endoscopic thyroidectomy

경부에 절개를 가한 후 시행하는 갑상선 종양의 수술적 제거는 외부에 상처를 남긴다. 특히 젊은 여성에서 갑상선 종양의 높은 발병률을 고려한다면 미용적인 문제는 환자에게 부담으로 다가올 수 있다. 이러한 한계를 극복하고자 복강경 수술과 내시경 도구의 기술적 향상에 바탕을 두고 갑상선 종양의 내시경 수술에 대한 연구가 많이 진행되었다. 현재 내시경 수술은 양성 갑상선 종양의 수술적 치료의 한 가지 방법으로 받아 들여졌으며 일부에서는 초기 갑상선 암의 치료에 적용 가능성을 연구하고 있다. 그러나 전통적인 내시경 수술은 부적절한 시야와 정교하고 섬세한 수술이 힘든 단점이 있다.¹⁹⁾ 액와 접근법을 통한 내시경 갑상선 절제술시 만들어지는 공간은 액와에 저부를 두고 갑상선의 위치가 첨부가 되는 원뿔형의 공간이므로 기존의 내시경 수술 도구들을 이용해서는 충분한 시야와 수술 공간을 확보하기가 쉽지 않다. 하지만 다빈치 로봇 시스템은 3차원의 확대된 영상과 손의 움직임을 닮은 다관절의 로봇 팔을 이용하여 좁은 공간에서도 섬세하고 정교한 수술이 가능해져 전통적인 내시경 수술의 한계를 극복할 수 있을 것으로 생각된다. Lobe 등²⁰⁾이 처음으로 액와 접근법을 통한 로봇 보조 내시경 갑상선 절제술로 양성 갑상선 종양을 제거하고 술식의 실현 가능성과 안정성을 보고 하였다. 최근 Kang 등⁹⁾은 갑상선 유두상암 환자 100명에 대하여 액와 접근법을 이용한 로봇 수술을 시행하고 개방성 술식과 비교하여 대등한 결과를 보고한바 있다.

앞으로 로봇 수술이 활용 가능한 영역

향후 로봇 시스템의 적응증은 더욱 넓어지리라 생각되며 기존에 수술적 접근이 어렵다고 생각되었던 부인두 공간과 비인두 종양 치료에도 이용할 수 있을 것이다. 부인두 공간 종양의 절제를 위해서는 하악 절개술과 함께 입술 절개술이 필요하다. 하지만 이러한 개방성 접근법은 높은 이환율과

안면에 상처를 남겨 미용적인 문제를 유발한다. Desai 등²¹⁾은 경구강 로봇 수술로 부인두 공간 중앙을 제거한 후 실행 가능성을 보고 하였고 환자의 통증, 수혈 그리고 입원 기간을 줄일 수 있었다. 경구강 로봇 수술은 인두의 내강으로부터 수술이 진행되기 때문에 기존의 개방성 접근법에 비하여 해부학적 관계가 익숙하지 않아서 주위 대혈관의 손상 가능성이 있다. 이를 예방하기 위하여 수술 전 전산화 단층 촬영이나 자기 공명 영상을 이용하여 주위 골구조와 대혈관 그리고 종양의 관계를 명확히 파악하여야 하며 수술 중 imaging guidance system을 병용한다면 도움을 얻을 수 있다. 전통적으로 비인두는 수술적으로 접근하기 어려우며 완전한 수술적 절제가 불가능한 부위로 받아 들여졌다. 측두하 접근법이나 상악골 회전술 등을 이용하여 접근할 수 있으나 높은 이환율과 함께 수술의 복잡성으로 인해 널리 이용되지는 못하고 있다. 최근에는 경구강 로봇 수술로 비인두의 병소를 절제하기 위한 연구가 진행되고 있으며 Ozer and Waltonen²²⁾은 카데바에서 비인두 부위를 경구강 로봇 수술로 절제하여 실행 가능성을 보고 하였다. 이외에도 두 개저 부위에 발생한 종양의 치료나 두경부 수술 후 시행하는 재건술에도 로봇 시스템의 미세 침습 기법이 사용될 수 있다.^{23,24)}

경구강 로봇 수술에서 종양의 절제를 위해 주로 단극 전기 소작기가 사용되고 있다. 단극 전기 소작기는 레이저에 비하여 상처의 넓이가 크고 주위 조직에 미치는 열손상이 높다.²⁵⁾ 따라서 후두암처럼 수 mm 크기의 절제연을 필요로 하는 경우에는 불리하게 작용한다. 그러나 레이저는 보다 정교한 조직의 절단이 가능하고 5 mm 크기 이하의 혈관에 대해 효과적인 자혈이 가능하며 램프 흐름을 막는 효과가 있어서 수술 과정 동안 종양의 전파를 예방할 수 있다. 또한 열손상이 비교적 적어 수술 후 부종이 덜한 장점이 있다.²⁶⁻²⁸⁾ 최근에 Omnidigit²⁹⁾에서 CO₂ 레이저를 전달할 수 있는 유연성이 있는 내부에 빈 공간이 있는 섬유를 개발하였다. 향후 이 기술을 로봇 시스템의 향상된 미세 침습 기술과 결합하여 후두암 및 두경부 암의 치료에 도움이 될 것이다.

결 론

다빈치 로봇 수술 시스템은 전통적인 경구강 수술에 비하여 향상된 기술적인 이점을 바탕으로 두경부 종양의 치료에 이용될 수 있다. 여러 연구에서 로봇 시스템이 두경부 종양의 치료에 유용성과 안전성을 가진 것으로 보고 되었다. 향후 로봇 시스템이 두경부 종양의 치료에서 가지는

실질적인 이점에 대한 연구가 좀 더 필요하며 종양학적 결과에 대한 장기간 추적 관찰이 필요하다.

REFERENCES

- 1) Satava RM. Surgical robotics: the early chronicles: a personal historical perspective. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2002;12(1):6-16.
- 2) Felger JE, Nifong LW, Chitwood WR Jr. The evolution and early experience with robot-assisted mitral valve surgery. *Curr Surg* 2001;58(6):570-5.
- 3) Kim VB, Chapman WH, Albrecht RJ, Bailey BM, Young JA, Nifong LW, et al. Early experience with telemanipulative robot-assisted laparoscopic cholecystectomy using da Vinci. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2002;12(1):33-40.
- 4) Allendorf JD, Bessler M, Whelan RL, Trokel M, Laird DA, Terry MB, et al. Postoperative immune function varies inversely with the degree of surgical trauma in a murine model. *Surg Endosc* 1997;11(5):427-30.
- 5) Prasad SM, Ducko CT, Stephenson ER, Chambers CE, Damiano RJ Jr. Prospective clinical trial of robotically assisted endoscopic coronary grafting with 1-year follow-up. *Ann Surg* 2001;233(6):725-32.
- 6) Hockstein NG, Nolan JP, O'Malley BW Jr, Woo YJ. Robot-assisted pharyngeal and laryngeal microsurgery: results of robotic cadaver dissections. *Laryngoscope* 2005;115(6):1003-8.
- 7) Hockstein NG, Nolan JP, O'Malley BW Jr, Woo YJ. Robotic microlaryngeal surgery: a technical feasibility study using the da Vinci surgical robot and an airway mannequin. *Laryngoscope* 2005;115(5):780-5.
- 8) Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Hockstein NG. Transoral robotic surgery: supraglottic laryngectomy in a canine model. *Laryngoscope* 2005;115(7):1315-9.
- 9) Kang SW, Jeong JJ, Yun JS, Sung TY, Lee SC, Lee YS, et al. Robot-assisted endoscopic surgery for thyroid cancer: experience with the first 100 patients. *Surg Endosc*. In press 2009.
- 10) Lobe TE, Wright SK, Irish MS. Novel uses of surgical robotics in head and neck surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2005;15(6):647-52.
- 11) Genden EM, Desai S, Sung CK. Transoral robotic surgery for the management of head and neck cancer: a preliminary experience. *Head Neck* 2009;31(3):283-9.
- 12) Boudreux BA, Rosenthal EL, Magnuson JS, Newman JR, Desmond RA, Clemons L, et al. Robot-assisted surgery for upper aerodigestive tract neoplasms. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;135(4):397-401.
- 13) Weinstein GS, O'Malley BW Jr, Snyder W, Sherman E, Quon H. Transoral robotic surgery: radical tonsillectomy. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;133(12):1220-6.
- 14) O'Malley BW Jr, Weinstein GS, Snyder W, Hockstein NG. Transoral robotic surgery (TORS) for base of tongue neoplasms. *Laryngoscope* 2006;116(8):1465-72.
- 15) O'Malley BW Jr, Weinstein GS, Hockstein NG. Transoral robotic surgery (TORS): glottic microsurgery in a canine model. *J Voice* 2006;20(2):263-8.
- 16) Park YM, Lee JG, Lee WS, Choi EC, Chung SM, Kim SH. Feasibility of transoral lateral oropharyngectomy using a robotic surgical system for tonsillar cancer. *Oral Oncol*. In press 2009.
- 17) Zhen W, Karnell LH, Hoffman HT, Funk GF, Buatti JM, Menck HR. The National Cancer Data Base report on squamous cell carcinoma of the base of tongue. *Head Neck* 2004;26(8):660-74.
- 18) Park YM, Lee WJ, Lee JG, Lee WS, Choi EC, Chung SM, et al. Transoral Robotic Surgery (TORS) in Laryngeal and Hypopharyngeal Cancer. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2009;19(3):361-8.
- 19) Gutt CN, Oniu T, Mehrabi A, Kashfi A, Schemmer P, Büchler MW.

Robot-assisted abdominal surgery. *Br J Surg* 2004;91(11):1390-7.

- 20) Lobe TE, Wright SK, Irish MS. Novel uses of surgical robotics in head and neck surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2005;15(6):647-52.
- 21) Desai SC, Sung CK, Genden EM. Transoral robotic surgery using an image guidance system. *Laryngoscope* 2008;118(11):2003-5.
- 22) Ozer E, Waltonen J. Transoral robotic nasopharyngectomy: a novel approach for nasopharyngeal lesions. *Laryngoscope* 2008;118(9):1613-6.
- 23) O'Malley BW Jr, Weinstein GS. Robotic skull base surgery: preclinical investigations to human clinical application. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;133(12):1215-9.
- 24) Mukhija VK, Sung CK, Desai SC, Wanna G, Genden EM. Transoral robotic assisted free flap reconstruction. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;140(1):124-5.
- 25) Libooin J, Funkhouser W, Terris DJ. A comparison of mucosal incisions made by scalpel, CO₂ laser, electrocautery, and constant-voltage electrocautery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1997;116(3):379-85.
- 26) Polanyi TG. Laser physics. *Otolaryngol Clin North Am* 1983;16(4):753-74.
- 27) Reinisch L. Laser physics and tissue interactions. *Otolaryngol Clin North Am* 1996;29(6):893-914.
- 28) Devaiah AK, Shapsay SM, Desai U, Shapira G, Weisberg O, Torres DS, et al. Surgical utility of a new carbon dioxide laser fiber: functional and histological study. *Laryngoscope* 2005;115(8):1463-8.