



비뇨의학 영역에서의 로봇수술의 적용

정 두 용¹ · 이 주 용²

¹인하대학교 의과대학 비뇨의학과

²연세대학교 의과대학 세브란스병원 비뇨의학과

Robot-assisted surgery in urology

Doo Yong Chung, MD¹ · Joo Yong Lee, MD²

¹Department of Urology, Inha University College of Medicine, Incheon, Korea

²Department of Urology, Severance Hospital, Urological Science Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: In the field of urological surgery, robotic surgery continues to develop and increase. This paper is an overview of the present and future of robotic urological surgery.

Current Concepts: Robot-assisted surgery has revolutionized minimally invasive surgery and advanced the technical limitations of laparoscopy. Urologists have always been eager to adopt new technological advances to benefit their patients, and they have also been pioneers in the field of robotic surgery.

Discussion and Conclusion: Following the first approval by the Food and Drug Administration in 2000, the da Vinci System (Intuitive Surgical, USA) remained the leading robotic surgical system for over 20 years. In 2000, the first robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy was performed in urology. Subsequently, applications of the da Vinci System in urology have grown exponentially, including the kidney, urinary bladder, and reconstructive and functional urological surgeries. To date, urology is driving robotic innovation. The first specialist-engineered system for single-site surgery, the da Vinci SP, was initially approved for use in urological surgery. Due to the advantages of robotic surgery, such as excellent visibility and operability, the demand for robotic surgery in the urology department is continuously increasing. Recently, in addition to the da Vinci System, other robot platforms are being developed and commercialized in many countries. In South Korea, robots such as Revo-I (Meere Company Inc., Korea) and Zamenix (Roen Surgical, Korea) are being released and commercialized. Urologists continue to lead the development of domestic robots and robotic surgery.

Key Words: Robotic surgical procedures; Urology; Minimally invasive surgical procedures; Prostatectomy

서론

오늘날 로봇수술은 많은 비뇨의학과 수술의 표준 방법으

로 자리 잡고 있다. 로봇수술의 사용 영역은 종양, 비종양, 소아 및 결석 등 여러 비뇨의학 전문 분야에 걸쳐 광범위하게 이루어지고 있으며, 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로도 지속적인 증가를 보이고 있다[1]. 비뇨의학과 의사들은 항상 환자에게 혜택을 주기 위해 새로운 기술 발전을 열망해 왔으며, 로봇수술 분야에서도 선구자로 알려져 있다. 비뇨의학과 수술 중 특히 골반 쪽 장기 수술은 골반의 깊이로 인하여 수술공간이 좁고 깊어 전통적인 복강경 장비를 통한 수술법에 제한이 많은 것이 사실이었지만, 로봇의 보급은 이러한 단점을 해결 할 수 있었다[2]. 이러한 이유들로 로봇 수술 분

Received: December 30, 2023 Accepted: February 18, 2024

Corresponding author: Joo Yong Lee
E-mail: jooouro@yuhs.ac

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

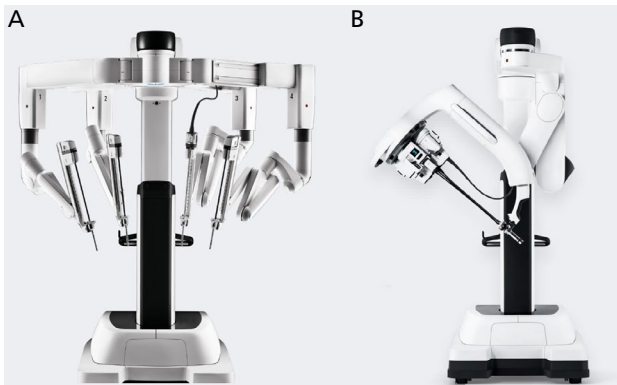


Figure 1. The da Vinci Surgical systems, 4th Generation. (A) Xi Surgical System, (B) SP (single port) Surgical System.

야를 비뇨의학과가 선두할 수 있었으며, 지속적인 수술법 발달과 개발을 통하여 오늘날에도 비뇨의학과는 로봇 혁신을 주도하고 있다. 이 논문에서는 비뇨의학과 로봇수술의 초기부터 현재까지 발전과 특징에 대하여 조명하고 현재 가장 많이 사용되는 다빈치시스템 이외에도 새로운 로봇 시스템 및 향후 변화 과정에 대하여 알아보하고자 한다.

다빈치 로봇 시스템

현재 로봇수술의 대표적인 다빈치시스템(da Vinci System; Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, USA)은 2000년 처음 미국 식품의약국(Food and Drug Administration, FDA) 승인을 받은 이후, 20년 넘게 최고의 로봇수술 시스템으로 자리매김하고 있다. 다빈치 로봇 보조 복강경수술 시스템은 향상된 3-dimensionality/high-definition 시야, EndoWrist 시스템에 의한 7가지 운동 각도, 새로운 복강경 도구의 움직임과 반응성이 뛰어난 로봇으로 이를 이용하여 최소침습수술(minimally invasive surgery)에 혁명을 일으켰고, 복강경수술의 기술적 한계를 발전시켰다. 또한 효과적인 시뮬레이션 교육 및 소프트웨어를 통하여 외과 의사들에 로봇수술 접근성을 향상시켜 편한 진행을 돕고 있다. 현재 다빈치 로봇 시스템은 da Vinci S, Si를 거쳐 현재 4세대인 Xi, X와 SP (single port, 단일 포트)가 출시되어 보급되고 있으며, 가장 최신 출시된 단일 공을 통한 최초의 전문 엔

지니어링 시스템인 다빈치 SP (단일 포트) 역시 처음에는 비뇨의학과 수술에만 사용하도록 승인된 이후 안정성이 입증되어 여러 영역으로 범위가 넓어졌다.

다빈치 로봇 시스템을 사용한 세계 최초의 비뇨의학과 로봇수술은 2000년 근치적 전립샘 절제술이 시행되었고[3], 그 이후 점차 비뇨의학과 분야에서 다빈치시스템의 적용 범위가 늘어나며 신장, 방광, 재건 및 기능적 비뇨의학과 수술을 포함하게 되었고, 이후 로봇수술 케이스 또한 기하급수적으로 증가하였다.

현재 전 세계적으로 다빈치 로봇 시스템은 약 8,000대 공급되어 있다. 국내에는 2005년 연세대학교 신촌 세브란스병원에 다빈치 로봇 1세대 시스템이 도입된 후, 여러 병원에서 순차적으로 도입을 하였으며, 2023년 6월 30일 기준 전국적으로 총 152대에 다빈치 로봇 시스템이 공급되어 사용되고 있다(Si 13대, Xi 96대, X 22대, SP 21대).

매년 다빈치 로봇 시스템을 이용한 수술 건수는 증가하고 있으며, 2021년 40,000건의 수술을 돌파한 이래로 2023년 도에는 50,000건 이상의 수술을 진행하고 있다. 이 중 비뇨의학과는 약 34%를 차지하며, 로봇수술을 주도하고 있는 임상과이다. 국내 비뇨의학과 로봇수술을 살펴보면 2022년부터는 약 15,000건 이상의 수술을 진행하고 있다. 가장 많은 비율을 차지하고 있는 수술은 근치적 전립샘 절제술이며, 이 외에도 부분 신장 절제술, 신우 성형술, 최근에는 근치적 방광 절제술까지 다양한 수술들이 비뇨의학과에서 활발히 진행되고 있다.

가장 최근 출시된 다빈치 SP (단일 포트) 시스템은 2023년 6월 기준 미국에서도 112대밖에 보급되지 않았으나, 국내에서는 첫 도입 이후 빠른 속도로 증가하여 현재 21개 시스템이 보급되어 사용 중이다. 따라서 전 세계적으로도 우리나라는 다빈치 SP (단일 포트) 수술을 선도하고 있다(일본 3개, 중국 1개). 2018년 비뇨의학과 수술에서 FDA 우선 승인을 받고 점차 영역을 넓히고 있는 미국과 달리, 국내에서 다빈치 SP (단일 포트) 시스템은 도입 당시 안정성이 검증된 상태였기에 대부분의 수술 영역에서 허가된 상태로 도입되었다. 따라서 비뇨의학과 외에서도 다빈치 SP (단일 포트)가 활발히 사용되고 있으며, 다빈치 SP (단일 포트) 전체 수술

Da Vinci Urology Robotic Surgery Trends in Korea

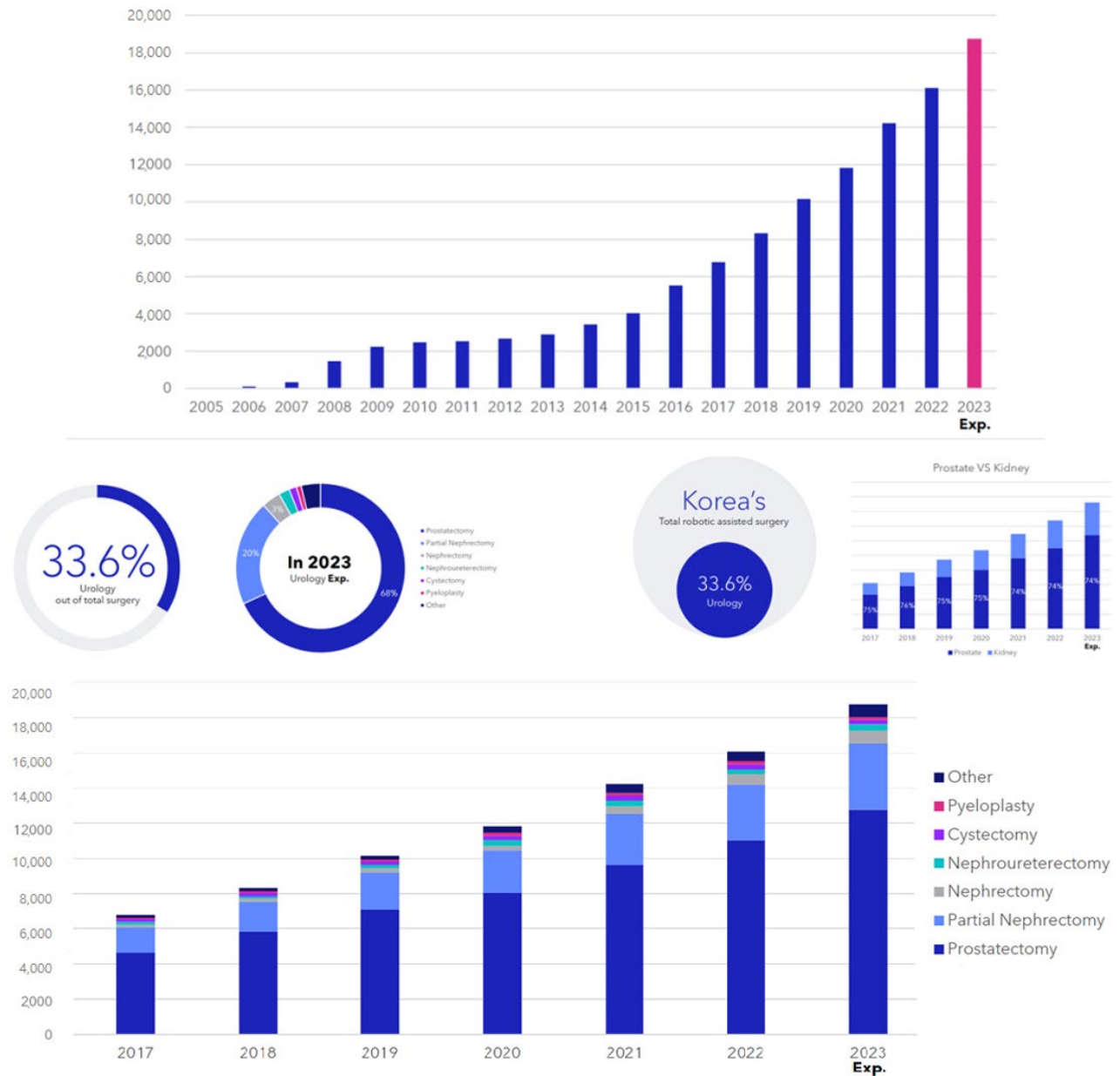


Figure 2. Trends in robot-assisted urologic surgery performed with the da Vinci Robot.

의 약 10% 정도가 비뇨의학과에서 시행되고 있다. 국내 다 빈치 SP (단일 포트) 수술 중 비뇨의학과에서 가장 많이 시행되는 수술은 역시 근치적 전립샘 절제술이며, 부분 신장 절제술, 신우 성형술, 근치적 방광 절제술 등 Xi로 시행되었던 대부분에서 SP를 이용한 수술이 진행되고 있다(www.intuitive.com/ko-kr) (Figures 1, 2).

비뇨의학과 영역에서 시행되는 다빈도 로봇수술

1. 근치적 전립샘 절제술

비뇨의학과 로봇수술에서 가장 처음 시행되고 지금까지 비뇨의학과 로봇수술에서 가장 많은 숫자가 시행되고 있는

수술은 로봇 보조 복강경하 근치적 전립샘 절제술이다. 골반 깊숙이 위치한 전립샘의 특징으로 인해, 전통적 복강경수술 시 제한점이 많았으나, 로봇수술을 통하여 이러한 단점을 극복할 수 있었다. 현재 국내에서 근치적 전립샘 절제술의 약 85% 정도가 로봇으로 시행되고 있다.

2009년 Ficarra 등[4]에 의하여 복강경, 개복 및 로봇 근치적 전립샘 절제술에 대한 비교를 한 체계적 문헌 검색 및 메타분석 논문이 처음 출판되었다. 당시 발표에서 복강경 및 로봇 전립샘 절제술이 개복수술에 비하여 출혈량과 수혈 빈도는 적었으나 기능적, 종양학적으로는 큰 차이가 없다고 발표하였다. 그러나 이는 로봇이 출시되고 약 10년 내 시행된 연구였으며, 현재는 이전보다 로봇수술에 기술적 진보가 많이 진행된 상태이다. 수술의 목표는 근치적 전립샘 절제술을 시행하였을 때 환자가 느낄 수 있는 가장 큰 합병증인 요실금과 발기부전 합병증을 줄이기 위한 것이다. 현재도 많은 비뇨의학과 의사들은 이를 극복하기 위하여 로봇수술 술기의 기술적 향상을 위해 노력하고 있다. Freire 등[5]은 해부학적 방광 목을 보존하는 술기를 발표하여, 조기 요실금 회복에 효과가 좋음을 발표하였다. 또한 Galfano 등[6]은 2010년 처음으로 Retzius 보존 근치적 전립샘 절제술 방법을 시작하여 2013년 200예에 대한 결과를 발표하였다. 기존 방식이 아닌 Retzius 공간을 사용하지 않고 보존하며 전립샘 절제술을 시행하였다. 연구에 따르면 기존 술기와 비교하여 조기 요실금 회복에 이점이 있었다. 그러나 기존 수술에 비하여 좁은 공간에서 시행하는 수술이라는 한계는 있으며, 여러 연구들을 종합한 체계적 분석 결과 종양 절제면 양성 가능성이 기존 술기와 비교하여 높은 경우도 있었다[7]. 다음으로 최근 발표된 hood technique라는 술기로 Wagaskar 등[8]에 의하여 발표되었다. 그들은 전립샘 요도 주변 detrusor apron 구조를 보존하여 조기 요실금 회복에 도움이 되는 수술법을 발표하였다. 이러한 노력으로 최근 발표되는 연구들에 따르면 로봇 보조 근치적 전립샘 절제술 후 요실금의 비율이 약 1년 후에는 95% 이상에서 좋아지는 것으로 보고되고 있다. 다음으로 합병증 중 하나인 발기부전에 대하여도 전립샘 주변에 신경혈관다발을 보존하는 수술 방식을 통하여 로봇수술에서 좋은 결과를 보여줄 수 있다[9].

de Carvalho 등[9]은 최근 전립샘 endopelvic fascia에서부터 dorsal vein 구조물을 보존하며 방광 목 부분부터 시작하여 신경혈관다발을 보존하는 술기를 통하여 수술 전 발기부전이 없었던 환자에서 1년 뒤 약 86.7% 정도의 발기 능력을 보존했다고 발표하였다. 결과적으로 이러한 수술 술기들의 근본적인 목표는 향상된 시야 및 발달된 로봇 술기를 통하여 전립샘 이외에 구조물들은 보존하는 것에 있다. 이를 통하여 전립샘 암 로봇수술에서 더 나은 종양학적 결과 및 기능적 합병증을 줄이는 것에 기여하고 있으며, 국내뿐만 아니라 세계적으로 근치적 전립샘 절제술은 로봇수술이 표준화 치료가 되고 있는 것이 사실이다.

2. 부분 신장 절제술

비뇨의학과 로봇수술 중 두 번째로 많은 빈도를 차지하고 있는 수술은 부분 신장 절제술이다. 신장 종양에서 cT1a 단계인 경우, 현재 대부분의 비뇨의학과 의사들은 부분 신장 절제술을 치료법으로 선택하고 있다. 1968년 Buttarazzi 등[10]에 의하여 발표된 문헌에서 현재와 비슷한 방법으로 부분 신장 절제술이 시행된 후 수술법의 지속적인 발전으로 현재는 cT1a 및 cT1b 단계의 신장 종양에 대하여 부분 신장 절제술은 표준 치료로 자리잡고 있으며, 일부 cT2 단계에서도 진행되고 있다. 처음 개복수술로만 진행되던 부분 신장 절제술은, 1993년 McDougall 등[11] 동물 실험으로 복강경 부분 신장 절제술을 보고하였고, Winfield 등[12]이 실제 임상 논문을 최초로 보고한 후 복강경 부분 신장 절제술이 시행되기 시작하였다. 그러나 복강경 부분 신장 절제술은 개복수술에 비해 지혈 및 봉합 등에 필요한 복강경 술기의 난이도가 높아 이러한 이유 때문에 쉽게 보편화되기는 어려웠지만, 이러한 복강경수술의 단점을 로봇수술에 의하여 보완할 수 있었고, 개복 및 복강경수술에 비하여 현재는 더 많은 로봇 보조 복강경하 부분 신장 절제술이 시행되고 있다. 현재 국내에서 시행되는 부분 신장 절제술의 약 65% 정도가 로봇수술로 진행되고 있다.

부분 신장 절제술의 수술법에 대하여 체계적 문헌 검색 및 메타분석에 따르면 로봇 보조 복강경하 부분 신장 절제술의 장점은 출혈량이 적으며, 적은 합병증 및 최소침습수술

로 병원 체류기간 역시 짧다는 것이다[13]. 뿐만 아니라, 체계적 문헌 검색 결과 종양학적 결과 역시 5년 신장암 특이 생존율을 비교하였을 때, 로봇수술은 90.1–97.9%, 복강경수술은 85.9–86.9%, 개복수술은 88.5–96.3%를 보여주었으며, 이는 로봇수술이 다른 수술과 비교하여 종양학적 결과에서 차이 없이 우수한 성적을 보여 주는 결과였다[14]. 로봇수술은 개복수술에 비하여 작은 상처를 이용하여 진행되는 수술로 환자 회복에 큰 도움을 줄 수 있으며, 복강경수술에서의 술기적인 단점을 극복하는 등 많은 장점을 가지고 있다. 현재는 또한 cT2 단계 이상의 신장 종양에서도 선택적으로 로봇 보조 복강경하 부분 신장 절제술을 시행하며, 기능적 및 종양학적으로 좋은 결과를 보이는 문헌들도 발표되고 있다[15].

3. 근치적 방광 절제술

비뇨의학과 수술 중 근치적 방광 절제술은 근육층 이상이 침범된 방광암에서 시행하는 표준 치료법이다. 이 수술은 근치적 방광 절제술 후 요로 전환술(정위성 신방광 조형술 또는 회장 도관술 등)을 시행하여야 되는 수술의 복잡성 및 수술 환자군의 동반된 질환 등으로 인하여 적지 않은 수준의 수술 합병증을 보이는 수술이다[16]. 현재까지도 근치적 방광 절제술은 개복술로 가장 많이 진행되고 있으나, 최소침습수술의 인기가 증가하면서 2003년 로봇 보조 복강경하 근치적 방광 절제술이 소개된 후에는[17], 점차적으로 많은 비뇨의학과 의사들에 의하여 시행되고 있으며, 최근 국내 역시 여러 병원에서 로봇수술 근치적 방광 절제술을 진행하고 있다. 최소침습수술인 로봇 보조 복강경하 근치적 방광 절제술은 개복수술과 비교하였을 때 다른 로봇수술들과 마찬가지로 환자들에서 출혈량 및 수혈 감소, 병원 재원기간 감소 등에 장점이 있었다. 또한 암 치료에서 가장 중요한 종양학적 결과 역시 Sathianathan 등[18]에 의하여 발표된 체계적 문헌 검색 및 메타분석 결과를 보았을 때 개복과 로봇수술에서 차이가 없다고 발표되었다. 추가적으로 개복과 로봇 방광 절제술을 비교한 무작위배정임상시험 RAZOR trial [19]에서도 3년 동안 재발률 및 생존율에 차이가 없음을 보여 주었으며, International Robotic

Cystectomy Consortium에서도 10년 동안의 결과를 통하여 개복수술과 차이 없는 우수한 결과를 보였다[20]. 결국 술기적인 숙련도가 있는 비뇨의학과 의사에서 로봇 보조 복강경하 근치적 방광 절제술은 안전하게 시행할 수 있는 수술법이라고 할 수 있다. 앞서 말한 것과 같이 로봇 보조 복강경하 근치적 방광 절제술 후에 요로 전환술을 동시에 시행해야 한다. 흔히 신방광 조형술이나 회장 도관술을 선택할 수 있으며, 두 방식 모두 로봇수술 시술자의 선택으로 체내(intracorporeal) 또는 체외(extracorporeal) 방법을 선택할 수 있다. 2022년 Catto 등[21]에 의하여 로봇 보조 체내 요로 전환술과 개복수술을 수술 후 3개월 동안 비교하였을 때, 로봇수술에서 퇴원 일수 및 생존 일수 등이 유의하게 좋았다고 발표하였다. 이러한 결과를 바탕으로 비록 기술적인 난이도는 있으나 최소 침습적 방법인 로봇 보조 체내 요로 전환술 방법은 안정성이 검증되고 있다. 국내에서도 로봇 보조 복강경하 근치적 방광 절제술 및 체내 정위성 신방광 조형술을 여러 병원들에서 시행하고 있으며, 좋은 결과를 발표하며 국내 의료진들에 뛰어난 로봇수술 기술을 보여 주고 있다[22,23].

비뇨의학과 영역에서 다빈치 로봇 이외 로봇수술의 개발 현황

다빈치 로봇이 가장 많은 비율을 차지하며 로봇수술을 선도하고 있는 가운데 최근 여러 나라 및 회사에서 다양한 로봇을 개발하여 출시하고 있다. 몇 가지 상용화되어 있는 예시로 Senhance Robotic System (Asensus Surgical, Durham, NC, USA), Hugo RAS System (Medtronic, Minneapolis, MN, USA) 및 Hinotori Surgical Robot System (Medicaroid, Kobe, Japan) 등이 있다.

국내에서도 Revo-I Robotic Platform (Meere Company Inc., Seoul, Korea)이 개발되어 사용 중이다. 이 로봇 역시 국내에서 가장 먼저 비뇨의학과 전립샘 절제술 부분에서 사용되었으며, 2018년 Chang 등[24]에 의하여 총 17명의 국소 전립샘 암 환자에서 Retzius 보존 방식의 근치적 전립샘

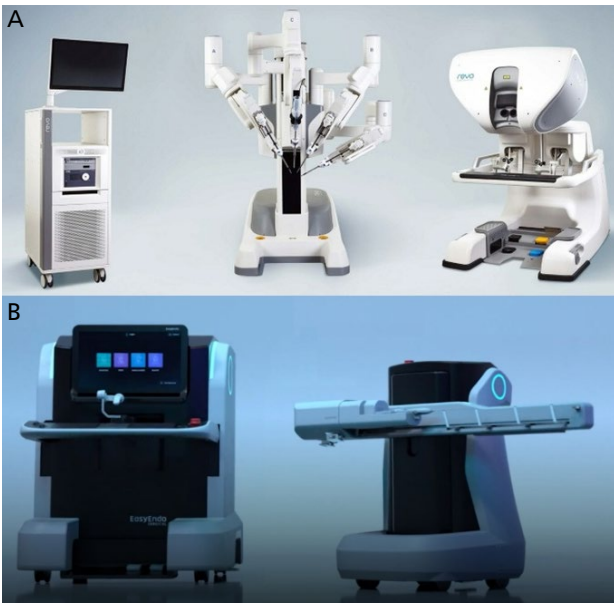


Figure 3. Domestic robot platforms. (A) Revo-I (Meere Company Inc., Korea). (B) Zamenix (Roen Surgical, Korea).

절제술을 안전하게 시행하였다고 발표하였다. 이후 국내에서 여러 병원에 보급되며 사용 중이다. 요로 결석 분야에서 새로운 로봇이 국내에서 개발되었다. 이전 개발된 로봇들도 있었으나[25], 이들에 장단점을 보완하여 국내에서 최근 Zamenix (Roen Surgical, Daejeon, Korea)가 개발되었다. 기존 연성 요관 내시경수술에 가장 큰 단점인 시술자의 방사선 피폭을 줄일 수 있으며, 결석 제거에서도 손으로 직접 운영하는 내시경에 대비 로봇의 정밀성과 편의성을 개선하며 반자동 기수를 통해 반복적으로 추출해야 하는 결석 파편들을 더 편하고 빠르게 진행할 수 있는 장점이 있다. 현재 임상실험을 성공적으로 마치고 상용화에 힘쓰고 있다 (Figure 3) [26,27].

결론

비뇨의학과는 로봇수술의 시작부터 함께 하였으며, 지속적인 로봇수술 건수 증가와 함께 수술의 영역 또한 확장되고 있다. 비뇨의학 분야 장기들의 특징으로 인한 전통적 복강경 수술의 단점을 극복한 로봇수술은 의사와 환자 모두에서 높은 만족도와 좋은 수술 결과를 보여주고 있기 때문에 지속적

으로 수요가 증가될 것으로 생각된다. 그러나 현재 국내 의료보험 실정 상 가장 큰 한계점은 비용 문제일 것이다. 따라서 비뇨의학과도 이에 대한 지속적인 협의를 통한 비용 절감에 노력해야 될 것이다. 이러한 단점을 극복하고 발전된 로봇 장비로 선명한 시야와 EndoWrist를 이용한 섬세하고 꼼꼼한 움직임, 손떨림 보정 등 로봇수술의 장점을 이용한다면 많은 비뇨의학과 수술은 지속적으로 발전하여 더 나은 환자 진료 및 치료를 시행할 수 있을 것으로 생각한다.

찾아보기말: 로봇수술; 비뇨의학; 최소침습수술; 전립샘절제술

ORCID

Doo Yong Chung, <https://orcid.org/0000-0001-8614-5742>

Joo Yong Lee, <https://orcid.org/0000-0002-3470-1767>

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. Franco A, Ditunno F, Manfredi C, et al. Robot-assisted surgery in the field of urology: the most pioneering approaches 2015-2023. *Res Rep Urol* 2023;15:453-470.
2. Skolarus TA, Zhang Y, Hollenbeck BK. Robotic surgery in urologic oncology: gathering the evidence. *Expert Rev Pharmacoecon Outcomes Res* 2010;10:421-432.
3. Binder J, Kramer W. Robotically-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int* 2001;87:408-410.
4. Ficarra V, Novara G, Artibani W, et al. Retropubic, laparoscopic, and robot-assisted radical prostatectomy: a systematic review and cumulative analysis of comparative studies. *Eur Urol* 2009;55:1037-1063.
5. Freire MB, Weinberg AC, Lei Y, et al. Anatomic bladder neck preservation during robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy: description of technique and outcomes. *Eur Urol* 2009;56:972-980.
6. Galfano A, Di Trapani D, Sozzi F, et al. Beyond the learning curve of the Retzius-sparing approach for robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: oncologic and functional results of the first 200 patients with ≥ 1 year of follow-up. *Eur Urol* 2013;64:974-980.
7. Chung DY, Jung HD, Kim DK, et al. Outcomes of Retzius-sparing versus conventional robot-assisted radical prostatectomy: a KSER update series systematic review and

meta-analysis. *PLoS One* 2022;17:e0268182.

8. Wagaskar VG, Mittal A, Sobotka S, et al. Hood technique for robotic radical prostatectomy-preserving periurethral anatomical structures in the space of Retzius and sparing the pouch of Douglas, enabling early return of continence without compromising surgical margin rates. *Eur Urol* 2021;80:213-221.
9. de Carvalho PA, Barbosa JA, Guglielmetti GB, et al. Retrograde release of the neurovascular bundle with preservation of dorsal venous complex during robot-assisted radical prostatectomy: optimizing functional outcomes. *Eur Urol* 2020;77:628-635.
10. Buttarazzi PJ, Devine PC, Devine CJ, Poutasse EF. The indications, complications and results of partial nephrectomy. *J Urol* 1968;99:376-378.
11. McDougall EM, Clayman RV, Chandhoke PS, et al. Laparoscopic partial nephrectomy in the pig model. *J Urol* 1993;149:1633-1636.
12. Winfield HN, Donovan JF, Godet AS, Clayman RV. Laparoscopic partial nephrectomy: initial case report for benign disease. *J Endourol* 1993;7:521-526.
13. Wu Z, Li M, Liu B, et al. Robotic versus open partial nephrectomy: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2014; 9:e94878.
14. Vartolomei MD, Remzi M, Fajkovic H, Shariat SF. Robot-assisted partial nephrectomy mid-term oncologic outcomes: a systematic review. *J Clin Med* 2022;11:6165.
15. Bertolo R, Autorino R, Simone G, et al. Outcomes of robot-assisted partial nephrectomy for clinical T2 renal tumors: a multicenter analysis (ROSULA Collaborative Group). *Eur Urol* 2018;74:226-232.
16. Lowrance WT, Rumohr JA, Chang SS, Clark PE, Smith JA, Cookson MS. Contemporary open radical cystectomy: analysis of perioperative outcomes. *J Urol* 2008;179:1313-1318.
17. Menon M, Hemal AK, Tewari A, et al. Nerve-sparing robot-assisted radical cystoprostatectomy and urinary diversion. *BJU Int* 2003;92:232-236.
18. Sathianathen NJ, Kalapara A, Frydenberg M, et al. Robotic assisted radical cystectomy vs open radical cystectomy: systematic review and meta-analysis. *J Urol* 2019;201:715-720.
19. Parekh DJ, Reis IM, Castle EP, et al. Robot-assisted radical cystectomy versus open radical cystectomy in patients with bladder cancer (RAZOR): an open-label, randomised, phase 3, non-inferiority trial. *Lancet* 2018;391:2525-2536.
20. Hussein AA, Elsayed AS, Aldhaam NA, et al. Ten-year oncologic outcomes following robot-assisted radical cystectomy: results from the international robotic cystectomy consortium. *J Urol* 2019;202:927-935.
21. Catto JW, Khetrpal P, Ricciardi F, et al. Effect of robot-assisted radical cystectomy with intracorporeal urinary diversion vs open radical cystectomy on 90-day morbidity and mortality among patients with bladder cancer: a randomized clinical trial. *JAMA* 2022;327:2092-2103.
22. Ham WS, Rha KH, Han WK, et al. Oncologic outcomes of intracorporeal vs extracorporeal urinary diversion after robot-assisted radical cystectomy: a multi-institutional Korean study. *J Endourol* 2021;35:1490-1497.
23. Shim JS, Kwon TG, Rha KH, et al. Do patients benefit from total intracorporeal robotic radical cystectomy?: a comparative analysis with extracorporeal robotic radical cystectomy from a Korean multicenter study. *Investig Clin Urol* 2020;61: 11-18.
24. Chang KD, Abdel Raheem A, Choi YD, Chung BH, Rha KH. Retzius-sparing robot-assisted radical prostatectomy using the Revo-i robotic surgical system: surgical technique and results of the first human trial. *BJU Int* 2018;122:441-448.
25. Lee JY, Jeon SH. Robotic flexible ureteroscopy: a new challenge in endourology. *Investig Clin Urol* 2022;63:483-485.
26. Han H, Kim J, Moon YJ, et al. Feasibility of laser lithotripsy for midsize stones using robotic retrograde intrarenal surgery system easyUretero in a porcine model. *J Endourol* 2022; 36:1586-1592.
27. Kim J, Jung HD, Moon YJ, et al. In vivo feasibility test of a new flexible ureteroscopic robotic system, easyUretero, for renal stone retrieval in a porcine model. *Yonsei Med J* 2022;63: 1106-1112.

Peer Reviewers' Commentary

이 논문은 다빈치 로봇 시스템을 포함한 로봇수술의 역사와 비뇨의학 영역에서 시행되는 다양한 수술들에 대한 장점을 메타분석 연구를 통해 체계적으로 정리한 논문이다. 전립샘암의 대표적인 수술적 치료인 근치적 전립샘절제술에서 로봇 보조 수술을 통해 주변 신경과 구조물을 보존함으로써 수술 후 발생이 가능한 대표적인 합병증인 요실금 및 성기능장애 정도를 감소시킬 수 있음을 잘 제시하고 있다. 신종양의 부분 신절제술에서도 다른 수술법과 비교 시 로봇 보조 수술이 종양학적 결과에 차이 없이 적은 합병증을 보이는 좋은 수술 방법임을 설명하고 있다. 또한, 다빈치 시스템 이외에도 다소 생소할 수 있는 다양한 로봇 시스템에 대한 설명을 통해 로봇수술 시스템의 발전과 영역 확대 가능성을 제시하고 있다. 이 논문은 비뇨의학 영역의 다양한 질환에서 로봇수술을 이용한 치료 방향을 제시하는 데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

[정리: 편집위원회]