국내 로봇 수술의 현황 및 앞으로의 전망

고려대학교 의과대학 안암병원 대장항문외과

성낙송 · 김선한

Current Status and Future Prospect of Robotic Surgery in Korea

Nak Song Sung, M.D., Seon-Hahn Kim, M.D., Ph.D.

Department of Surgery, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Since the first clinical application of "the da Vinci system" in 2005 in Korea, robotic surgery, an emerging technology in minimally invasive surgery (MIS), has been rapidly adopted in a variety of surgical fields, and approximately 7,000 robotic surgeries have been performed annually in recent years. In past years, Korean surgeons have played a pivotal role in development of robotic surgery, particularly in the general surgery field. A major advantage of robotic surgery is to make a more precise procedure possible, especially in a confined area with magnified three-dimensional vision, enhanced dexterity by endowrist and stable camera control, and better ergonomics, thus adds the benefits of MIS, such as improvement of oncologic surgery quality and better functional preservation.

For these reasons, it has been used prominently in prostate, thyroid, and rectal surgery. However, it is also true that several controversies such as less evidence for efficacy and cost-effectiveness, a longer operation time, and absence of haptic sensation have continued. In this article, we reviewed the current status of robotic surgery mainly based on a report from National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency (NECA) and discussed the future prospects on the basis of recent literature and our clinical experiences.

Key words: Robotic surgery, Minimal invasive surgery, Current status, Future prospects

서론

최근 20여 년간 첨단 과학 및 기술의 발전과 경험의 축적 및 많은 연구를 통하여 입증된 개복 수술에 비해 적은 창상 및 통증, 조기 회복 및 조기 퇴원 등 수술 후 회복에 있어서의 장점 및 종양학적 안전성 등을 바탕으로 빠른 속도로 보편화되어 흉부외과, 외과, 산부인과, 비뇨기과 등 다양한 외과 영역에서 치료에 이용되고 있다. 로봇 수술 역시 이러한 시대적 흐름 속에서 개발된 최소 침습 수술 방법들 중 하나로 1990년대 초반부터 수술에 로봇기구가 도입되기 시작하였다. 하지만 인공 고관절 수술에서 관절을 보다 정밀하게 가공하는 데 이용되었던 로보닥(RoboDoc system, Integrated Surgical System)이나, 복강경 수술 시 카메라를 고정 및 이동하는데 이용된 이숍(AESOP, Computer Motion)을 이용한 수술은 진정한 로봇수술이라기보다는 수술 과정 일부

에 수술용 로봇을 이용한 것으로 보고 있다. 현재 이해되고 있는 로봇 수술의 정의는 내시경 및 수술용 기구 등을 로봇 팔에 고정하고, 수술자가 조정장치를 작동하여 움직이는 로봇 팔을 이용, 수술도구가 환자와 직접 접촉하는 수술과정의 전체 혹은 일부분을 로봇이 담당하는 수술을 말한다.¹ 로봇수술은 다른 최소 침습 수술의 빠른 회복, 적은 창상 등의 장점 뿐 아니라, 고화질의 확대된 3차원적 입체 영상(3D magnified view), 직관적 움직임, 손 떨림의 제거 및 7개 자유도의 움직임을 가지는 관절(endowrist) 등의 특징을 바탕으로 좁고 제한된 공간 내에서 보다 안정적이고 정교한 수술을 가능하게 하는 장점이 있어 전립선, 직장 및 갑상선 수술 등 효과가 극대화될 수 있는 분야에서 보다 활발히 활용되고 있다. 현재 유일하게 상용화되어 로봇수술에 사용되고 있는 다빈치 시스템(the da Vinci system, Intuitive Surgical, Inc., Sunnyvale, CA, USA)은 2005년 4월 국내에 처음으로 도입, 2005년 7월 식품의약품안전청 인증을 통과하였고, 2014년 6월 기준으로 전세계적으로는 3,102대, 국내에는 35개 병원에 46대의 로봇이 설치되어 있고, 국내에서의 로봇 수술건수는 2005년 최초로 연세대학병원에서 담낭 절제술에 사용된 것을 시작으로 당 해에 25건이 시행된 후, 점차적으로 사용횟수가 증가하여 2012년 7,000여건, 2013년 7,300여건의 로봇수술이 시행되었으며 2013년까지 총 35,200여건의 로봇 수술이 시행될 정도로 많이 시행되고 있

Received December 8 2014, Revised December 11, 2014,

Accepted December 11, 2014

※ Corresponding author : Seon-Hahn Kim

Department of Surgery, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, 73, Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul 136-705, Korea

Tel : +82-2-920-6644, Fax : +82-2-928-1631

E-mail : drkimsh@korea.ac.kr

고, 많은 외과 영역에서 수술의 표준화 및 지속적인 연구를 바탕으로 전세계적으로도 로봇수술을 이끌어어나가는 역할을 해나가고 있다. 보건복지부가 한국보건 의료연구원(NECA)에 의뢰하여 2005년부터 2012년 6월까지 국내에서 시행된 로봇수술환자 전수를 실태 조사하여 2013년도 6월 일부 언론매체를 통하여 발표된 자료에 의하면, 국내에서 가장 많이 시행된 악성질환은 전립선암이고 그 다음은 갑상선암, 직장암, 위암, 신장암 순으로 나타났고, 진료 과목별로는 외과, 비뇨기과, 산부인과, 이비인후과, 흉부외과, 신경외과 순으로 많이 사용되고 있는 것으로 보고하였다.²

하지만 로봇 기구 자체 및 유지 비용이 고가이며, 건강보험 비급여 항목으로 등재되어 있는 수술로 기존 수술에 대비 고비용으로, 비용 대비 효과에 대한 문제와 함께 안전성에 대한 의문들이 지속적으로 제기되고 있고, 비용차이가 많이 나고 수술팀의 숙련도와 학습시간에 따라 수술결과의 편차가 크기 때문에 전향적 연구나 무작위 비교 연구가 힘들어 충분한 근거로 삼을 수 있는 문헌 및 근거자료가 부족하고 암 수술에 있어서 종양학적 장기 결과 등에 대한 보고가 부족하여 종양학적 안전성을 평가하기가 부족한 것으로 알려져 있다.

이에 본 종설에서는 지금까지 보고된 문헌들의 체계적인 고찰을 통해 현재 국내에서의 로봇수술의 현황과 로봇의 유효성 및 안전성과 앞으로의 전망에 대해 알아보고자 하였다.

로봇 근치적 전립선절제술

1) 로봇 근치적 전립선절제술의 현황

국내의 전립선암은 서구에 비해 발생률이 낮아 그 중요도가 적게 여겨졌지만, 2011년 기준으로 최근 발생 증가율이 13.5%로 두번째로 높고, 전체 7위(4.1%), 남성에서 5위(8.1%)의 발생률을 보이고 있는 질환으로,³ 근치적 전립선절제술이 국소적 전립선암의 주요 치료법이다. 복강경을 이용한 근치적 전립선절제술(Laparoscopic radical prostatectomy, LRP)은 1997년 최초 보고되어 널리 활용되고 있지만 긴 학습시간, 직관에 반대되는 움직임, 경성의 기구, 2차원적 영상, 다른 수술에 비해 술자의 자세가 불편한 점 등의 한계점 및 방광요도문합에 있어 어려움이 있다. 이런 이유로 로봇 근치적 전립선절제술(Robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy, RALP)은 로봇의 장점이 가장 극대화되는 수술 중 하나로 여겨진다.⁴ 국내에서 로봇 근치적 전립선절제술은 2005년 연세대학병원에서 처음으로 시행되어 2012년 6월까지 국내 30개 병원에서 1,830명의 환자가 로봇을 이용하여 근치적 전립선절제술을 시행 받았고, 2013년 국내 전체 로봇 수술의 40%로 가장 많이 시행되는 수술로 보고되었다.² 또한 국내에서 가장 많은 수술을 시행하고 있는 병원들 중 한 병원의 결과에서는 최근 5년간

83%의 환자가 로봇수술을, 17%의 환자가 개복수술을 받은 결과를 보였고, 국내의 전립선 근치적 절제술에 있어 로봇수술로의 비중이 증가하는 경향이 있음을 보고하였다.⁵

2) 로봇 근치적 전립선절제술의 안전성 및 유효성

우리나라를 포함하여 전세계적으로 가장 많이 시술에 많이 이용되고 있는 전립선암에 대하여는 그 동안 가장 많은 문헌이 축적되어 있고, 이중 가장 최근에 유럽비뇨기과학회 공식잡지인 European Urology에 발표된 계통적 리뷰 및 메타분석 자료에 의하면, 로봇수술이 개복수술이나 복강경수술에 비하여 종양학적으로는 차이가 없으면서 수술 12개월 후 배뇨기능이나 성기능에서 우수한 것으로 나타났다.⁶⁻⁸ 국내 의료진에 의해 보고된 문헌은 2006년 robot assisted laparoscopic radical prostatectomy 논문이 처음 발표된 뒤로 2014년까지 국내외에 100여 편의 논문이 발표되었으며, 아직 근거자료는 부족하지만 국내에서 발표되고 있는 논문들의 결과도 위에서 언급한 유럽의 논문과 유사하게 보고되고 있다. 2013년 서울대학병원에서 발표한 논문들에서는 수술 후 성기능 및 배뇨자제기능의 회복에 있어 로봇수술이 개복수술보다 우수한 것으로 나타났고,^{9,10} 2014년 연세대학병원에서 연령, 술전PSA, 임상적 종양 병기에 따라 개복술군과 로봇수술군으로 1 : 1 배정된 각 175명의 전립선암 환자에 대한 평균 58.4개월의 추적관찰 결과를 보고한 개복술과 로봇수술의 종양학적 결과를 비교한 논문(case-matched comparative study)에서는, 절제연 양성율(positive surgical margin rates)이 19.4% vs. 21.8% (robot vs. open)로 비슷하고, 림프절 절제 범위는 12.5 vs. 3.8 (robot vs. open; $p < 0.001$)로 로봇군에서 우위한 결과를 보이며, 생화학적 재발률(biochemical recurrence-free survival), 5년 암특이 생존율(cancer-specific survival), 전체 생존율(overall survival)에서는 차이가 없다는 결과가 보고되었다.¹¹

국내에 로봇수술이 도입된 시기가 길지 않고 대부분의 수술 및 보고되는 연구결과들이 전립선암 분야의 전문가들에 의해 행해지고 있어 특히 성기능, 배뇨기능의 회복 및 종양학적 결과에 있어 상당히 좋은 결과가 보고되고 있는 상황인 것으로 보인다.

로봇 갑상선 절제술

1) 로봇 갑상선 절제술의 현황

갑상선암의 발생률은 전세계적으로 급증하는 추세이며,¹² 국내 발생률 역시 급증하고 있다. 2011년 기준, 남(23.7%), 여(23.5%) 모두에서 연평균 증가율 1위를 보이고, 전체 암 발생률도 18.6%로 가장 높은 비율로 발생하고 있는 암으로,³ 갑상선암의 급격한 증가 원인은 진단기술의 발달과 검진의 증가에 기인한 것으로 보고 있다. 갑상선암의 가장 근본적인 치료법은 갑상선절제술이고, 절제 범위에 따

라 전절제술(total thyroidectomy), 근전절제술(subtotal thyroidectomy), 엽절제술(thyroid lobectomy)로 분류할 수 있다. 경부를 통한 접근법으로 수술하는 전통적인 갑상선 절제술은 지난 한 세기동안 가장 표준적인 치료방법으로 이용되어 왔고, 안전성이나 유효성이 이미 입증되어 있는 수술이다. 하지만 수술 후 남은 흉터가 환부 특성상 가리기 쉽지 않아 미용적 측면에서 떨어진다는 단점이 있어왔다. 이에 1997년 Hucher에 의해 내시경을 이용한 갑상선 절제술이 도입된 이후 여러 수술법이 개발되었고 피부 절개부위 즉 접근 부위에 따라 흉부, 겨드랑이, 유방 접근법으로 분류된 수술법이 사용되고 있으며,¹³ 내시경 갑상선 절제술은 수술 후 흉터가 작고 눈에 잘 띄지 않는 부위로 미용적 측면에서 전통적인 갑상선 절제술에 비해 만족도가 높다. 하지만 제한적인 수술 공간에 따른 기술적인 제한점이 문제로 제기되어 왔다.¹⁴ 로봇 갑상선 절제술은 확대된 영상, 술자의 손 떨림 제어, 관절을 이용한 동작 등을 바탕으로 내시경 갑상선 절제술에 비해 정교하고 안정적인 수술을 가능하게 하는 이점이 있다.¹⁵ 국내에서는 2007년 겨드랑이 접근법을 이용한 갑상선 절제술을 시작으로 7,240례의(2012년 6월 기준) 로봇 갑상선 수술이 시행되었고 2013년 국내에서 행해진 전체 로봇 수술의 31%로 두번째로 많이 시행되고 있는 수술로 보고되었다.²

2) 로봇 갑상선 절제술의 안전성 및 유효성

최근에 로봇 갑상선 절제술에 대한 계통적 리뷰 및 메타 분석 논문들이 발표되고 있으며, 2014년 Lang 등은 로봇수술이 내시경 수술에 비해 낮은 신경손상과 짧은 재원일수를 보였고 종양학적 결과에는 차이가 없다는 결과와 고식적인 갑상선에 비해서는 약간 높은 신경손상과 긴 재원일수를 보였지만 수술 관련 합병증 발생률에는 차이가 없다는 결과를 보고하였다.^{16,17} 2014년 Nicole 등이 발표한 논문에서는, 로봇수술이 고식적인 갑상선 절제술 및 내시경 갑상선 절제술에 비하여 수술시간이 조금 길고 일시적인 부갑상선 기능 저하증 발생률이 다소 높은 것 이외에 수술 관련 합병증 발생률 및 종양학적 결과에는 차이가 없고 수술 후 통증, 재원일수, 미용적인 측면에서는 앞선다는 결과가 보고되었다.¹⁸ 위의 언급되어 있는 논문들은 외국인 저자에 의해 작성되어 있지만 각 논문에 포함되어 있는 대다수의 연구들이 국내 연구진에 의해 발표된 연구논문들이어서 국내 로봇 갑상선 절제술의 안전성 및 유효성을 평가하는 지표로도 유용하리라 판단된다. 국내 연구진에 의해서는 지금까지 40여편의 논문이 발표되어 있고, 2011년 연세대학병원에서 유두상 갑상선암 1,150명(로봇 580명 vs. 내시경 570명)의 환자 증례를 바탕으로 발표한 내시경 갑상선 절제술과의 비교 논문에서는 로봇군에서 종양병기가 조금 더 진행된 환자가 많았고 일시적인 부갑상선 기능 저하증 발생률이 높았지만 그 외 수술 관련 합병증이나 단기 추적

관찰이었지만 종양학적 결과도 차이가 없음을 보고하면서 갑상선 수술에서 로봇이 내시경의 기술적인 제한점을 극복할 수 있는 방법이라고 보고하였다.¹⁹ 이와는 반대로 2012년 가톨릭대학병원에서 발표한 로봇과 내시경 갑상선 수술 비교 논문에서는 8배가 비싼 로봇수술이 비용 대비 내시경 수술에 비한 이점이 있다고 말할 수 없다는 결과를 보고하였다.²⁰

결론적으로, 고비용 대비 유효성에 대한 부분에서는 논란의 여지가 많은 것이 사실이나, 안전성은 어느정도 입증된 것으로 보이며, 흉터에 민감할 수 밖에 없는 젊은 여성 환자가 많은 질환 특성상 지속적인 수요군이 있는 것이 사실이고 이런 환자들에게 안전하게 권유할 수 있는 수술로 여겨진다.

직장암

1) 로봇 직장암 수술의 현황

국내의 로봇 직장암 수술은 2006년 연세대학병원에서 처음으로 시행되었고, 2013년 기준으로 약2,500례의 수술이 시행되었고 국내 전체 로봇 수술의 16%로 세번째로 많이 시행된 것으로 보고되었다.² 직장암은 결장암과 달리 골반강이라는 협소한 해부학적 공간 내에 위치하면서 주변 골반 장기와 인접해 있어, 전직장간막 절제술을 기본으로 한 직장암 수술시 결장암 수술에 비해 기술적인 어려움이 있고 수술 후 성기능, 배뇨기능의 장애가 주의된다. 직장암의 치료에 있어 가장 근본이 되는 전직장간막 절제술결장암에서의 복강경 수술이 개복수술에 비해 미세 침습 수술의 장점을 가지면서 수술 관련 합병증 및 장기적인 종양학적 결과에 차이가 없다는 결과는 많이 보고되어 있다.^{21,22} 하지만 복강경 직장암 수술은 결장암 수술에 비해 개복으로 높은 전환율을 보이고, 성기능/배뇨기능장애를 개선시키지 못하거나 악화시킨다는 결과가 보고된 바 있다.^{23,24} 이러한 관점을 토대로 볼 때, 로봇직장암수술은 로봇의 장점이 극대화되어 골반강 박리시 인접 신경 손상을 줄여 수술 후 발생할 수 있는 성기능/배뇨기능장애를 개선시키고 특히 골반강이 협소한 환자나 중하부 직장암에서 보다 정확한 전직장간막 절제술을 가능케 하여 보다 나은 종양학적 결과도 기대되는 수술법이라 할 수 있다.²⁵

2) 로봇 직장암 수술의 안전성 및 유효성

직장암에 대한 로봇수술은 특히 우리나라에서 주도적으로 시행되고 있고 보고된 문헌도 국내의료진이 많은 수를 차지하고 있다. 그 이유로는 로봇수술의 근간이 되는 복강경직장암수술이 타 국가에 비하여 보편화되어 최소침습수술에 대한 기술적인 축적이 많이 되어있기 때문으로 여겨진다. 지금까지 보고된 18개 문헌(이중 한국저자논문 9개 포함됨)을 토대로 미국대장항문학회 공식잡지 Dis Colon

and Rectum에 2013년 발표된 계통적 리뷰에 따르면 수술전 방사선치료 받은 중하부직장암, 비만도가 높은 남자 환자에서 로봇수술을 시행하면 기존의 복강경수술에 비하여 개복전환율이 낮은 장점이 있으며 단기 치료성적이 우수할 것으로 예측된다고 발표되었다.²⁶ 최근 국내 의료진에 의해 발표된 논문들에서는 아직 근거부족으로 장기 종양학적 결과는 판단할 수 없지만, 단기 종양학적 결과들은 차이가 없고 복강경에 비해 개복술로의 전환율이 낮고 특히, 중하부에 위치하는 진행된 직장암이나 좁고 협소한 골반강 내의 수술시 기술적인 부담감이 적은 장점이 있다고 보고하고 있고,²⁷⁻³⁰ 2012년, 2014년 발표된 자율신경손상장애에 관련된 두편의 논문에서는 로봇수술이 복강경수술에 비해 성/배뇨 기능의 빠르게 회복된다는 결과를 보고한 바 있다.^{31,32}

직장암에서 로봇수술의 안전성에 대한 논란은 크지 않은 것으로 보이나, 고비용과 긴 수술시간에 대한 문제제기도 있는 것이 사실이며, 특히 고비용대비 유효성 측면은 아직 논쟁의 여지가 있는 것이 사실이다. 하지만 골반강이 협소한 경우, 크기가 큰 직장암, 진행된 중하부직장암과 같은 까다로운 수술이 예상되는 경우나 성/배뇨기능의 보존이 상대적으로 좀 더 중요한 젊은 환자의 경우에 좀 더 효과적이고 의미 있는 결과를 예상할 수 있으리라 생각한다.

위 압

1) 로봇 위 절제 수술의 현황과 안전성 및 유효성

국내에서 위암은 2011년 기준 발생률 14.5%로 두번째로 높은 암이고 최근 조기검진 등으로 조기 위암 진단율이 73%정도로 높아졌지만 여전히 많은 경우 진행성 암으로 초기 진단되고 있는 질환이다. 1994년 일본에서 Kitano 등에 의해 처음으로 복강경 위절제술이 처음으로 보고되었고,³² 위암 발생이 많은 아시아 특히 일본과 한국의 의료진에 의해 많은 연구가 진행되어 왔다. 현재 조기위암 환자에서 수술이 필요시 대부분의 병원에서 복강경 위절제술을 시행하고 있고, 최근 국내 다기관 연구 논문에서 진행성 위암에서도 복강경 수술로 개복수술과 비슷한 종양학적 결과를 얻을 수 있다는 결과가 발표되기도 했지만,³³ 진행성 위암에서는 치료 성적을 결정하는 D2 림프절 절제술의 기술적인 어려움 및 긴 학습곡선 및 종양학적 안전성을 입증할 수 있는 근거가 아직은 부족하여 복강경 수술 경험이 많은 기관들에서만 이루어지고 있다.³⁴ 위절제술의 로봇수술 역시 복강경 수술의 제한점을 극복하는 한 방법으로 생각되었고 2002년 일본의 Hashizume에 의해 처음으로 시행되었으며,³⁵ 국내에서는 2005년 최초로 시행되었고 2012년 6월 기준으로 약 1,300례의 수술이 시행되었다. 로봇 위절제술의 종양학적 안전성, 유효성에 대한 연구논문들은 주로 우리나라와 일본을 포함한 아시아 국가에 의한 문헌들이 많았으나 다른 질환에 비해 상대적 인 수가 적었다. 2014년 국내에서

발표된 계통적 리뷰에서는 로봇 수술군에서 복강경 수술군에 비해 출혈량이 적었고 더 많은 림프절을 확보하였다는 결과를 보고하였고,³⁶ 복강경 경험이 풍부한 술자에게는 적은 수의 증례로도 안전하게 수술을 시행할 수 있다는 보고도 있었다.³⁷ 하지만, 지금까지 발표된 대부분의 문헌들은 로봇 위절제술이 복강경 위절제술과 비교하여 수술관련 합병증이나 안전성면에서 큰 차이가 없지만, 고비용 대비 명확한 이점에 대해 설명할 수 없다는 결과들을 보고하고 있었다. 결론적으로, 위 절제술에 있어 로봇의 안전성 및 유효성을 입증하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

다른 질환에서의 로봇 수술의 현황

국내뿐 아니라 전세계적으로 로봇이 가장 활발히 이용되는 비뇨기와 영역에서는 전립선 절제술 외에도 방광암에서의 방광절제술 및 회장도관요로성형술(ileal conduit urinary diversion), 신장절제술 특히 신우성형술(pyeloplasty)을 필요로 하는 부분 신절제술(partial nephrectomy) 과 같이 기술적으로 정교함을 요하는 수술에서의 사용 빈도가 늘고 있는 것으로 보인다.

부인과 영역에서는 2006년부터 로봇수술이 시작되었으나 사용되는 빈도가 많지 않다가 2012년, 2013년 각 500례 정도의 수술이 시행된 것으로 보고되었다. 자궁절제술, 재발성 부인과암수술, 및 골반 벽측 림프 절제술, 복강내 봉합이 요구되는 자궁근종절제술 및 자궁내막증 등에서 복강경에 비해 기술적으로 용이하고 안전하게 시술이 가능하다는 논문들이 최근 발표되고 있다.³⁸⁻⁴¹

흉부외과 영역에서는 국내 의료진에 의해 보고된 논문들이 많지 않은 상태이나, 최근 아산병원에서 로봇을 이용하여 수술한 승모판재건술(mitral valve repair) 200례의 경험에서 98%의 환자에서 승모판 폐쇄부전(mitral valve regurgitation)이 교정되었고 개흉술로의 전환은 없었으며 중장기 추적관찰 결과 87%의 환자에서 판막의 내구성이 잘 유지되며 기술적으로 유효하며 효과적이라는 보고를 한 바 있다.⁴²

최근 국내 의료진에 의해 발표된 논문들을 검토해 본 결과, 다른 질환에서의 로봇 수술 및 연구 논문들은 대부분 단일 기관에서 시행된 연속된 경험을 바탕으로 한 결과보고들이 대다수였고 전향적 연구나 계통적 리뷰 등의 연구는 많지 않아 안전성이나 유효성 평가에는 다소 무리가 있는 것으로 보인다. 주로 이용되고 있는 분야에 비해 임상적용 증례가 적은 것은 여러 문제가 있겠지만, 아직 로봇 표준 수술법의 정립이 되어 있지 않고, 근본적으로는 고비용에 따른 높은 문턱 때문으로 보인다. 하지만, 대부분의 로봇 사용이 기술적인 어려움이 큰 질환들에서 이루어졌음에도 기존 수술에 비해 안전성 및 유효성에 큰 문제를 보이지

않는다는 결과들을 보았을 때 비용문제가 해결되면 무분별한 사용은 지양되어야 하겠지만 보다 많은 질환에서의 수술 및 연구가 가능하리라 생각된다.

결론

최근 20여 년간 외과 수술에서 가장 큰 변화는 미세 침습 수술이 많은 영역에서 표준수술로 대체되었다는 점일 것이다. 복강경을 포함 미세 침습 수술은 안전성과 유효성에 대한 논란으로 10여 년간 많이 보편화되지 않다가 전통적인 수술과 비교하여 조기회복, 미용적인 이득뿐 아니라 수술 관련 안전성, 종양학적 안전성이 차이가 없다는 높은 근거 수준의 발표들이 이어지면서 다양한 외과 영역에서 급격히 보편화되었다. 이런 상황에서 아직은 과도기적 단계이고 대부분의 수술 및 연구결과가 소수의 전문가에 의해 행해지고 있는 로봇 수술의 안전성 및 유효성에 대한 논란은 당연한 것으로 보인다. 하지만 이상에서 살펴보았듯이 로봇이 비교적 많이 사용되고 있는 질환들에서의 임상결과를 통해 봤을 때 비용적인 측면을 제외하면 전통적인 수술과 비교하여 안전성이 부족하지 않고 로봇의 장점을 토대로 제한되고 협소한 공간에서의 정교한 수술을 가능하게 하는 긍정적인 영향이 있음은 분명해 보인다. 또한 위에서 언급하지는 않았지만 아직은 부피가 너무 크고 촉감을 느낄 수 없는 로봇 수술의 대표적인 단점은 기술 발달을 통하여 극복 중이며 실제로 아직 전달속도에 문제가 있지만 촉감전달이 가능한 로봇기술이나 단일공수술을 가능케 하기 위한 아직 초기 단계이기는 하지만 작은 크기의 로봇기술들도 어느 정도 구현되고 있는 실정이므로 곧 극복되리라 생각한다.^{43,44}

반면, 고비용 문제는 아직까지 해결되고 있지 않는 전 세계적인 공통적인 큰 장애물이다. 최근 일본은 전립선암에 대하여, 홍콩은 전립선암과 직장암에 대하여 로봇수술을 보험급여화 했고 향후 일본에서는 타 질환에 대한 암 수술, 우선 위암과 직장암 분야 및 부인과 종양에서도 비교 연구를 통하여 로봇의 장점을 확인하는 임상연구가 시작될 전망이다. 일본, 홍콩 이외에도 덴마크에서 전립선암 로봇 수술에 보험급여를 적용하고 있으며 추가되는 700만원 정도의 수술비용을 정부(보험)가 부담하고 있으며, 이태리에서도 Lombardia주, Veneto주 지방정부 등에서 전립선암 로봇수술 치료재료에 대하여 보험급여화를 시행하고 있는 것으로 알려져 있다. 우리나라의 경우는 2015년부터 환자가 50~80%의 비용을 부담하는 선별급여를 통하여 국가보증이 일정부분을 보상해 줄 전망이며 그 추진방법은 전립선암부터 단계적으로 시행할 지 직장암 등을 포함시켜 일괄적으로 할지는 아직 논의 중으로 금년 말이나 2015년 초에 결정될 것으로 비공식 발표되었다.⁴⁵ 결론적으로, 연구결과가 많이 이루어져 있는 질환부터의 보장성 강화를 통한 단

계적인 해결을 통하여 비용문제로 주춤하고 있는 국내의 로봇수술 분야가 긍정적인 방향으로 나아가도록 노력해야 할 시점이라 생각된다.

REFERENCES

- 1) Lee WJ. Robotics in laparoscopic surgery. *Hanyang Med Rev* 2008;28:68-74.
- 2) Lee SH, Kim JH, Hwang JS, et al. Clinical Effectiveness and Safety of Robotic Surgery. National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency. 2014.
- 3) Jung KW, Won YJ, Kong HJ, Oh CM, Lee DH, Lee JS. Cancer statistics in Korea: incidence, mortality, survival, and prevalence in 2011. *Cancer Res Treat* 2014;46:109-123.
- 4) Binder J, Kramer W. Robotically-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *BJU Int* 2001;87:408-410.
- 5) Lee DH, Jung HB, Chung MS, Lee SH, Chung BH. The change of prostate cancer treatment in Korea: 5 year analysis of a single institution. *Yonsei Med J* 2013;54:87-91.
- 6) Ficarra V, Novara G, Rosen RC, et al. Systematic review and meta-analysis of studies reporting urinary continence recovery after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2012;62:405-417.
- 7) Novara G, Ficarra V, Mocellin S, et al. Systematic review and meta-analysis of studies reporting oncologic outcome after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2012;62:382-404.
- 8) Novara G, Ficarra V, Rosen RC, et al. Systematic review and meta-analysis of perioperative outcomes and complications after robot-assisted radical prostatectomy. *Eur Urol* 2012;62:431-452.
- 9) Son SJ, Lee SC, Jeong CW, Jeong SJ, Byun SS, Lee SE. Comparison of continence recovery between robot-assisted laparoscopic prostatectomy and open radical retropubic prostatectomy: a single surgeon experience. *Korean J Urol* 2013;54:598-602.
- 10) Choo MS, Choi WS, Cho SY, Ku JH, Kim HH, Kwak C. Impact of prostate volume on oncological and functional outcomes after radical prostatectomy: robot-assisted laparoscopic versus open retropubic. *Korean J Urol* 2013;54:15-21.
- 11) Koo KC, Tuliao P, Yoon YE, et al. Robot-assisted radical prostatectomy in the Korean population: a 5-year propensity-score matched comparative analysis versus open radical prostatectomy. *Int J Urol* 2014;21:781-785.
- 12) Pellegriti G, Frasca F, Regalbuto C, Squatrito S, Vigneri R. Worldwide increasing incidence of thyroid cancer: update on epidemiology and risk factors. *J Cancer Epidemiol* 2013;2013:965212.
- 13) Mitchem JB, Gillanders WE. Endoscopic and robotic thyroidectomy for cancer. *Surg Oncol Clin N Am* 2013;22:1-13, v.
- 14) Lee J, Yun JH, Choi UJ, Kang SW, Jeong JJ, Chung WY. Robotic versus Endoscopic Thyroidectomy for Thyroid Cancers:

- A Multi-Institutional Analysis of Early Postoperative Outcomes and Surgical Learning Curves. *J Oncol* 2012;2012: 734541.
- 15) Muenscher A, Dalchow C, Kutta H, Knecht R. The endoscopic approach to the neck: a review of the literature, and overview of the various techniques. *Surg Endosc* 2011;25: 1358-1363.
- 16) Lang BH, Wong CK, Tsang JS, Wong KP. A systematic review and meta-analysis comparing outcomes between robotic-assisted thyroidectomy and non-robotic endoscopic thyroidectomy. *J Surg Res* 2014;191:389-398.
- 17) Lang BH, Wong CK, Tsang JS, Wong KP, Wan KY. A systematic review and meta-analysis comparing surgically-related complications between robotic-assisted thyroidectomy and conventional open thyroidectomy. *Ann Surg Oncol* 2014;21: 850-861.
- 18) Jackson NR, Yao L, Tufano RP, Kandil EH. Safety of robotic thyroidectomy approaches: meta-analysis and systematic review. *Head Neck* 2014;36:137-143.
- 19) Lee S, Ryu HR, Park JH, et al. Excellence in robotic thyroid surgery: a comparative study of robot-assisted versus conventional endoscopic thyroidectomy in papillary thyroid microcarcinoma patients. *Ann Surg* 2011;253:1060-1066.
- 20) Yoo H, Chae BJ, Park HS, et al. Comparison of surgical outcomes between endoscopic and robotic thyroidectomy. *J Surg Oncol* 2012;105:705-708.
- 21) Laparoscopically assisted colectomy is as safe and effective as open colectomy in people with colon cancer Abstracted from: Nelson H, Sargent D, Wieand HS, et al; for the Clinical Outcomes of Surgical Therapy Study Group. A comparison of laparoscopically assisted and open colectomy for colon cancer. *N Engl J Med* 2004; 350: 2050-2059. *Cancer Treat Rev* 2004;30:707-709.
- 22) Green BL, Marshall HC, Collinson F, et al. Long-term follow-up of the Medical Research Council CLASICC trial of conventional versus laparoscopically assisted resection in colorectal cancer. *Br J Surg* 2013;100:75-82.
- 23) Andersson J, Abis G, Gellerstedt M, et al. Patient-reported genitourinary dysfunction after laparoscopic and open rectal cancer surgery in a randomized trial (COLOR II). *Br J Surg* 2014;101:1272-1279.
- 24) Jayne DG, Brown JM, Thorpe H, Walker J, Quirke P, Guillou PJ. Bladder and sexual function following resection for rectal cancer in a randomized clinical trial of laparoscopic versus open technique. *Br J Surg* 2005;92:1124-1132.
- 25) Choi DJ, Kim SH, Lee PJ, Kim J, Woo SU. Single-stage totally robotic dissection for rectal cancer surgery: technique and short-term outcome in 50 consecutive patients. *Dis Colon Rectum* 2009;52:1824-1830.
- 26) Scarpinata R, Aly EH. Does robotic rectal cancer surgery offer improved early postoperative outcomes? *Dis Colon Rectum* 2013;56:253-262.
- 27) Kim JC, Yang SS, Jang TY, Kwak JY, Yun MJ, Lim SB. Open versus robot-assisted sphincter-saving operations in rectal cancer patients: techniques and comparison of outcomes between groups of 100 matched patients. *Int J Med Robot* 2012;8:468-475.
- 28) Park SY, Choi GS, Park JS, Kim HJ, Ryuk JP. Short-term clinical outcome of robot-assisted intersphincteric resection for low rectal cancer: a retrospective comparison with conventional laparoscopy. *Surg Endosc* 2013;27:48-55.
- 29) Baek SJ, Kim CH, Cho MS, et al. Robotic surgery for rectal cancer can overcome difficulties associated with pelvic anatomy. *Surg Endosc* 2014. (in press).
- 30) Park JS, Choi GS, Lim KH, Jang YS, Jun SH. Robotic-assisted versus laparoscopic surgery for low rectal cancer: case-matched analysis of short-term outcomes. *Ann Surg Oncol* 2010;17:3195-3202.
- 31) Park SY, Choi GS, Park JS, Kim HJ, Ryuk JP, Yun SH. Urinary and erectile function in men after total mesorectal excision by laparoscopic or robot-assisted methods for the treatment of rectal cancer: a case-matched comparison. *World J Surg* 2014;38:1834-1842.
- 32) Kim JY, Kim NK, Lee KY, Hur H, Min BS, Kim JH. A comparative study of voiding and sexual function after total mesorectal excision with autonomic nerve preservation for rectal cancer: laparoscopic versus robotic surgery. *Ann Surg Oncol* 2012;19:2485-2493.
- 33) Kim HH, Han SU, Kim MC, et al. Long-term results of laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: a large-scale case-control and case-matched Korean multicenter study. *J Clin Oncol* 2014;32:627-633.
- 34) An JY, Cheong JH, Hyung WJ, Noh SH. Recent evolution of surgical treatment for gastric cancer in Korea. *J Gastric Cancer* 2011;11:1-6.
- 35) Hashizume M, Shimada M, Tomikawa M, et al. Early experiences of endoscopic procedures in general surgery assisted by a computer-enhanced surgical system. *Surg Endosc* 2002; 16:1187-1191.
- 36) Marano A, Choi YY, Hyung WJ, Kim YM, Kim J, Noh SH. Robotic versus Laparoscopic versus Open Gastrectomy: A Meta-Analysis. *J Gastric Cancer* 2013;13:136-148.
- 37) Kim HI, Park MS, Song KJ, Woo Y, Hyung WJ. Rapid and safe learning of robotic gastrectomy for gastric cancer: multi-dimensional analysis in a comparison with laparoscopic gastrectomy. *Eur J Surg Oncol* 2014;40:1346-1354.
- 38) Yim GW, Kim YT. Robotic surgery in gynecologic cancer. *Curr Opin Obstet Gynecol* 2012;24:14-23.
- 39) Chong GO, Lee YH, Hong DG, Cho YL, Park IS, Lee YS. Robot versus laparoscopic nerve-sparing radical hysterectomy for cervical cancer: a comparison of the intraoperative and perioperative results of a single surgeon's initial experience. *Int J Gynecol Cancer* 2013;23:1145-1149.
- 40) Lee YS, Chong GO, Lee YH, Hong DG, Cho YL, Park IS.

Robot-assisted total preservation of the pelvic autonomic nerve with extended systematic lymphadenectomy as part of nerve-sparing radical hysterectomy for cervical cancer. *Int J Gynecol Cancer* 2013;23:1133-1138.

- 41) Yim GW, Kim SW, Nam EJ, Kim S, Kim YT. Learning curve analysis of robot-assisted radical hysterectomy for cervical cancer: initial experience at a single institution. *J Gynecol Oncol* 2013;24:303-312.
- 42) Yoo JS, Kim JB, Jung SH, et al. Mitral durability after robotic mitral valve repair: Analysis of 200 consecutive mitral regurgitation repairs. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2014;148:2773-2779.
- 43) Diana M, Pessaux P, Marescaux J. New technologies for single-site robotic surgery in hepato-biliary-pancreatic surgery. *J Hepatobiliary Pancreat Sci* 2014;21:34-42.
- 44) Tuliao PH, Kim SW, Rha KH. New technologies in robotic surgery: the Korean experience. *Curr Opin Urol* 2014;24:111-117.
- 45) Jeong YK. Introduction to the stepwise National Insurance Coverage policy and the current status of National Insurance Coverage in Robotic surgery. *Robotic Surgery Live* 2014. Seoul; 2014.