

로봇수술의 현재와 미래



최영득
연세의대 교수

상상하던 계수나무를 보기 위해, 직접 달 밟은 일이 이루어진지도 오래전 일이다. '선'에 얽매었던 일들이 현재는 이동하며 통화하고 영상을 보며, 어디서든 대화를 즐기는 현실로 바뀌었다.

과학의 발전은 의료에도 많은 변화를 가져왔다. 어릴 적 공상으로 꿈꾸던 현실이 의료분야에도 하나둘 일어나고 있는데 그중 하나가 로봇수술이다.

로봇의 탄생

인간을 괴롭히는 병적 근원을 없애는 방법으로 수백년동안 고식적 개복수술이 시행되어 왔었다. 개복수술은 질병의 인체 부위를 절개하고 제거하는 수술이다.

이러한 수술 방법에 새로운 시도로 최소한의 상처를 남기고 질환을 제거하는 최소침습수술이 시도되고 있다.

지난 20여년전부터 개복수술의 단점을 보완하고자 일부에서 복강경수술이 발전되었다. 복강경수술은 배에 3-4개의 구멍을 뚫어 내시경을 삽입하고 기구로 병변을 처리하는 방법으로 개복수술에 비해 상처가 적고, 재원기간이 짧으며, 회복이 빨라 사회활동 복귀가 빠르며, 출혈

량이 감소되는 장점이 있었다. 반면 복강경수술은 배우기가 어렵고, 숙련된 경험이 쌓여야 쉽게 시행할 수 있으며, 딱딱한 고정 기구를 가지고 2차원적 영상에서 시행하여야 하여 일부 정교하지 못다는 제한점들이 있었다. 이러한 복강경수술의 제한점들을 극복할 수 있는 최신의 최소 침습적 수술법으로 로봇수술이 발전되었다.

로봇수술이란

개복수술은 병변부위의 인체부위를 절개하고 병변을 눈으로 보면서 손으로 제거한다. 로봇수술은 병변 주변에 3-4개의 구멍을 뚫어 눈과 같은 소형 양안렌즈와 손과 같은 조그만 수술기구(로봇팔)를 구멍으로 삽입하여 의사가 직접 병

변부위를 소형 양안렌즈로 보면서 삽입된 로봇 팔을 원격 조정하여 병변을 처리하는 것이다. 이는 개복수술시 일어나는 수술의 모든 과정을 의사의 손대신에 로봇팔로 수술하는 방법이다.

로봇의 원리 특징

로봇수술시스템은 로봇 카트, 콘솔, 내시경 부분으로 이루어져 있다. (그림 1)

1. 로봇 카트: 약 2m 높이의 중심으로 환자의 위치에 따라 자유롭게 이동시켜 수술시 환자의 옆에 고정하게 된다. 로봇 카트에는 4개의 조정 팔이 설치되어 실제 수술이 이루어지는 양안렌즈와 3개의 로봇팔들이 부착 고정되어 조정되게 된다. 로봇 카트에 렌즈 및 로봇 팔이 고정되어 조정되기에 수술시 손 떨림 현상이 없이 안정적인 수술을 진행할 수 있다.
2. 콘솔: 중앙 작동 제어 장치로 환자과 먼거리에 설치하여 로봇 카트에 부착된 양안렌즈 및 로봇팔을 자유롭게 조정하는 중앙조정 제어 장치로 실제 의사가 앉아 원격 조정하는 시스템이다.
3. 내시경 부분: 소형 양안렌즈 및 다양한 10여종의 로봇팔 등이 있다.



그림 1. 로봇 수술 시스템 구성

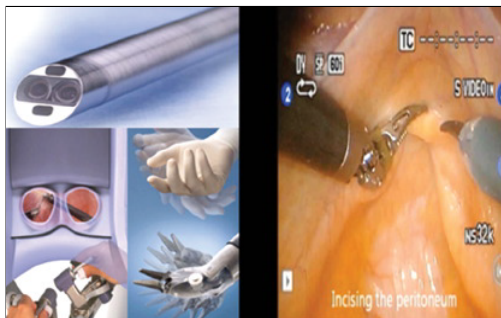


그림 2. 렌즈 및 로봇팔

1) 소형 양안렌즈: 사람의 눈과 유사하여 입체 화면을 보여주며 실제 크기에 비해 10배 확대 영상을 고화질로 보여준다 (고화질 확대 입체영상). (그림 2)

2) 로봇 팔: 용도에 따라 집게, 가위, 봉합 등 다양한 기능의 형태들이 존재한다. 이는 수술시 사용에 따라 교체하면서 수술을 용이하게 한다. 이러한 로봇팔의 특징은 사람의 손과 같이 3-4개의 관절이 있어 로봇팔을 수술부위에서 자유자재로 720도로 2회 회전이 가능하여 사람의 손동작과 유사한 동작을 구현할 수 있다.

로봇수술은 복강경과 유사하나 차이는 10배 확대된 입체화면에서 관절을 가지고 있는 로봇팔로 720도 자유롭게 수술부위에서 움직여 사람의 손과 같은 행동을 할 수 있어 실제보다 확대된 시야에서 수술을 할 수 있어 개복 수술보다 더욱 정밀하게 수술할 수 있다는 차이점이 있다.

개복수술에 비해 로봇팔은 사람의 손에 비해 크기가 1cm 정도로 적고 길어 개복수술시 손이 들어가기 어려운 좁은 공간에서나 해부학적으로 각도가 벗어난 수술시야나 제한된 공간내에도 로봇팔을 진입시켜 720도 자유롭게 조정하여 안정적인 초정밀 정교한 수술을 시행할 수 있다. 또한 전통 개복수술이나 복강경수술은 간혹 술자의 손떨림으로 인해 정교한 수술이 어려울

수 있으나 로봇수술은 로봇팔이 고정되어 있어 손떨림이 없이 정확하게 조정하여 수술을 시행할 수 있다.

로봇수술의 인식

과거 일반인들이나 많은 의사들이 로봇수술에 대한 비판도 많았다. “기구로 수술하는 것이 말이 안된다”거나 “로봇은 손 촉지 감각이 없다” 등의 부정적 견해가 많았다. 대부분의 전통적 방법에 신기술이 나타나면 보수적인 견해로는 처음에는 비판의 의견이 많다.

수십년 전 복강경으로 담낭제거수술을 처음 시행시 많은 의사들이 “기구로 수술하는게 말이 되나?” “사고난다” “열어서 확실히 해야지 돈도 많이 들고 이점이 없다”하며 비판하던 시절이 있었다. 현재 담석수술의 일차 표준은 복강경수술이며 더 나아가 로봇수술로도 변화하고 있다. 20여년전 요로결석의 치료로 체외충격파쇄석기가 도입되었다. 당시 체외충격파쇄석기는 2억원 (현재물가: 30억)이었으며, 체외충격파쇄석술은 150만원 (현재물가: 2000만원)이었다. 당시 요로결석은 “충격파로 돌을 켜다는게 말이

안된다”며, 수술로 어려움이 없고 요관경이나 내시경으로 충분한데 고가의 장비는 한국에 하나만 있어도 되는데 왜 이리 많이 필요한지 모르겠다는 비판이 많았지만 현재는 그렇게 비판받던 체외충격파쇄석기가 개원가에서도 시행하고 있으며 요로결석의 1차 처치로 사용되고 있다.

로봇수술의 논란제기는 이미 안전성 및 유효성이 입증되어 많은 영역에서 적용되고 있다.

로봇의 현재와 적용

현재 상용화되어 사용되는 로봇은 인튜이티브서지컬사의 다빈치 시스템이 유일하다. 1999년 처음 다빈치 시스템이 설치된 이후 2015년 기준으로 전세계적으로는 3,453대가 설치되어 있으며 전 세계적으로 연간 62만건 이상의 로봇수술이 성공적으로 이루어지고 있으며 매년 7-10% 증가 추세에 있다.

로봇수술은 비뇨기과, 외과, 산부인과, 이비인후과, 심장외과, 흉부외과, 신경외과 등에서 전립선암, 신장암, 방광암, 갑상선암, 위암, 대장암, 간암, 담도암, 담도질환, 소아 외과 질환, 방

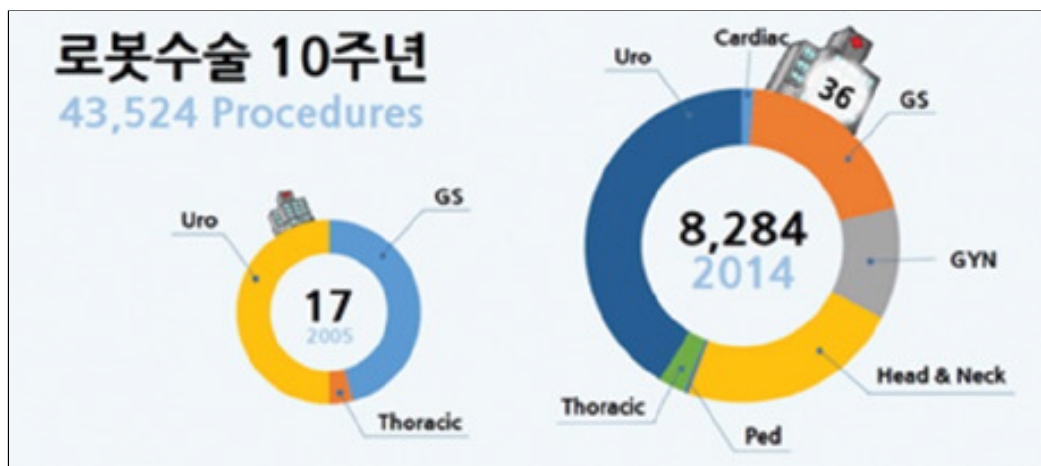


그림 3. 국내 로봇 수술 건수

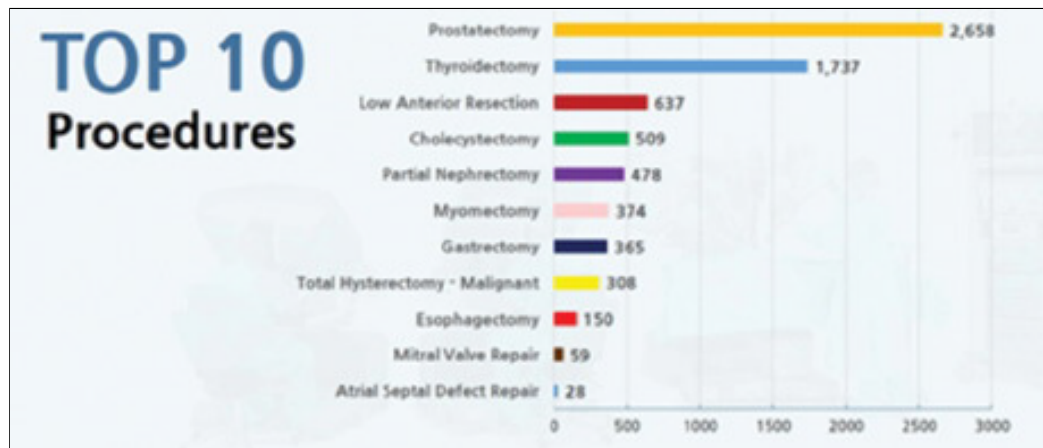


그림 4. 국내 로봇 수술 빈도

췌장암, 자궁경부암, 자궁내막암, 난소암, 자궁근종, 두경부암, 식도암, 폐암 등 주요 암수술을 비롯해 승모판막재건술, 심장중격결손의 심장질환 등의 다양한 분야에서 적용되고 있으며, 모든 분야로 증가되고 있다.

현재 세계적으로 로봇수술의 빈도를 살펴보면 로봇수술을 가장 먼저 시작한 미국의 경우 전립선암 수술의 90%, 부인과 암 수술의 70%가 로봇수술로 진행되고 있다.

국내에서는 로봇수술의 경우 2005년 7월 세브란스병원에서 처음 도입되어 식품의약품안전청 인증을 통과하고 로봇수술을 시작되었다. 현재 국내에는 41개병원에 53대의 로봇이 설치되어 있으며 계속 설치가 증가되고 있다.

국내의 경우 2005년 세브란스병원에서 담낭절제술을 시작으로 2014년 까지 총 4만 3524건의 로봇수술이 시행되었으며 2014년 한해 8284건을 시행하였다.(그림3) 이후 로봇수술 건수가 급격히 증가하고 있다.

한국에서 가장 먼저 도입한 세브란스병원의 경우 첫해인 2005년 불과 24건에 불과했던 로봇수술 건수는 최근 5년 평균 연간 1500건 이상으로 60배 이상 증가했고, 도입 당시 불과 1대

에 불과하던 다빈치도 늘어난 수요에 따라 현재 수술용 5대, 트레이닝용 3대가 운용 중이다. 더불어 세브란스 병원은 2005년 7월 로봇을 시행한지 약 8년 4개월만인 2011년 11월에 세계 최초로 단일기관 로봇수술 1만례를 달성했다.

국내에서 로봇이 가장 많이 사용된 질환은 전립선암이며 갑상선암, 직장암, 위암, 신장암의 질환 순으로 사용 빈도가 높은 것으로 보고되고 있다.(그림 4)

저자의 경우에도 전립선암의 전립선 적출술에서 5년전 3주에 2개 정도의 전립선적출술이 이루어졌으나 최근 하루에 6-7개까지도 할 정도로 로봇수술의 빈도가 증가하고 있으며 현재까지 2100례를 시행할 정도로 증가하였으며, 최근 5년간 전립선암 환자의 90% 이상이 로봇수술을 받았을 정도로 로봇수술은 가장 보편화된 분야이다.

로봇수술의 장점

1. 의사 및 의료산업의 관점

로봇수술의 경우 손떨림이 없어 정밀하고 정확하게 수술을 시행할 수 있다.

의료적으로 개복수술시 5명이 하던 수술을 로봇의 경우 3명이 할 수 있어 의료인력의 소모가 적다.

2. 수술적 관점

로봇수술은 확대된 입체 영상에서 수술을 하기
에 수술 주변구조의 혈관과 신경을 쉽게 확인할 수 있으며 병변의 해부학적 구조를 정확하고 선명하게 관찰하면서 수술할 수 있다.

1) 확대된 입체영상을 보면서 수술하기에 혈관을 피해가며 조직을 자르는 조정밀 수술이 가능하여 출혈이 적다.

2) 병변부위를 개복수술에 비해 확대하여 보기 때문에 수술시 암의 진행부위를 확인할 수 있어 제거하려는 부위는 더욱 제거할 수 있어 암의 수술 결과도 우수할 수 있다.

3) 병변부위를 개복수술에 비해 확대하여 보기 때문에 암주변의 주변 장기 및 혈관과 신경 등을 관찰하여 암의 진행부위는 모두 제거하나 암과 관련없는 부위의 주변 장기 및 혈관 신경 등을 보존할 수 있어 암 수술에 따른 필연적으로 나타날 수 있는 기능적 부작용을 최소화할 수 있다. 예로 전립선암의 경우 전립선적출술시 필연적으로 나타날 수 있는 요실금이나 성기능 장애가 개복수술에 비해 월등히 낮아 많은 전립선암 환자들의 경우 확실히 만족도가 높으며 선호하고 있다.

4) 로봇수술은 상처 절개 부위가 적고 병변부위의 수술시에도 확대된 영상에서 병변 부위만을 최소화 하여 섬세하게 수술하기에 수술 주변 부위의 인체 조직에 대한 손상이 개복수술에 비해 적고 인체의 수술스트레스가 적어 회복이 빠르다.

5) 로봇의 작동에 익숙해지면 병변부위의 정확한 관찰을 시행하여 수술하기에 수술시간이 개복에 비해 짧아질 수 있다.

3. 환자의 관점

1) 로봇수술은 개복수술과 같은 공간에서 이루어지나 구멍을 뚫어 수술하기에 개복수술에 비해 피부절개부위가 훨씬 작아 흉터가 작아 미용적인 측면에서 장점이 있으며 환자 만족도가 높다.

2) 개복수술에 비해 병변 주변 및 병변 부위의 조직 손상이 작아 수술상처가 적어 인체의 수술스트레스가 적다.

3) 로봇수술은 암수술로 인해 필연적으로 나타날 수 있는 기능적 부작용을 적게 할 수 있어 환자 만족도가 높다. 특히 전립선암의 경우 혈관 및 신경보존의 장점이 있어 요실금이나 성기능 장애가 개복수술에 비해 월등히 낮아 많은 전립선암 환자들의 경우 확실히 만족도가 높으며 선호하고 있다.

직장암에서도 개복수술에 비해 신경 기능 보존율이 높아 소변 성기능의 문제를 최소화 하고 있다.

4) 로봇수술은 그동안 최소침습수술을 시도하지 못했던 고난이도 수술에 적용되어 이를 가능하게 하고 있다.

관상동맥우회술에서도 개흉을 하지 않고 4개의 구멍만으로 수술이 가능하여 환자는 일주일만에 퇴원이 가능하게 되었고 앞서 언급했던 후두암, 인두암, 방광암, 자궁내막암 등 최소침습수술의 적용이 어려운 암에도 적용되어 환자의 삶의 질 향상에 기여하고 있다.

5) 로봇의 작동에 익숙해지면 병변부위의 정확한 관찰을 시행하여 수술하기에 수술시간이 개복에 비해 짧아질 수 있다.

6) 개복에 비해 절개부위가 작고 수술시간이 짧아 통증도 덜하여 술후 1-2일에 통증이 완화된다.

7) 개복에 비해 수술 절개부위가 적어 상대적으로 감염 위험도도 낮다.

8) 개복에 비해 수술 스트레스 적고 통증 적으며, 감염 위험도도 낮아 회복이 빠르다.

9) 수술 통증이 적으며, 회복이 빨라 수술 1-2 일에 퇴원이 가능하여 사회생활이나 직장으로의 복귀가 빠르다.

로봇수술의 단점

1. 술기

로봇수술도 기구를 다루는 수술이기에 많은 연습과 경험을 통해 숙달이 되어야 개복수술보다 좋다고 할 수 있다.

숙달은 복강경수술에 필요한 학습 커브가 빠르나 풍부한 개복수술의 경험을 토대로 로봇 기구의 자유자재의 사용 능력이 될 때까지 많은 연습과 경험이 이루어져야 한다.

2. 경제적 문제

현재의 한국 의료 제도에서 로봇이 개복에 비해 경제적 부담이 매우 많다. 로봇 장비 자체가 고가(현재 35억)이고 사용되는 부속품이 비싸 가격이 많이 든다.

탈 부착해 사용하는 로봇팔의 경우 한번 사용에 30-50만원이 소요되어 로봇 한번 수술에 기본 감가상각비 포함하여 최소 약 550만원의 수술 비용이 들어간다는 단점이 있다.

현재 암환자의 경우 모든 개복수술은 정부의 정책에 따라 모든 경비의 95%를 나라에서 지원해 주고 환자 부담이 5%입니다.

그러나 로봇수술의 경우는 암환자의 치료로 정부에서 인정은 해주었으나 모든 경비를 100% 환자 부담으로 되어있기에 로봇수술이 비싸다. 그러나 이러한 로봇수술도 머지않아 보험적용이 되리라 여겨지며 보험적용이 되면 개복수술과 마찬가지로 경제적으로 부담은 적어지리라 여겨진다.

로봇수술의 유효성과 안전성

1. 유효성

현재까지 본인의 로봇수술의 결과는 종양학적 결과로 수술절제면 양성률 및 재발률 등은 개복수술과 차이가 거의 없거나 개복수술에 비해 낮아 종양 제거에 따른 효과는 더욱 좋은 것으로 나타난다. 암수술수에 따른 부작용 측면에서 로봇수술은 부작용이 적고, 암제거에 따른 소실될 수 있는 기능을 살릴 수 있으며, 수술 통증이나 고통이 적고, 수술 회복이 빨라 재원기간이 짧다.

2. 안전성

한국보건 의료 연구원(NECA)에서 2011년까지 국내에서 시행된 로봇수술 총 193개 질환의 2만 944명의 환자에서 로봇수술의 안전성 및 유효성을 검토한 결과, 로봇수술 후 일주일 이내 사망한 환자는 5명(0.02%), 30일 이내 사망한 환자는 18명(0.09%)로 분석되어 로봇수술은 기존의 개복 및 복강경수술보다 더욱 안전한 수술임이 확인되었다. 많은 문헌에서도 현재 로봇수술이 가장 활발하게 시행되고 있는 전립선암, 갑상선암, 위암, 직장암뿐만 아니라 발생빈도는 떨어지지만 일부 병원에서 선도적으로 시행하고 있는 방광암, 자궁경부암, 자궁내막암, 후두암, 인두암, 식도암, 폐암 등에서도 로봇수술은 안전하게 시행될 수 있다는 논문들이 지속적으로 발표되고 있다. 이에 로봇수술의 안전성에서 이견이 없는 것으로 판단된다.

다빈치 로봇의 발전

1. 1980년대 말 개발

다빈치 로봇수술기의 원형으로 개발됐다. 초기 작업은 전쟁터에서 원격수술을 진행하기 위해

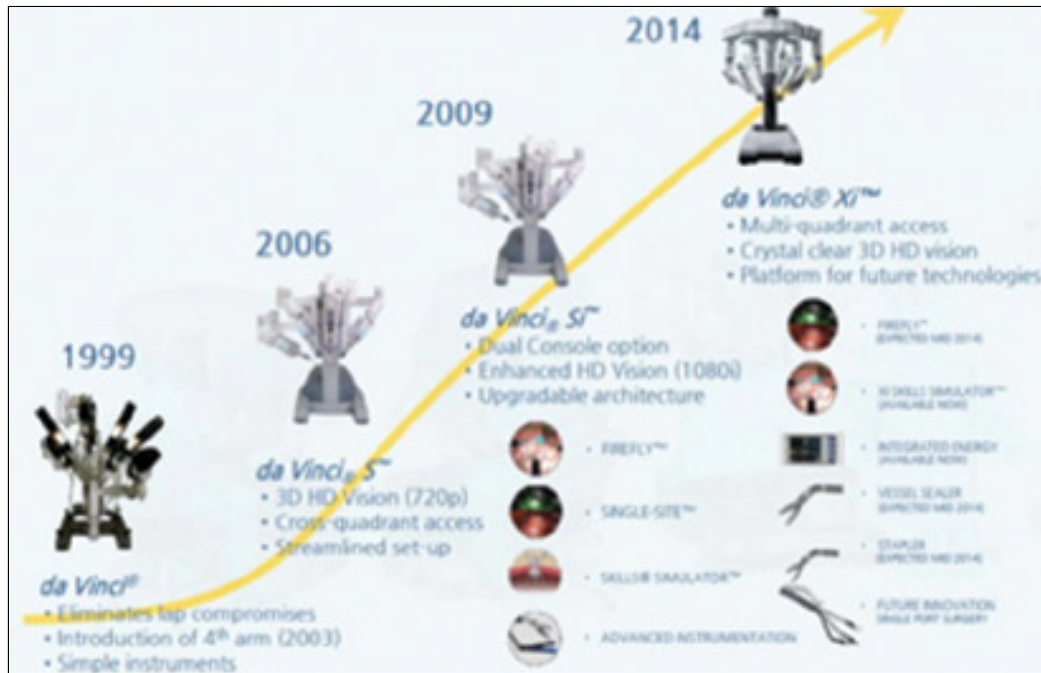


그림 5. 다빈치 변천사

개발되었다. 스탠퍼드대학과 MIT, IBM, 미국 항공우주국, 의사들의 협력으로 다빈치 로봇수술기가 개발되었다.

2. 1999년 첫 모델인 다빈치 스탠다드 시스템
최소침습수술방법의 한계 극복에 초점을 맞추었다. 확대된 3D 화면과 사람의 손처럼 자유롭게 움직이는 기구를 사용하여 조종간에서 수술하는 것을 가능하게 되었다. 초기에 최소침습수술이 확산되지 못했던 전립선암 수술에 활용되었다. 세브란스병원에서도 구입하여 로봇수술을 시행하였다.

3. 2006년 S 모델
화질(1080i의 고화질)을 개선하고 다양해진 수술기구로 외과, 산부인과 등 많은 영역에서 사용되었다.

4. 2009년 Si 모델
듀얼 콘솔 기술로 두 명의의 집도자가 두개의 조종간에 각각 앉아 동시에 수술 집도하거나 수술 중 교육이 가능하게 되었다.

5. 2014년 다빈치 Xi시스템
로봇 시스템과 환자연결 도킹(docking) 과정을 간소화하고 4개의 로봇 팔을 천장에 부착하고 로봇팔도 가늘어지고 길어져 움직임의 범위를 한층 넓고 깊게 사용할 수 있도록 하였다. 콘솔도 앞으로 개발될 모든 신기술들을 보다 쉽고 간단하게 조작할 수 있도록 설계되었으며, 다양한 프로그램을 제공하였다. 또한 단일공의 로봇수술을 시행하는데 적합하게 만들어졌다.

6. 2016년 다빈치 SP시스템
현재의 로봇수술은 인체에 구멍을 4-5개 뚫어

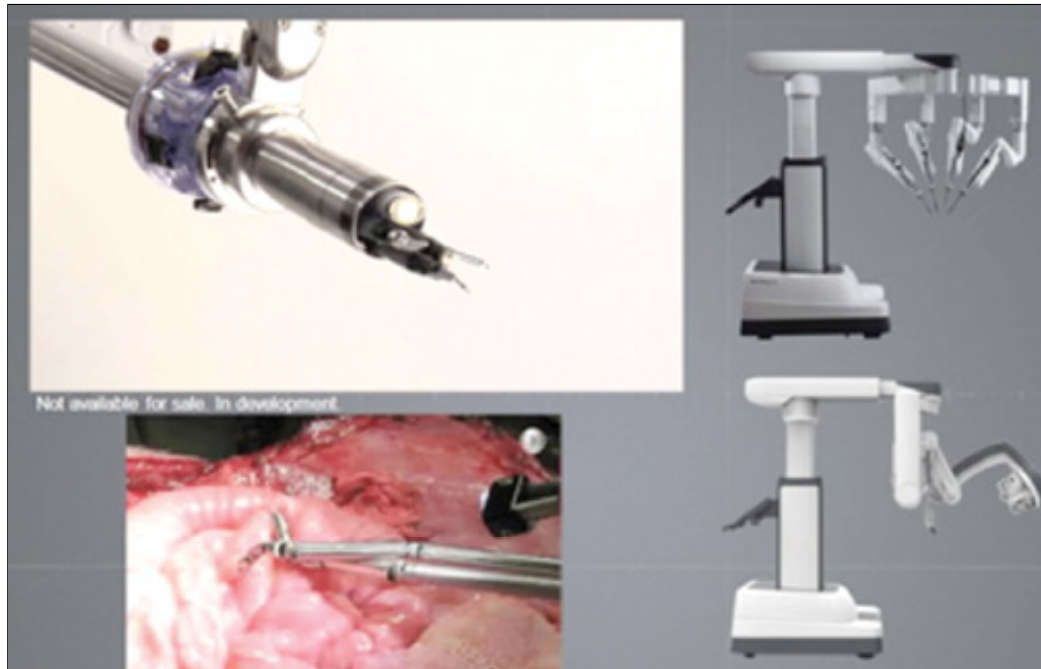


그림 6. 다빈치 SP

야 하는 단점이 있다. 이에 구멍하나에 모든 양안 렌즈 및 4-5개의 로봇팔이 들어가게 하여 로봇수술을 할수 있는 sp 시스템이 출시될 예정이다. (그림 6)

로봇의 미래

수술로봇의 개발에 대해 국내에서도 활발히 진행중이다. 국내를 포함 여러 나라에서 의료 로봇수술 장비 개발의 박차를 가하고 있고, 이미 상당한 진척을 보이고 있어 고비용의 원인 중 하나인 로봇 시스템의 독점 시장 문제가 해소되면 수술비용도 내려갈 것으로 기대하고 있다. 더불어 동작도 훨씬 자유로운 시스템이 개발 될 것이며 크고 무거운 시스템도 점차 작고 가벼운 시스템으로 발전 될 것이다. 현재의 로봇수술은 엄격히 이야기하면 수동 개

념의 원격 조정 수술이다. 아마 향후 10년 안에 로봇수술은 크게 발전할 것으로 보인다.

앞으로의 수술로봇은 기계 자체에 감도 차이 센서를 부착하여 조직의 촉감을 감별할 수 있고, 네비게이션 및 시뮬레이션, 플래닝, 자동화 제어 등의 로봇의 요소기술을 모두 포함하여 전자동의 로봇수술이 이루어 질것으로 여겨진다.

향후 상기 로봇의 다양한 요소 기술들이 사람의 감각과 센서가 적합해지고 환자 및 질병의 3D 구축과 함께 조합되는 날 언젠가 공상으로 그리던 전자동 remote touch screen robot surgery 시대가 열릴 수 있을 것으로 여겨진다. 더불어 상상만하던 3차원 화면을 통해 세계 어디의 입원환자도 내가있는 곳에서 전자동 remote touch screen robot surgery도 이루어질 것으로 여겨진다.

/MP저널