

소아비뇨의학 영역에서 로봇수술의 현재

송 상 훈

울산의대 서울아산병원



AT A GLANCE

최초의 소아비뇨의학 영역의 로봇수술은 미국 하버드 의대의 보스턴 어린이 병원(Boston Children's Hospital)에서 Craig Peters에 의해 2002년에 시행되었다. 이후로 대부분의 북미권의 주요병원에서는 로봇 수술이 보편화되어 시행되었고 국내에서도 로봇 수술이 점차 늘어나고 있는 추세이다. 아직 높은 수술 비용이 소아영역에서 로봇 수술에 대한 접근성에 장애물로 작용하고 있지만, 향후 로봇 수술이 더욱 보편화 될 것은 분명하다.

| 서론

소아비뇨의학영역에서 최소침습적인 수술법은 성인 비뇨의학 영역에서와 마찬가지로 높은 안정성과 효과가 입증되어 있다. 특히, 복강경 수술은 신장절제술이나 부분 신장절제술 등의 근절 수술만 아니라 신우이행부폐색이나 방광요관역류 등의 교정을 위한 재건 수술 등에서도 그 효용성이 폭넓게 보고되고 있다. 다빈치 로봇 시스템을 활용한 로봇 보조 복강경 수술은 특히 기존의 복강경 수술 보다 더욱 쉽고 빠르게 재건수술을 가능하게 해 주고 수술자의 학습곡선을 단축시킬 수 있다는 점에서 더욱 각광을 받고 있다. 특히, 로봇 수술은 수술자의 움직임에 비례축소한 로봇손의 움직임이 가능하고 3차원의 시야를 10배까지 확대해서 보여줄 수 있으며, 로봇팔의 손목 움직임이 자유롭고 수술자의 손떨림까지 보정해 줄 수 있기 때문에 기존의 복강경 수술에 비해 수술자에게 더욱 편의성을 제공해 준다고 알려져 있다. 필자는 이 글을 통해 다양한 소아비뇨의학 관련 질환에서 로봇 수술의 현 위치를 문헌을 토대로 살펴보고 향후 로봇 수술의 방향에 대해 확인해 보려고 한다.

| 본론

1. 소아 로봇 수술의 사용 빈도

Cundy 등은 소아 로봇 수술의 첫 10년의 역사를 정리한 연구결과를 2018년에 발표하였다. 이에 따르면 2010년 이후 급격히 로봇 수술건수가 상승하는 추세가 확인되었으며 그 중 가장 사용 빈도가 높은 수술 술기는 로봇 신우성형술과 로봇요관재이식술로서 이 두 술기가 전체 로봇 수술의 80%를 차지한다고 밝혀졌다. Varda 등은 미국에서 시행된 소아 로봇수술의 추세를 조사한 연구를 통해서 로봇 신우성형술은 매년 29% 씩 그 빈도가 늘어났고 2015년 기준으로 전체 신우성형수술건수 중 로봇 신우성형술 건수가 40%의 비중을 차지하고 있다고 밝혔다. 현재 보스턴 어린이 병원이나 필라델피아 어린이 병원(Children's Hospital of Philadelphia), 텍사스 어린이 병원(Texas Children's Hospital)등 미국의 최고 수준의 어린이 병원들에서는 75% 이상의 소아 신우성형술이 로봇 수술로 행해지고 있으며 필라델피아 어린이 병원과 텍사스 어린이 병원은 방광요관역류 환아에서 방광요관재문합술 또한 75% 이상이 로봇 수술로 행해지고 있다.

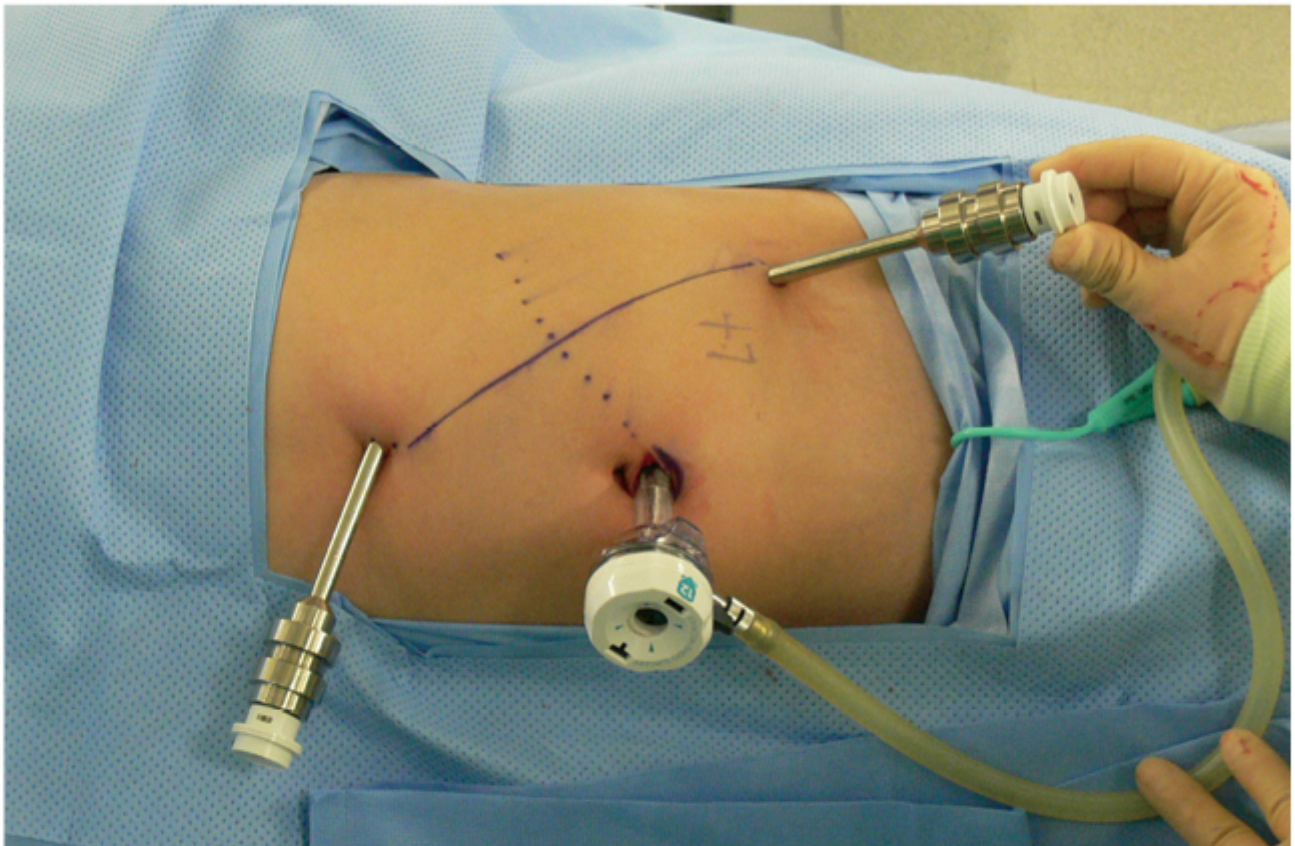


그림 1. 6세 소아에서 5mm 투과침을 사용하여 pyeloplasty 시행한 경우의 투과침 삽입 형태

국내에서는 저자 등이 2014년 대한비뇨의학회지에 서울 아산병원에서 시행된 소아로봇 수술에 대한 보고를 발표하였으며 2017년 국회 학술지 (PLOS One)에 개복수술과의 비교연구를 통해 로봇 수술의 높은 수술 성공율과 입원기간, 수술 후 통증 감소 등의 장점을 확인하였음을 발표하였다. 최근에는 세브란스병원에서 2019년에 다빈치 SP 시스템(da Vinci SP[®])을 이용한 소아 로봇 신우성형술의 경험을 소아비뇨의학잡지(J Pediatr Urol)에 보고한 바 있다. 아직 국내에서는 모든 주요 어린이 병원에서 로봇 수술을 적용하고 있지 않으나 미국에서의 활용도 증가 추세를 보면 조만간 국내에서도 로봇 수술의 적용 범위가 증가하리라 예상된다.

2. 소아 로봇 수술의 일반적 주의 사항

로봇 수술은 로봇 팔을 이용한 복강경 수술이므로 마취 및 기복 형성과 관련해서 복강경 수술시의 일반적인 주의 사항과 큰 차이가 없다. 소아는 성인에 비해 체중 대비 복강의 면적비가 커서 기복 형성을 위해 주입된 CO₂

가스의 전신순환계로의 흡수가 많이 일어날 수 있으므로 기복 형성 시 CO₂ 가스의 충전압력을 10mmHg 미만으로 유지하는 것이 좋고 가스 주입속도를 낮게 유지하는 것이 좋다. 복강경 투과침과 로봇팔은 8mm 크기가 가장 많이 사용되고 있으나 다빈치 Si 모델에서는 5mm 크기의 투과침과 로봇팔을 사용할 수 있다 (그림 1). 5mm 로봇팔을 사용하는 경우에는 로봇팔의 관절이 거위목 형태 (goose-neck joint)로 이뤄져 있어서 8mm 로봇팔의 경우보다 관절을 가동시키기 위한 복벽부터 목표장기까지의 거리가 더 길어야 한다는 단점이 있다. 또한, 전기소작이 가능한 수술용 가위손이 없어서 주로 갈고리형 기구 (hook)를 사용하여 절개를 진행해야 한다. 최근 소개된 단일공 로봇 시스템인 다빈치 SP 시스템 (da Vinci SP[®])의 경우 25mm 크기의 복강경 투과침을 1개만 사용하게 되는데 소아에서 이러한 크기의 절개창이 유용한지는 조금 더 연구 결과를 지켜봐야 하겠다.

소아에서 복강경 투과침을 삽입할 때는 성인에 비해 복강 내 공간이 작고 복벽의 전후길이가 짧기 때문에 복강내

장기의 손상에 더욱 유의하여야 한다. 따라서, 소아에서는 가능하면 복막과 근막을 절개하고 투과침을 삽입하거나 visual obturator 등의 기구를 사용하는 편이 안전하다. 저자의 경우 Veress needle을 이용하여 기복을 형성한 후 투과침을 삽입하기전 Veress needle로 근막을 들어올리며 이를 부분적으로 절개한 후 투과침을 삽입하여 투과침 삽입으로 인한 복강내 장기의 손상을 최소화 하는 방식을 사용하고 있다. 소아는 성인에 비해 복벽의 근육층과 피하조직층이 얇기 때문에 투과침 삽입부로의 탈장이 일어나기가 더 쉬우므로 수술 종료시에는 5mm 크기의 투과침 삽입 부위도 근막까지 철저히 폐복하는 것이 좋다.

3. 소아 로봇 신우성형술

소아 로봇 신우성형술은 소아에서 시행되는 로봇 수술 중 가장 흔한 수술 술기이다. 수술 술기면에서는 기존의 개복 또는 복강경 수술시 사용되는 Anderson-Hynes dismembered pyeloplasty(절단 신우성형술)가 가장 흔하게 사용된다는 점에서는 차이가 없다. 투과침 삽입 위치는 술자의 선호도에 따라 정해질 수 있는데 최대한 수술 흉터를 숨길 수 있도록 배꼽 아래나 벨트라인 아래로 투과침을 삽입하도록 하는 것이 보편적이다. 지금까지 보고된 소아 신우요관이행부 협착증에서 로봇 신우성형술의 수술 성공율은 92%에서 98% 정도로 매우 높다. 수술 성공의 정의는 수신증이나 증상의 호전, 신주사검사에서 반감기의 호전 등으로 정의된다. 개복 수술에 비해 로봇 수술시 진통제 사용량과 입원기간이 감소한다. 수술 후 합병증은 대부분 Clavien-Dindo 1,2 단계에 해당하는 경미한 합병증이 10% 미만으로 발생한다고 보고되고 있다. 최근에는 1세 미만의 영아에서도 로봇 수술을 적용하여도 좋은 수술 성적을 거둘 수 있다고 알려지고 있지만 이 연령대의 환아에서는 수술 작업 공간이 더욱 부족하고 로봇 팔끼리의 충돌이 더 많이 일어나기 때문에 술기상의 어려움이 가중됨을 유의해야 한다.

로봇 수술은 양측성 신우요관이행부 협착증에서 양측 수술을 동시에 시행할 수 있게 해준다는 장점이 있다. Bora 등은 투과침을 복부 정중앙에 일렬로 삽입하게 되면 추가적인 투과침 삽입 없이 좋은 수술 성과를 낼 수 있다고 보고했다. 또, 신우성형술 시행 후 재발한 신우요관이행부 협착증의 경우에도 로봇 신우성형술이 적용 가능하며 이

를 통해 높은 수술 성공률이 보고되고 있다.

4. 소아 로봇 요관재이식술

방광요관역류 환아에서 열성요로감염의 재발을 막고 신장기능의 손실을 예방하기 위한 요관재이식술은 방광내 또는 방광외 개복 수술이 표준 치료법으로 인정되고 있다. 최근에는 이를 로봇 수술로 시행하여도 개복 수술에 근접한 치료효과를 거둘 수 있다는 보고들이 발표되고 있다. 예방적 항생제 요법 치료에도 불구하고 돌발 열성 요로감염에 이환된 환아들이 로봇 요관재이식술의 수술대상이 될 수 있으며 신장 반흔이 있는 경우, 역류 정도가 악화되는 경우, 고등급의 역류가 특히 여아에서 지속되는 경우에도 수술적 치료를 고려해 볼 수 있겠다. 로봇 요관재이식술은 방광내 접근법(Cohen's trans-trigonal method)과 방광외 접근법(Lich-Gregoir detrusorrhaphy)이 모두 적용 가능하지만 최근에는 방

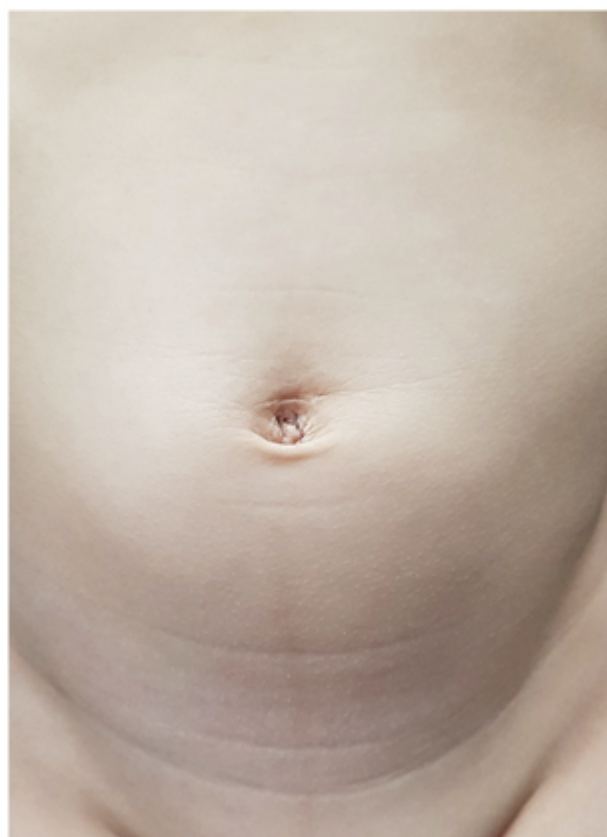


그림 2. 1세 5개월에 로봇 요관재이식술 수술 받은 환아. 배꼽에 8mm 카메라용 투과침을 삽입하고 하복부에 2개의 8mm 투과침을 삽입하여 수술시행하였으며 수술 후 흉터는 거의 눈에 띄지 않는다.

광의 접근법을 적용하는 기관이 대부분이다. 로봇 수술시에는 수술 후 흉터가 개복 수술에 비해 현저히 적고 통증 및 회복 기간이 빠른 장점이 있다(그림 2).

소아 로봇 요관재이식술의 수술 성공률은 술자의 수술 술기와 경험에 따라 차이를 보이는 것이 사실이다. 이에 더해 환자의 연령, 배뇨훈련 여부, 배뇨배변장애의 동반 유무, 역류의 정도, 환자의 성별에 따라 수술 성공률에 차이가 있을 수 있다. 방광요관역류와 이에 동반한 열성요로감염의 발생이 신기능 저하와 이에 따르는 신부전 발생으로 이어진다는 기존의 도그마가 최근 희석되고 있다. 말기 신부전에 이르는 신장기능저하는 선천적으로 이형성신을 가지고 태어나는 소수의 환자에서만 일어난다고 보는 견해가 일반화되어 가고 있기 때문이다. 따라서 최근에는 열성 요로감염이 재발할 위험이 높은 특정 환자군, 예를 들면 4-5등급의 역류 및 열성요로감염 이환병력이 있는 여아 등에서만 선별적으로 수술적 치료가 필요하다

는 쪽으로 의견이 모아지고 있다. 이들에 대한 치료 목표는 일차적으로 열성 요로감염의 재발을 막는 것이다. 따라서, 요관재이식술의 수술 목표도 영상학적인 역류의 완전 소실이 아니라, 열성 요로감염의 재발의 방지로 삼아야 할 것이다. 최근 서울아산병원과 텍사스 어린이 병원의 공동연구 결과에서 약 120명의 소아환자를 대상으로 로봇 요관재이식술을 시행하였을 때 요로감염의 재발 억제 성공률은 98% 였다. 물론, 로봇 요관재이식술 후 영상학적 역류의 완전 소실률도 매우 높다. 기존에 보고된 로봇 요관재이식술의 영상학적 역류 소실 성공률은 일반적으로 90% 이상으로 나타난다. Boysen 등이 약 140명(200개의 신단위)를 대상으로 2018년에 보고한 가장 최근의 다기관 연구에 따르면 영상학적 역류 소실 성공률은 94% 였다. 하지만, Grimsby 등은 2015년에 61명을 대상으로 한 다기관 연구를 발표하면서 영상학적 수술 성공률이 72% 로 낮았다고 보고한 바 있으므로 수술 술기를 표준화하고 영상학적 수술 성공에 영향을 미치는 수

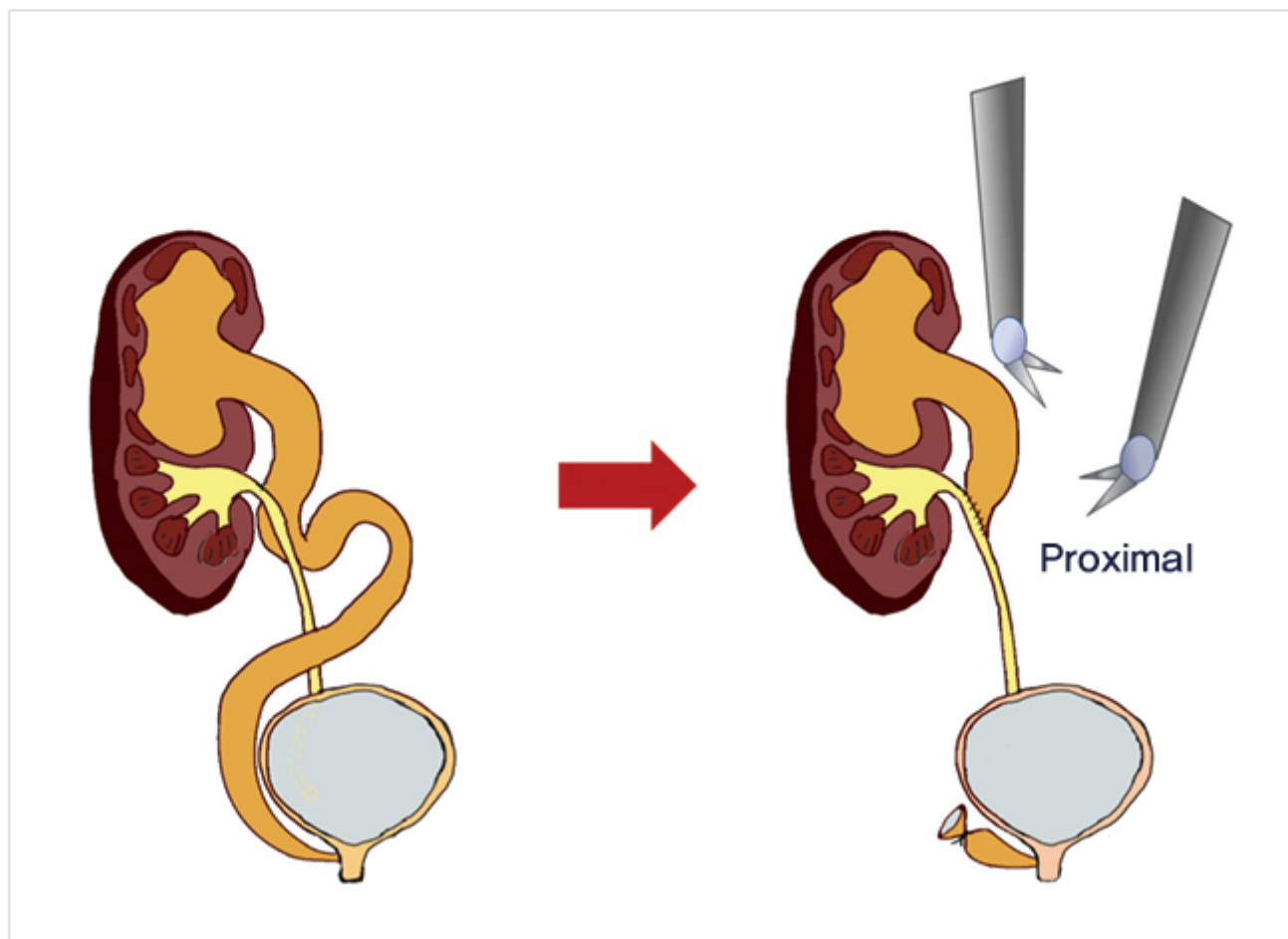


그림 3. 로봇 요관요관문합술의 모식도

술 전 인자들에 대한 철저한 조사가 더 이뤄져야 할 여지가 남아 있다고 하겠다. 대부분의 연구에서 수술의 합병증은 매우 적고 일시적이라고 보고하고 있다. 기존의 개복 수술의 경우 양측성 방광의 접근법을 적용하면 수술 후 일시적 요폐가 유발될 가능성이 있다고 알려졌다. 최근 서울아산병원이 텍사스 어린이 병원과 공동으로 시행한 연구에서 양측성 방광의 접근법의 일시적 요폐의 유발 원인은 수술전부터 확인된 배뇨배변장애인 것으로 조사되었는데, 배뇨배변장애가 10% 정도로 적은 비율로 포함된 서울아산병원의 수술 경험에서는 양측성 로봇 요관재이식술 후에도 요폐가 발생하지 않았다고 보고하였다. 요관손상이나 요관폐색의 발생율은 1-2.5%로 보고되었는데 수술 시 요관에 대한 직접적인 전기 소작을 줄이고 과도한 요관전인이나 방광근 봉합시 요관 압박을 최소화하여 이러한 합병증을 예방해야 한다. 요관 재이식술 후 일시적인 수신증 발생율은 기존의 개복 수술의 경우와 유사하게 약 30% 정도로 알려졌으며 대개 1년 이내 소실된다.

5. 소아 로봇 요관요관문합술

요관류나 이소성 요관이 동반된 중복요관에서 요관요관문합술은 복강경 수술로 좋은 수술성적을 거둘 수 있음이 알려져 있다. 로봇 수술로 이 술기를 시행할 경우 시야확보가 더욱 용이하고 요관끼리의 봉합 술기가 편리하기에 기존의 복강경 수술보다 더욱 손쉽게 수술을 시행할 수 있게 된다(그림 3). Biles 등은 로봇 요관요관문합술시 요관폐색이 90% 이상 해소되었다는 연구 결과를 발표하였다.

6. 로봇 보조 방광확대술 및 Mitrofanoff 술식

University of Chicago Medicine 의 Mohan Gundeti 등은 2008년 최초로 소아에서 회장방광확대성형술 및 충수방광연결술(Mitrofanoff procedure)을 시행하였음을 발표하였는데, 방광 용적이 감소하고 유순도가 저하되어 방광기능이 소실된 이분척추, 신경인성방광, 후부요도판막, 말린대추배증후군(Prune-belly syndrome) 등의 환아에서 이러한 수술이 적용 가능하다. 수술 후 입원기간이나 방광 용적 증가정도, 진통제 사용량, 합병증 발생율은 개복 수술과 비교하여 차이가 없었으나, 수술 시간이 약 10시간 정도로 기존의 개복 수술로 시행하는 것보다 훨씬 길다는 것이 단점이다.

| 결 론

소아비뇨의학 영역에서 로봇수술의 현재와 미래

앞서 소개한 수술술기 이외에도 신장절제술이나 신장부분절제술, 방광경부재건술, 방광계실절제술, 전립선소실절제술(prostatic utricle excision) 등에도 로봇 수술이 적용가능하다. 윌름씨 종양 등의 신장종양 환자에서 로봇 수술이 적용되었으며 초기 결과는 매우 고무적이다. 하지만, 여전히 로봇 수술에 들어가는 수술비용은 기존의 개복이나, 복강경 수술에 비해 높으며 이것이 로봇 수술을 결정하게 되는데 장애요인으로 작용하고 있는 현실이다. 향후 로봇 수술 기기 플랫폼이 다양화되어 경쟁 구도가 펼쳐진다면 수술비용의 감소를 기대해 볼 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 소아 수술에 특화된 로봇 팔이나 기타 기구들의 개발과 이를 위한 투자가 공익적 차원에서 이뤄진다면 최근 급격한 발달을 보이고 있는 최신 의학기술 혁신의 결과가 소아 질환 환자군의 치료효과의 향상과 궁극적으로는 이들의 건강 및 복지의 증진으로 이어질 수 있을 것으로 기대한다. **UR@world**

References

1. Gerber JA, Koh CJ. Robot-assisted laparoscopic ureteral reimplantation in children: a valuable alternative to open surgery. *World J Urol.* 2020;38:1849-1854.
2. Mittal S, Srinivasan A. Robotics in Pediatric Urology: Evolution and the Future. *Urol Clin North Am.* 2021;48:113-125.
3. Cundy TP, Shetty K, Clark J, Chang TP, Sriskandarajah K, Gattas NE, et al. The first decade of robotic surgery in children. *J Pediatr Surg* 2013;48:858-65
4. Peters CA, Schlusser RN, Retik AB. Pediatric laparoscopic dismembered pyeloplasty. *J Urol* 1995;153:1962-5
5. Peters CA, Woo R. Intravesical robotically assisted bilateral ureteral reimplantation. *J Endourol* 2005;19:618-21; discussion 21-2
6. Gundeti MS, Eng MK, Reynolds WS, Zagaja GP. Pediatric robotic-assisted laparoscopic augmentation ileocystoplasty and Mitrofanoff appendicovesicostomy: complete intracorporeal-initial case report. *Urology* 2008;72:1144-7; discussion 7
7. Song SH, Kim IA, Han JH, et al. Preoperative Bladder Bowel Dysfunction is the Most Important Predictive Factor for Postoperative Urinary Retention after Robot Assisted Laparoscopic Extravesical Ureteral Reimplantation: a Multi-center Study. *J Endourol.* 2020.
8. Kim EJ, Song SH, Sheth K, et al. Does de novo hydronephrosis after pediatric robot-assisted laparoscopic ureteral re-implantation behave similarly to open re-implantation? *J Pediatr Urol.* 2019;15:604 e601-604 e606.
9. Song SH, Kim KS. Current status of robot-assisted laparoscopic surgery in pediatric urology. *Korean J Urol.* 2014;55:499-504.
10. Song SH, Lee C, Jung J, et al. A comparative study of pediatric open pyeloplasty, laparoscopy-assisted extracorporeal pyeloplasty, and robot-assisted laparoscopic pyeloplasty. *PLoS One.* 2017;12:e0175026.