요로결석의 수술적 치료

김 범 수

경북대학교 의과대학 비뇨의학교실

Surgical management of urinary stone

Bum Soo Kim, MD

Department of Urology, School of Medicine, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Urolithiasis is a common urological disease that causes a significant deterioration in patients' life quality due to severe pain and frequent recurrence. With increases in the incidence of urolithiasis, different treatment methods have been developed. Although urolithiasis is still managed in Korea with extracorporeal shock wave lithotripsy, the development of minimally invasive techniques and endoscopy instruments has led to increased surgery. Prior to the introduction of endoscopy, urolithiasis surgery was performed as open procedures such as ureterolithotomy, pyelolithotomy, and nephrolithotomy. However, most recent stone surgeries are performed using endoscopy with comparable outcomes and fewer complications. Laparoscopic or robot-assisted laparoscopic surgeries are performed in exceptional cases. Since urolithiasis can be found in various urinary organs, such as the kidney, ureter, bladder, and even the urethra, the approach, method, and availability of endoscopy will vary depending on the stone's size and location. Understanding the types and characteristics of each surgical method will determine the appropriate procedure for each patient and improve the surgical outcomes.

Key Words: Urolithiasis; Surgery; Lithotripsy; Endoscopy; Laparoscopy

서론

요로결석은 비교적 흔한 비뇨기계 질환 중 하나로 환자에게 극심한 통증을 유발하고, 재발률이 높아 환자의 삶의 질을 현저히 감소시킬 있다[1]. 주로 백인에게 호발하며 덥고 건조한 지역에서 발생률이 높은 것으로 알려져 있으나 국내에서도 서구화된 생활습관과 식생활의 변화로 요로결석의 발병률 및 유병률이 점차 증가하고 있다. 최근 발표된 국

내 보고에 의하면 우리나라에서 2000년 이후 요로결석의 평균 발생률은 매년 약 3,000명 이상이고, 유병률은 2002년 3,172명에서 2013년 5,758명으로 두 배 가까이 증가하였다[1]. 1980년대 체외충격파쇄석술이 도입된 이래 입원이나 마취가 필요치 않고 비침습적인 치료가 가능하다는 장점으로 국내에서는 다수의 요로결석이 체외충격파쇄석술로 치료되어 왔다[2]. 현재도 2 cm 미만의 요로결석에서 일차적으로 체외충격파쇄석술이 선호되고 있으나, 체외충격파쇄석술로 파쇄가 되지 않는 단단한 결석이나 크기가 큰 결석, 신하극에 위치하여 파쇄 후에도 배출이 잘 되지 않는 결석 등에서 수술적 치료가 시행되고 있으며, 최근 여러 가지 내시경 장비 및 결석 수술에 필요한 보조기구의 발달로 과거에 비해 점점 수술적 치료가 차지하는 비중이 증가하고 있다[3,4]. 이에 본 특집에서는 요로결석의 수술적 치료법에 대해서 알아보고 각각의 수술법의 적응증 및 장단점과 이리

Received: September 18, 2020 **Accepted:** November 10, 2020

Corresponding author: Bum Soo Kim
E-mail: urokbs@knu.ac.kr

© 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/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Figure 1. Radiologic images of extremely large size urolithiasis. (A) Complete staghorn renal stone with multiple large ureteral stones. (B) Large bladder stone (>10 cm). Informed consent was obtained from the patients of the images.

한 수술법의 발전과정 및 최신 수술법 등에 대해 알아보고자 한다.

개복수술

체외충격파쇄석술 및 내시경 수술이 도입된 1980년대 이전에는 요로결석 수술은 대부분 개복수술로 시행되었다. 개복수술의 경우 결석의 위치에 따라 신실질, 신우, 요관 또는 방광을 절개하고 결석을 제거한 후 절개한 장기를 다시 봉합하는 방법으로 시행되는데, 신실질을 절개하는 신결석제거술(nephrolithotomy)의 경우 출혈의 위험성 및 수술 후 신기능 악화 가능성 등의 합병증 발생률이 높은 편이고, 신우결석제거술(pyelolithotomy) 또는 요관결석제거술(ureterolithotomy)의 경우에도 수술 후 요누출 또는 요관협착 등의 발생 가능성이 있다. 뿐만 아니라 개복수술 자체가 환자의 피부에 비교적 큰 절개창을 만들어서 시행되어야 하므로, 상대적으로 긴 수술시간 및 회복기간과 수술 후 환자의 통증이 큰 단점이 있다[5]. 이러한 단점들로 인하여 최근에는 대부분의 요로결석 수술이 내시경을 이용한 수술로 대체되었지만, 결석의 크기나 위치에 따라 약 1-5%의 수술은 아직

까지도 개복수술로 시행되고 있다[6,7].

전통적으로 개복수술의 적응증은 결석의 크기가 너무 크거나 여러 곳의 신배(calyx)에 깊숙이 박혀 있어 내시경을 이용한 최소침습수술로 한번에 결석을 모두 제거하기 어려운 경우(Figure 1), 체외충격파쇄석술 또는 내시경 수술에 실패한 경우, 신장 또는 요로계 기형이 동반되어 요로결석까지 내시경으로 접근이 어려운 경우 및 동반된 요로기형을 개복수술로 동시에 교정을 해야 하는 경우 등이었다[8]. 그러나 체외충격파쇄석술 및 내시경 장비와 관련 술기의 발달로 최근에는 요로결석의 첫 번째 치료로 개복수술을 권유하는 경우는 거의 없

으며, 실제로 유럽비뇨기과학회 요로결석 가이드라인에서도 시도 가능한 모든 최소침습수술을 우선적으로 고려해 보고, 일차치료에 실패 시 개복수술을 고려하도록 권고하고 있다[3]. 최근 디지털 연성내시경과 같은 광학장비 및 홀mium레이저(holmium laser) 등과 같은 파쇄기구의 발달로 향후 개복수술의 비중은 점점 더 감소할 것으로 예상되며, 개복수술이 꼭 필요한 경우에도 복강경 또는 로봇수술이 상당부분 이를 대체할 것으로 생각한다.

경요도결석제거술

경요도결석제거술(transurethral lithotripsy)은 요도결석부터, 방광, 요관 및 신결석에 이르기까지 모든 부위의 요로결석에 시행 가능한 수술법이다. 결석의 위치에 따라 요도 및 방광결석은 방광경으로(Figure 2A), 요관결석은 경성 또는 연성요관신장경으로, 신결석은 연성요관신장경을 이용해서 수술이 가능하다. 경요도결석제거술의 장점은 체외충격파쇄석술에 비하여 결석제거율이 높다는 점과 다른 수술법과 달리 척추마취 또는 국소마취로도 가능하다는 점 및 요도를 통해 접근이 가능하므로 절개창이 필요치 않다는 점이다

Figure 2. Procedural setting and performance of transurethral lithotripsy. (A) Cystoscopic lithotripsy. (B) Ureteroscopic lithotripsy using a semi-rigid ureteroscope. (C) Retrograde intrarenal surgery using a flexible ureteroscope. Informed consent was obtained from the participant and patients of the pictures.

[9]. 단점으로는 체외충격파쇄석술과 비교하여 대부분의 경우 마취 및 입원이 필요하고 체내로 내시경을 삽입하는 과정이 필요하여 보다 침습적이라는 점과 체내에서 파쇄된 결석 조각이 요관 및 요도를 통하여 배출되어야 하므로 결석의 크기가 너무 큰 경우 결석제거율이 감소할 수 있다는 점, 시술 과정에서 요도나 방광, 요관의 손상 등과 같은 합병증이 발생할 수 있다는 점이다[9].

1. 방광결석

방광결석의 경우 특별히 경요도결석제거술을 시행하는 것에 대한 제한은 없으나, 결석의 크기가 너무 커서 수술시간이 과도하게 길어질 우려가 있거나 한번의 수술로 완전히 제거가 어렵다고 판단되는 경우 개복수술을 시행하는 것이 권장된다[10]. 방광결석 파쇄를 위한 경요도결석제거술의 경우 통상적으로 20–26Fr 구경의 방광경을 사용하게 되는데, 무리한 조작이나 장시간의 수술은 요도협착의 발생 위험이 증가할 수 있으므로 피하는 것이 좋다. 방광결석은 대부분 배뇨장애에 의한 방광내 요정체나 이물질 등으로 인하여 발생하는데, 남성 환자의 경우 전립샘비대로 인한 배뇨장애가 동반된 경우 요도경유쇄석 시행시 전립샘절제를 같이 시행하는 것이 향후 환자의 배뇨증상 완화 및 결석의 재발률을 감소시킬 수 있어 결석제거 및 전립샘절제를 동시에 시행하는 것이 추천된다[10].

2. 요관결석

요관결석의 경우도 결석의 크기나 위치에 따른 경요도결석

제거술의 제한은 없으나, 조절되지 않은 요로감염이나, 요관 신장경의 진입이 어려운 요관협착이 있을 때는 시행하지 않는 것이 좋다[9]. 결석의 위치나, 환자의 요로계의 해부학적 상태에 따라서 경성 또는 연성 요관신장경으로 수술을 시행하는데, 경성 요관신장경이 비교적 조작이 쉽고, 내부의 채널의 직경이 커서 좀 더 다양한 수술기구를 사용할 수 있고, 수술 중 관류가 용이해서 경성 요관신장경으로 접근이 가능한 경우에는 좀 더 선호되는 편이다(Figure 2B). 경성 요관신장경은 방광경에 비해 길이는 길고, 구경은 약 1/3에서 1/4(성인에서 통상적으로 내시경 말단부의 구경이 7–9.5Fr 사용) 정도로 작다. 최소 직경이 4.5Fr까지 있어서 소아에서도 적용이 가능하다. 그러나 전립샘비대로 인한 방광경부의 해부학적 변화가 있는 환자나 요관의 방향이 일직선으로 되어 있지 않은 환자에서는 하부요관의 상방으로는 경성 요관신장경으로 접근이 어려운 경우도 있는데 이러한 경우에는 연성 요관신장경을 이용하여 수술을 시행할 수 있다.

요관신장경을 이용한 수술 시 결석의 파쇄를 위해 다양한 체내 쇄석기를 사용할 수 있는데, 초음파, 전기수압충격파, 기압쇄석기 및 홀mium레이저가 있으며 경성 요관신장경에서는 모든 종류의 쇄석기가 사용 가능하나, 연성 요관신장경에서는 전기수압충격파쇄석기와 홀mium레이저만 사용 가능하다[11]. 초음파쇄석기는 결석의 파쇄와 결석조각의 흡입을 동시에 할 수 있고, 주변 조직의 손상이 거의 없는 장점이 있으나, 기구의 구경이 다른 쇄석기에 비하여 굵고 막대형으로 되어 있어 내부채널의 직경이 큰 경성 요관신장경에서만 사

용가능하다. 전기수압충격파쇄석기는 수중 전기방전을 이용하여 결석을 파쇄하고 가격이 저렴한 장점이 있지만, 주변 조직까지 에너지의 전달이 이루어져 요관천공 등 주위 조직 손상의 위험이 높아 최근에는 잘 사용되지 않는다. 기압쇄석기는 착암효과(jack hammer effect)를 이용하여 결석을 파쇄하는 방법으로 요관손상이 적은 장점이 있지만, 연성 요관 신장경에서는 사용이 불가능하고, 결석이 요관의 상방 또는 신우 내로 이동할 수 있는 단점이 있다. 홀몸레이저는 주변 조직의 손상이 적고 단단한 결석도 효과적으로 파쇄가 가능하여 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 쇄석장비이나, 장비가 상대적으로 고가이고 조작 미숙 시 내시경이 손상될 수 있는 단점이 있다[5].

경요도결석제거술 후에는 일반적으로 요관부종 및 요관 내 발생한 혈괴 또는 파쇄된 결석 조각 등으로 인하여 요관 폐색이 발생할 수 있고, 요관점막 손상으로 인한 요누출이 일어날 수 있어 이를 방지하기 위하여 요관스텐트를 삽입한다[5]. 요관스텐트는 대개 술 후 약 1-2주간 유지 후 제거하는데, 요관스텐트 유지기간 동안 방광자극 증상 및 통증이 빈번히 발생하고, 요관스텐트 제거 시 방광경을 시행해야 하는 등 환자에게 불편함을 야기할 수 있어 최근에는 요관 손상이 없고 수술시간이 짧은 경우 요관스텐트를 삽입하지 않는 경우도 있다[12].

3. 신결석

크기가 작고 무증상의 신결석은 적극적인 치료가 권유되고 있지 않으나, 결석의 크기가 증가하는 경우, 통증이나 혈뇨 등의 증상이 동반된 경우, 진단 당시 결석의 크기가 1 cm 이상으로 큰 경우는 적극적 치료를 시행하는 것이 권유되고 있다. 아직까지 2 cm 미만의 신결석에 대해서는 체외충격파쇄석술이 일차치료로 고려되나, 결석이 단단하거나 신장 하극에 있는 경우 등에서는 수술적 치료가 추천된다[13]. 이때 표준치료로 시행할 수 있는 수술법이 연성 요관신장경을 이용한 경요도결석제거술이다(Figure 2C). 특히 교정되지 않은 출혈성 소인이 있거나 항응고제를 복용 중인 환자에서는 체외충격파쇄석술이나 경피신장결석제거술(percutaneous nephrolithotomy, PCNL)이 추천되지 않는데, 경요도결석제거술은 술 중 출혈

의 위험이 낮아서 이러한 경우에도 비교적 안전하게 시행될 수 있다[13]. 연성 요관신장경은 직경이 3.5-9.9Fr까지 다양하며, 능동적/수동적 굴곡이 가능하여 요관을 부드럽게 통과하여 집뇨계까지 쉽게 도달할 수 있고, 최근의 내시경 장비는 상하 각각 270°까지 능동적 굴곡이 가능하여 대부분의 신배에 큰 어려움 없이 접근할 수 있다. 이러한 경요도결석제거술을 이용하여 신결석뿐만 아니라 신장계실 내 결석도 대부분 치료가 가능하다[14]. 그러나, 경요도결석제거술 시 관류액이 적절히 배액되지 않으면 신장 내 압력이 과도하게 증가되어 여러가지 합병증을 야기할 수 있으므로, 관류액의 압력이 너무 높게 유지되지 않도록 주의하여야 한다. 이처럼 수술 중 신장 내압이 과도하게 증가되는 것을 방지하기 위하여 관류액이 적절히 배액되고, 내시경의 요관 내 이동에 따른 요관점막 손상을 예방하기 위하여 시술 전 요관 내 요관접근외피(ureteral access sheath)를 삽입하여 수술을 시행하는 경우가 많다. 신장 내압 증가와 더불어 수술시간의 증가 또한 술 후 요로감염과 같은 합병증의 위험을 증가시키는 것으로 알려져 있다[15]. 아직까지 경요도결석제거술에 대한 절대적인 결석의 크기 제한은 정해져 있지 않으나, 이러한 합병증 발생 가능성과 수술의 효용성 등을 고려하여 약 2-3 cm 미만의 결석에서 경요도 신결석제거술을 시행하는 것이 권유된다[16,17].

이러한 임상적인 장단점 외에도 연성 요관신장경을 이용한 경요도결석제거술 시행 시 술자의 입장에서 가장 큰 고민거리 중 하나는 연성 요관신장경의 내구성이다. 국내에 도입되어 사용가능한 연성 요관신장경은 여러가지 종류가 있으나 대부분의 연성 요관신장경이 내구성이 약하고 수술의 특성상 레이저를 사용하여야 하므로 다른 내시경에 비해 고장이 빈번한 단점이 있다. 내시경을 다루는 술자의 숙련도, 환자의 결석 상태 및 요로계의 해부학적 구조에 따라 다소 차이는 있으나 평균 20-30회 정도의 수술을 시행하면 내시경이 파손되어 수리를 시행해야 하는 것으로 알려져 있다[18]. 뿐만 아니라 일회 수리비용이 수백만 원에 이르러 연성 요관신장경 도입 초기에는 제한적인 경우에만 시행이 되었다. 그러나 최근 이러한 연성 요관신장경의 단점을 극복하고 잦은 고장과 수리를 보완하기 위해 일회용 연성 요관신장경이 개발되어 현재 임상에서 활발히 사용되고 있다[19].

Figure 3. Procedural setting and performance of percutaneous nephrolithotomy. Informed consent was obtained from the participants and patient of the picture.

경피신결석제거술

체외충격파쇄석술 또는 경요도결석제거술은 피부 절개창 없이 최소 침습적인 방법으로 요로결석을 제거할 수 있는 치료법이지만, 크기가 큰 결석을 한번의 시술로 모두 제거하는 것에는 한계가 있다[9]. 경피신결석제거술은 환자의 신장과 가까운 측복부에 최대 약 1 cm (30Fr) 크기의 절개창을 만들어 신실질을 확장하고 신장경을 측복부의 절개창을 통하여 집뇨계로 삽입 후 신결석을 파쇄 및 제거하는 수술로 (Figure 3), 체외충격파쇄석술 및 경요도결석제거술보다는 침습적이지만, 결석의 크기에 상관없이 효과적으로 단시간에 결석을 제거할 수 있어, 2 cm 이상의 신결석이나 신축각석 등에서 주로 시행된다[5]. 통상적인 경피신결석제거술에 사용되는 신장경(24Fr)은 요관신장경에 비해 내시경의 외경이 크고 내부의 채널의 직경이 커서 좀 더 크고 다양한 파쇄기구나 결석제거 기구를 사용할 수 있어, 큰 신결석에서도 체외충격파쇄석술이나 경요도결석제거술에 비해 높은 성공률이 보고되고 있다[9]. 이러한 장점과 더불어 개복술과 비교하여 최소 침습성, 짧은 수술시간 및 회복기간 등으로 경피신결석제거술은 과거 개복술로 시행되던 경우를 대부분 대체하게 되었다[11]. 그럼에도 불구하고 경피신결석제거술은 신장의 실질을 관통하여 수술이 이루어지는 특성상 다른 내시경 수술과 비교하여 수술 후 출혈, 감염 등의 합병증이 상대적으로 높게 보고되고 있으며, 드물지만 늑막, 간, 비장,

장손상 등과 같은 주위 장기손상의 가능성이 있다[5,9]. 뿐만 아니라 치료되지 않은 요로감염이 동반되었거나 조절되지 않는 출혈성 소인이 있는 환자에서도 경피신결석제거술은 합병증 발생위험이 높아 권유되지 않는다[11].

전통적으로 경피신결석제거술은 환자를 복와위 자세에서 24–30Fr 구경의 신루를 통하여 시행되었다. 그러나 높은 출혈 위험성 및 큰 신루로 인한 술 후 통증의 증가 등으로 최근에는 작은 구경(<22Fr)의 신루를 이용한 경피신결석제거술도 시행되고 있다[20,21]. 이러한 소형화 경피신결석제거술은 신루의 크기에 따라 좀 더 분류가 되는데, 아직까지 엄밀한 기준이 정해져 있지는 않지만 일반적으로 15–20Fr는 mini-PCNL, 11–13Fr는 ultramini-PCNL, 4.5–5Fr는 micro-PCNL로 명명하고 있다[22]. 큰 구경의 신루(>22Fr)를 이용한 전통적인 경피신결석제거술과 비교하여 작은 구경의 신루(<22Fr)를 이용한 경피신결석제거술은 비록 수술시간은 더 오래 걸리는 것으로 나타났으나 결석제거율은 유의한 차이가 없고, 실혈량이나 술 후 수혈을 시행한 경우는 유의하게 적은 것으로 나타나 최근에는 적용이 증가하는 추세이다[21].

경피신결석제거술 시 환자의 자세에 대해서도 최근 다양한 변화와 시도가 있었다[23]. 비록 아직까지도 다수의 경피신결석제거술이 환자의 복와위에서 시행되고 있지만[24], 마취 후 환자의 체위 변경에 따른 수술시간의 지연 및 피부, 신경, 안구조직 등의 손상 가능성과 심폐기능의 저하 가능성, 술 중 심폐기능에 이상이 발생하였을 때 즉각적인 대처의 어려움 등으로 인하여 양와위 또는 변형된 양와위 자세에서 수술을 시행하려는 시도가 많이 있어 왔다[25,26]. 아직까지 양와위에서 시행하는 경피신결석제거술의 장단점에 대해서는 논란이 있지만, 대체적으로 복와위에서 시행하는 수술과 비교하여 수술성공률 및 합병증 발생률은 유의한 차이가 없고, 수술시간의 감소 및 마취 후 체위변경이 필요치 않은 점, 경피신결석제거술과 경요도결석제거술을 동시에 시행 가능하여 좀 더 복잡한 결석에서 결석제거율을 높일 수 있는 점 등이 장점으로 여겨지고 있으며, 측복부의 수술공간이 상대적으로 적어서 신장 천자 및 내시경을 움직일 수 있는 공간이 제한적이라는 단점이 있다[27,28].

복강경 및 로봇을 이용한 결석제거술

다양한 내시경 장비 및 경요도결석제거술과 경피신결석제거술의 술기적 발달로 개복수술뿐만 아니라 복강경을 이용한 수술도 점차 시행이 줄고 있으며, 복강경 또는 로봇을 이용한 결석제거술의 절대적 적응증은 정해져 있지 않다[29]. 그러나 15 mm 이상의 상부 요관 결석과 같이 큰 결석의 경우 한번의 시술에서 결석의 완전제거율은 복강경을 이용한 요관결석제거술이 경요도결석제거술보다 유의하게 높은 것으로 나타났고[30], 복강경 술기의 발달로 일부 술자에서는 이처럼 크기가 큰 요관결석의 경우 복강경 수술을 선호하기도 한다. 뿐만 아니라 신우요관이행부협착 또는 신장계실 내 결석과 같이 동반된 해부학적 기형이 있어서 수술적으로 교정이 필요한 경우에도 복강경을 이용한 교정술 및 결석제거술이 시행되기도 하며, 이는 로봇수술의 도입으로 좀 더 편리하고 효율적으로 시행할 수 있게 되었다[29].

한편, 연성 요관신장경을 이용한 경요도신결석제거술 시행 시 내시경을 굴곡시킨 상태에서 장시간 수술을 진행하면, 술자의 손가락 및 손목 관절에 부담이 증가하게 되고 수술 시행건수가 누적될수록 방사선 노출량이 많아지는 단점이 있는데, 이를 극복하기 위해서 아직 국내에는 도입되지 않았으나 'Avicenna Roboflex (ELMED, Ankara, Turkey)'라고 하는 로봇보조 연성 요관신장경 장비가 개발되어 해외에서 일부 사용 중이기도 하다[31]. 그 밖에도 경피신결석제거술 시 신장의 천자를 효율적으로 시행하기 위한 로봇장비 등[32]도 개발되어 임상적용을 앞두고 있어 향후 요로결석의 수술에 있어서도 다양한 로봇장비들이 도입될 것으로 기대된다.

결론

요로결석은 환자에게 심각한 통증을 야기하며, 재발 가능성이 높아 치료방침을 결정할 때 즉각적인 증상완화 효과 및 여러 번 치료를 시행했을 때도 환자에게 큰 불편감이나 장기의 기능에 영향을 미치지 않는 최소침습성이 고려되어야 한다.

크기가 작고 합병증이 동반되지 않은 단순 요관결석이나 신하극을 제외한 신결석은 체외충격파쇄석술이 첫 번째 치료 방법으로 시도될 수 있겠으나, 한두 번의 체외충격파쇄석술로 결석의 완전제거가 어려울 것으로 예상되는 경우나, 체외충격파쇄석술의 금기에 해당되는 경우 또는 즉각적인 요로결석의 완전제거가 필요한 경우에는 수술적 치료를 고려하여야 한다. 특히 내시경 장비 및 결석 파쇄기구, 수술 술기의 발달로 최소 침습적인 접근법으로도 높은 결석제거율과 낮은 합병증 발생률이 기대되고 환자의 회복기간과 불편감도 최소화할 수 있어서 향후 요로결석의 수술적 치료는 점점 증가할 것으로 생각한다.

찾아보기말: 요로결석; 수술; 쇄석; 내시경술; 복강경술

ORCID

Bum Soo Kim, <https://orcid.org/0000-0002-4873-3049>

Conflict of Interest

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

References

1. Jung JS, Han CH, Bae S. Study on the prevalence and incidence of urolithiasis in Korea over the last 10 years: an analysis of National Health Insurance data. *Investig Clin Urol* 2018;59:383-391.
2. Choi JW, Song PH, Kim HT. Predictive factors of the outcome of extracorporeal shockwave lithotripsy for ureteral stones. *Korean J Urol* 2012;53:424-430.
3. Turk C, Petrik A, Sarica K, Seitz C, Skolarikos A, Straub M, Knoll T. EAU guidelines on interventional treatment for urolithiasis. *Eur Urol* 2016;69:475-482.
4. Jung JH, Yoo S, Park J, Cho MC, Son H, Jeong H, Ryang SH, Cho SY. Postoperative renal functional changes assessed by 99mTc-DTPA scintigraphy and predictive factors after miniaturized percutaneous nephrolithotomy and retrograde intrarenal surgery: an observational 1-year follow-up study. *Investig Clin Urol* 2020;61:59-66.
5. Han DH, Choi JY. Urolithiasis. In: *Korean Urological Association. Urology*. 6th ed. Seoul: Ilchokak; 2019. p.179-195.
6. Matlaga BR, Assimos DG. Changing indications of open stone surgery. *Urology* 2002;59:490-493.

7. Paik ML, Wainstein MA, Spirnak JP, Hampel N, Resnick MI. Current indications for open stone surgery in the treatment of renal and ureteral calculi. *J Urol* 1998;159:374-378.
8. Borofsky MS, Lingeman JE. The role of open and laparoscopic stone surgery in the modern era of endourology. *Nat Rev Urol* 2015;12:392-400.
9. Ingimarsson JP, Krambeck AE, Pais VM Jr. Diagnosis and Management of Nephrolithiasis. *Surg Clin North Am* 2016;96: 517-532.
10. Cicione A, DE Nunzio C, Manno S, Damiano R, Posti A, Lima E, Tubaro A, Balloni F. Bladder stone management: an update. *Minerva Urol Nefrol* 2018;70:53-65.
11. Li JK, Teoh JY, Ng CF. Updates in endourological management of urolithiasis. *Int J Urol* 2019;26:172-183.
12. Savic S, Vukotic V, Lazic M, Savic N. Stenting versus non-stenting following uncomplicated ureteroscopic lithotripsy: comparison and evaluation of symptoms. *Vojnosanit Pregl* 2016;73:850-856.
13. Cho SY, Jeong H, Cho MC, Park J, Son H. Current status of minimally invasive surgery for treatment of renal stones and tumors using a flexible ureteroscopy. *J Korean Med Assoc* 2016;59:459-466.
14. Sanguedolce F, Bozzini G, Chew B, Kallidonis P, de la Rosette J. The evolving role of retrograde intrarenal surgery in the treatment of urolithiasis. *Eur Urol Focus* 2017;3:46-55.
15. Demir DO, Doluoglu OG, Yildiz Y, Bozkurt S, Ayyildiz A, Demirbas A. Risk factors for infectious complications in patients undergoing retrograde intrarenal surgery. *J Coll Physicians Surg Pak* 2019;29:558-562.
16. Cho SY, Choo MS, Jung JH, Jeong CW, Oh S, Lee SB, Son H, Jeong H. Cumulative sum analysis for experiences of a single-session retrograde intrarenal stone surgery and analysis of predictors for stone-free status. *PLoS One* 2014;9:e84878.
17. Wilhelm K, Hein S, Adams F, Schlager D, Miernik A, Schoenthaler M. Ultra-mini PCNL versus flexible ureteroscopy: a matched analysis of analgesic consumption and treatment-related patient satisfaction in patients with renal stones 10-35 mm. *World J Urol* 2015;33:2131-2136.
18. Legemate JD, Kamphuis GM, Freund JE, Baard J, Zanetti SP, Catellani M, Oussoren HW, de la Rosette JJ. Durability of flexible ureteroscopes: a prospective evaluation of longevity, the factors that affect it, and damage mechanisms. *Eur Urol Focus* 2019;5:1105-1111.
19. Emiliani E, Traxer O. Single use and disposable flexible ureteroscopes. *Curr Opin Urol* 2017;27:176-181.
20. Kukreja R, Desai M, Patel S, Bapat S, Desai M. Factors affecting blood loss during percutaneous nephrolithotomy: prospective study. *J Endourol* 2004;18:715-722.
21. Feng D, Hu X, Tang Y, Han P, Wei X. The efficacy and safety of miniaturized percutaneous nephrolithotomy versus standard percutaneous nephrolithotomy: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Investig Clin Urol* 2020;61:115-126.
22. Ghani KR, Andonian S, Bultitude M, Desai M, Giusti G, Okhunov Z, Preminger GM, de la Rosette J. Percutaneous nephrolithotomy: update, trends, and future directions. *Eur Urol* 2016;70:382-396.
23. Tailly T, Denstedt J. Innovations in percutaneous nephrolithotomy. *Int J Surg* 2016;36:665-672.
24. Sivalingam S, Cannon ST, Nakada SY. Current practices in percutaneous nephrolithotomy among endourologists. *J Endourol* 2014;28:524-527.
25. Scoffone CM, Cracco CM, Cossu M, Grande S, Poggio M, Scarpa RM. Endoscopic combined intrarenal surgery in Galda-kao-modified supine Valdivia position: a new standard for percutaneous nephrolithotomy? *Eur Urol* 2008;54:1393-1403.
26. Sofer M, Tavdi E, Levi O, Mintz I, Bar-Yosef Y, Sidi A, Matzkin H, Tsivian A. Implementation of supine percutaneous nephrolithotomy: a novel position for an old operation. *Cent European J Urol* 2017;70:60-65.
27. Yuan D, Liu Y, Rao H, Cheng T, Sun Z, Wang Y, Liu J, Chen W, Zhong W, Zhu J. Supine versus prone position in percutaneous nephrolithotomy for kidney calculi: a meta-analysis. *J Endourol* 2016;30:754-763.
28. Jung HD, Kim JC, Ahn HK, Kwon JH, Han K, Han WK, Kim MD, Lee JY. Real-time simultaneous endoscopic combined intrarenal surgery with intermediate-supine position: Washout mechanism and transport technique. *Investig Clin Urol* 2018; 59:348-354.
29. Pedro RN, Buchholz N. Laparoscopic and robotic surgery for stone disease. *Urolithiasis* 2018;46:125-127.
30. Choi JD, Seo SI, Kwon J, Kim BS. Laparoscopic ureterolithotomy vs ureteroscopic lithotripsy for large ureteral stones. *JSLs* 2019;23:e2019.00008.
31. Rassweiler J, Fiedler M, Charalampogiannis N, Kabakci AS, Saglam R, Klein JT. Robot-assisted flexible ureteroscopy: an update. *Urolithiasis* 2018;46:69-77.
32. Oo MM, Gandhi HR, Chong KT, Goh JQ, Ng KW, Hein AT, Tan YK. Automated needle targeting with X-ray (ANT-X)-robot-assisted device for percutaneous nephrolithotomy (PCNL) with its first successful use in human. *J Endourol* 2018 Apr 27 [Epub]. <https://doi.org/10.1089/end.2018.0003>.

Peer Reviewers' Commentary

요로결석은 비교적 흔한 비뇨기계 질환 중 하나로 환자에게 극심한 통증을 유발하고, 재발률이 높아, 환자의 삶의 질을 현저히 감소시키는 대표적인 질환이다. 이 논문에서는 요로결석의 수술적 치료법에 대해서 알아보고, 각 수술법들의 적응증 및 장단점과 이러한 수술법의 발전과정 및 최신 수술법 등에 대해 정리하여 설명해 주고 있다. 기존 체외충격파쇄석술 및 개복수술에 의존해오던 요로결석의 치료가 최근 내시경 장비 및 체내 색석 기구들의 발달로 인해 내시경 및 복강경, 로봇을 이용한 수술들로 활발히 대체되고 있는 점에 대해 잘 설명하고 있다. 특히 결석의 위치 및 수술의 방법에 따른 요로결석의 치료 방법들과 장단점에 대해 자세히 기술하고 있다. 이 논문은 요로결석 환자 치료의 최신 경향을 이해하는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

[정리: 편집위원회]