

요관 스텐트의 부작용과 항역류 요관 스텐트 개발을 위한 연구

이정우¹ · 박창주² · 정상도² · 이종현² · 문홍상¹

¹한양대학교 의과대학 비뇨기과학교실, ²광주과학기술원 의로시스템학과

Adverse Effects of Ureteral Stent and Development of the Antireflux Ureteral Stent

Jung Woo Lee¹, Chang-Ju Park², Sangdo Jeong², Jong-Hyun Lee², Hong Sang Moon¹

¹Department of Urology, Hanyang University College of Medicine, Guri; ²Department of Medical System Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Gwangju, Korea

The double J ureteral stent (D-J stent) represents the ureteral catheter widely used nowadays. The main purpose of the D-J stent is to resolve ureteral obstruction caused by intra-ureteral or extra-ureteral etiologies. Indications of D-J stents have been extended and it has become one of the most important surgical instruments that protect the kidney and ureter. The ideal D-J stent should be easy to insert and remove and should not cause any adverse effects in vivo. In addition, it has to function well. However, there has been no immaculate D-J stent because our body conceives the ureteral stent as a foreign object and numerous developments are being made in order to overcome it. Vesicoureteral reflux, one of the adverse effects of the D-J stent, is the most troublesome adverse effect because it may scar the renal parenchyma, leading to permanent deterioration of renal function. This review is to discuss adverse effects of ureteral stents and to present the novel antireflux D-J stent that may reduce vesicoureteral reflux.

Key Words: Ureter; Stents; Prosthesis Design; Postoperative Complications; Vesico-Ureteral Reflux

Correspondence to: Hong sang Moon
우471-701, 경기도 구리시 경춘로 153,
한양대학교 구리병원 비뇨기과
Department of Urology, Hanyang University Guri Hospital, 153 Gyeongchun-ro, Guri 471-701, Korea
Tel: +82-31-560-2374
Fax: +82-31-560-2370
E-mail: moonuro@hanyang.ac.kr

Received 24 May 2013
Revised 22 July 2013
Accepted 28 July 2013

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.

서 론

요관 스텐트(ureteral stent)는 신장에서 방광까지 요 배출을 원활히 하도록 도움을 주는 역할을 하며, double-J 스텐트(D-J 스텐트)가 현재 널리 사용되고 있다. 요관 스텐트를 요관에 삽입하는 아이디어는 1967년에 Zimskind 등이 최초로 제안하였으며[1], 이후 현재 사용되고 있는 D-J 스텐트는 1978년 Finney가 최초로 고안하였다[2]. D-J 스텐트는 가운데가 비어있는 관의 형태로 되어있고, 측면에 여러 개의 구멍(side hole)이 있다. 내부 직경은 약 1 mm이며, 총 길이는 22-26 cm로 다양하다. 세로 부위는 유연하여 잘 휘게 되어있으나, 직경 부위는 외부 압력에 저항이 있도록 설계되어있다. 요관의 양쪽 말단 부위는 둥글게 감겨있어서, 체내삽입 후에 근위부는 신우에 고정되어 되고, 원위부는 방광 내에 위치하여 요관이 이

동하는 것을 방지하도록 되어있다(Fig. 1).

D-J 스텐트의 최초 사용 목적은 내인성 혹은 외인성의 양성 종양이나 악성 종양에 의해서 발생한 요관 폐색으로부터 요 배출을 돕는 것이었다[3]. 최근에는 요로 결석에 대한 수술 및 체외충격파쇄석술 시술 전후 요로결석으로 인한 폐색을 호전시킬 목적, 요관손상의 치료 및 요관 누공의 치료 목적 등으로 그 적응증이 더욱 확대되고 있다[4]. 이와 같이 D-J 스텐트는 현재 요관의 비 침습적 시술을 하는 경우 비뇨기과 의사들에게 없어서는 안 될 도구가 되었다. 그러나 아무리 이상적인 스텐트라고 하더라도 우리 몸에서는 이물질로 작용하기 때문에 부작용이 발생할 수 있다[4,5]. 요관 스텐트가 요관과 방광 내에 삽입되어 있으면 스텐트의 자극으로 인하여 배뇨통, 절박뇨 및 혈뇨 등의 증상을 호소할 수 있으며, 특히 허리를 구부리거나 이동할 때 혹은 배뇨 시 측복부 통증을 경험할 수 있다

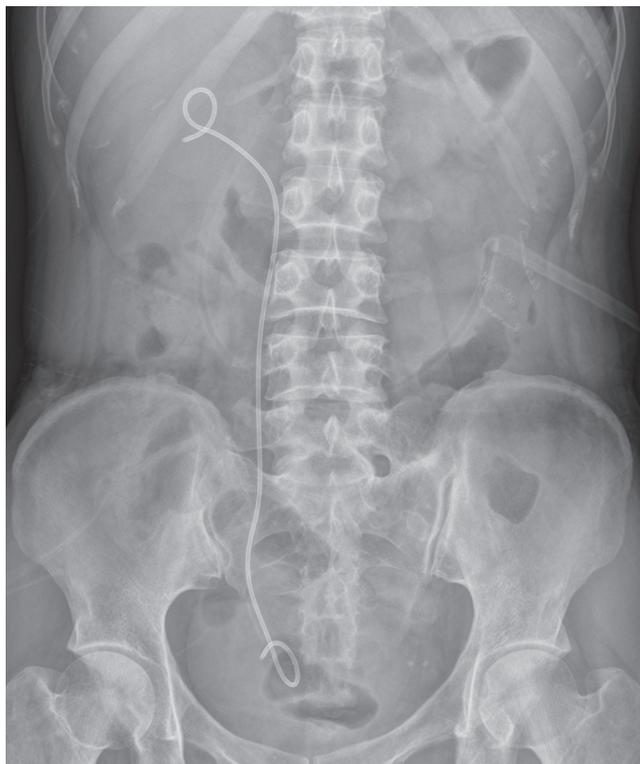


Fig. 1. Normal position and shape of D-J ureteral catheter in the right ureter.

[6]. 요관을 제거하기까지 절박뇨 외 다른 증상은 지속된다[7]. 장기적인 후유증을 방지하기 위해 여러 합병증 중에서 방광요관 역류는 꼭 해결해야 한다[8]. 역류를 통해 신우신염 같은 요로 감염이 발생할 수 있고, 이 후 신반흔(renal scar)으로 인한 고혈압이 발생할 가능성이 있기 때문이다. 비뇨기과 의사 및 환자에게 요관 수술 및 시술을 행할 때 수술 후 신장기능의 유지, 요관 수술 부위의 빠른 회복 및 합병증의 예방 등을 위하여 D-J 스텐트는 필수적인 도구이다. D-J 스텐트의 대용품이 개발되기 전까지 비뇨기과 의사는 현재 사용중인 D-J 스텐트를 사용할 수밖에 없으므로 환자에게 부작용이 적고 불편감을 줄일 수 있는 D-J 스텐트를 개발하는 것은 아직 해결되지 않고 있는 숙제이다. 저자는 D-J 스텐트의 부작용에 대하여 알아보고, 부작용 중 하나인 방광요관역류에 대한 해결책으로 새로운 항역류 판막(antireflux valve)을 포함한 D-J 스텐트를 제안하고자 한다.

본 론

1. 요관 스텐트의 종류

최근에 사용되는 요관 스텐트는 크게 두 종류로 나뉜다. 한가지는 중합체(polymer)로 구성된 요관 스텐트이고, 나머지는 금속재질 요관 스텐트(metallic ureteral stent)이다[9]. 중합체 요관 스텐트

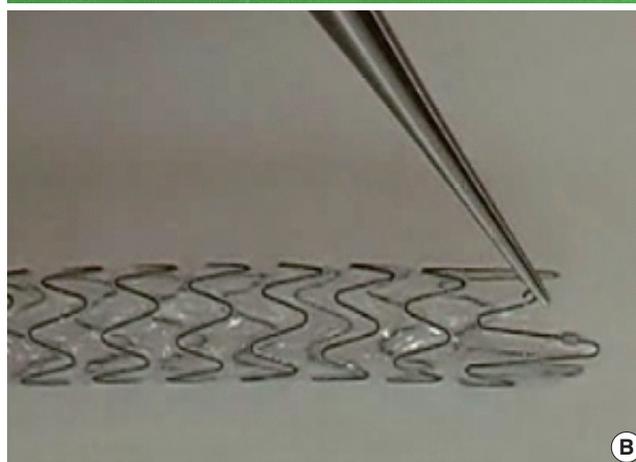
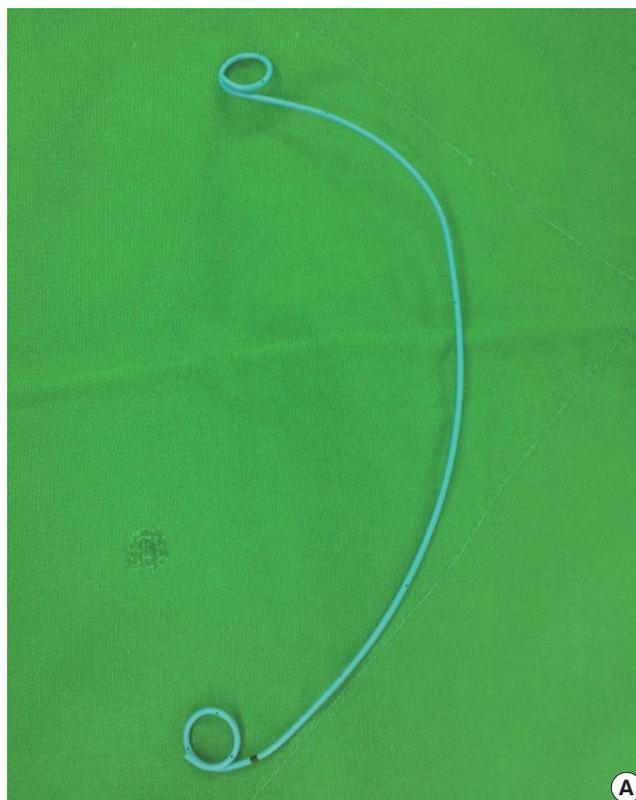


Fig. 2. Biomaterials of ureteral stents. (A) Polyurethane, (B) Metal.

는 1960년도에 실리콘(silicone)으로 제작되었으나 마찰계수(friction coefficient)가 높아서 요관 내에 삽입하기가 어려웠다[10]. 1970년도에는 폴리에틸렌(polyethylene) 재질의 스텐트가 개발되었으나, 소변에 장기간 노출 시 소변과의 작용으로 절단되는 경우들이 발생하였다. 1980년도에 이를 보완하여 폴리우레탄(polyurethane) 재질로 제작한 요관 스텐트가 현재까지 사용되고 있지만 외피(encrustation)가 발생하고, 감염의 가능성이 있어서 장기간 사용이 힘든 단점이 있다(Fig. 2A)[4]. 현재 여러 가지 재질로 보다 안정적이고, 장기간 사용이 가능한 요관 스텐트가 개발 중이다. 대체적으로

중합체 요관 스텐트는 압력에 약하여, 요관 주변의 악성 종양으로 인한 요관 폐색이 있을 경우에는 내구성이 강한 금속재질 요관 스텐트를 사용하는 것이 권유된다(Fig. 2B)[11].

2. 이상적인 요관 스텐트

이상적인 요관 스텐트는 쉽게 요관 내에 유치할 수 있어야 하고, 환자에게 불편감을 끼치지 않으면서 요의 흐름을 원활히 하는 것이며[9], 제거 또한 용이해야 한다. 생물학적 적합성이 일치해야 하고, 요관 내에서 요관 스텐트가 쉽게 이동이 되지 않아야 한다. 생체 내에서는 영구성이 보장되어야 하며, 스텐트가 유치된 경우에는 방광에서 요관으로 요가 역류하는 것을 최소화하여야 하고, 외피 생성이 방지되어야 하며, 감염에 대한 저항성이 있어야 한다. 그리고 주기적인 관찰이 용이하도록 재질이 방사선 비 투과성이어야 하고, 초음파를 통해서 관찰이 되어야 한다[4,12]. 그러나 아직까지 이런 완벽한 요관 스텐트는 존재하지 않고, 현재 여러 연구기관에서 개발 중에 있는 상태이다.

3. 요관 스텐트 삽입 시 발생할 수 있는 합병증

가장 흔한 부작용은 요관 스텐트를 삽입한 환자의 80-90%에서 나타나는 방광자극 증상(빈뇨, 절박뇨, 요실금 등)이 있고, 치골상부 및 하복부 통증, 측복부 동통, 혈뇨 등이 있다[13,14]. 이 증상들

은 요관 스텐트의 말단부분이 방광의 기저부, 삼각부 등을 자극해서 발생하는 증상이다. 스텐트는 신체 내에서 이물질로 작용하므로, 지속적인 요와의 접촉으로 인한 다양한 부작용을 유발할 수 있다. 그 외에 스텐트로 인하여 발생할 수 있는 합병증으로 요로감염, 위치 이상, 스텐트의 이동, 외피 형성, 스텐트의 절단, 요관의 미란 및 누공 형성, 삽입한 스텐트의 장기간 방치, 방광요관역류 등이 있다.

1) 요로감염

요로가 무균 상태인 경우라도 스텐트 삽입만으로 요로감염이 발생할 수 있으며, 스텐트 유치 후 장시간이 지나면 감염이 발생할 수 있다. 요로감염은 이차적으로 스텐트의 외피 형성을 유발할 수 있다[15]. 따라서 스텐트 삽입 전에 이미 요로감염이 있다면, 요로감염을 치료한 후 스텐트를 유치하는 것이 좋다. 요로감염을 피하고자 무균상태에서 스텐트를 유치하였다면, 시술 이후 항생제 치료가 필요하다.

2) 위치이상

스텐트 삽입 시 스텐트가 요관, 신우 및 콩팥 실질을 관통해서 위치했을 경우와 기존의 신우루(percutaneous nephrostomy)나 요관 스텐트 시술 이후 삽입한 요도 카테터와 코일 부분이 꼬이는 경우에 발생할 수 있다[16]. 이는 방사선 검사를 통해서 스텐트의 코일

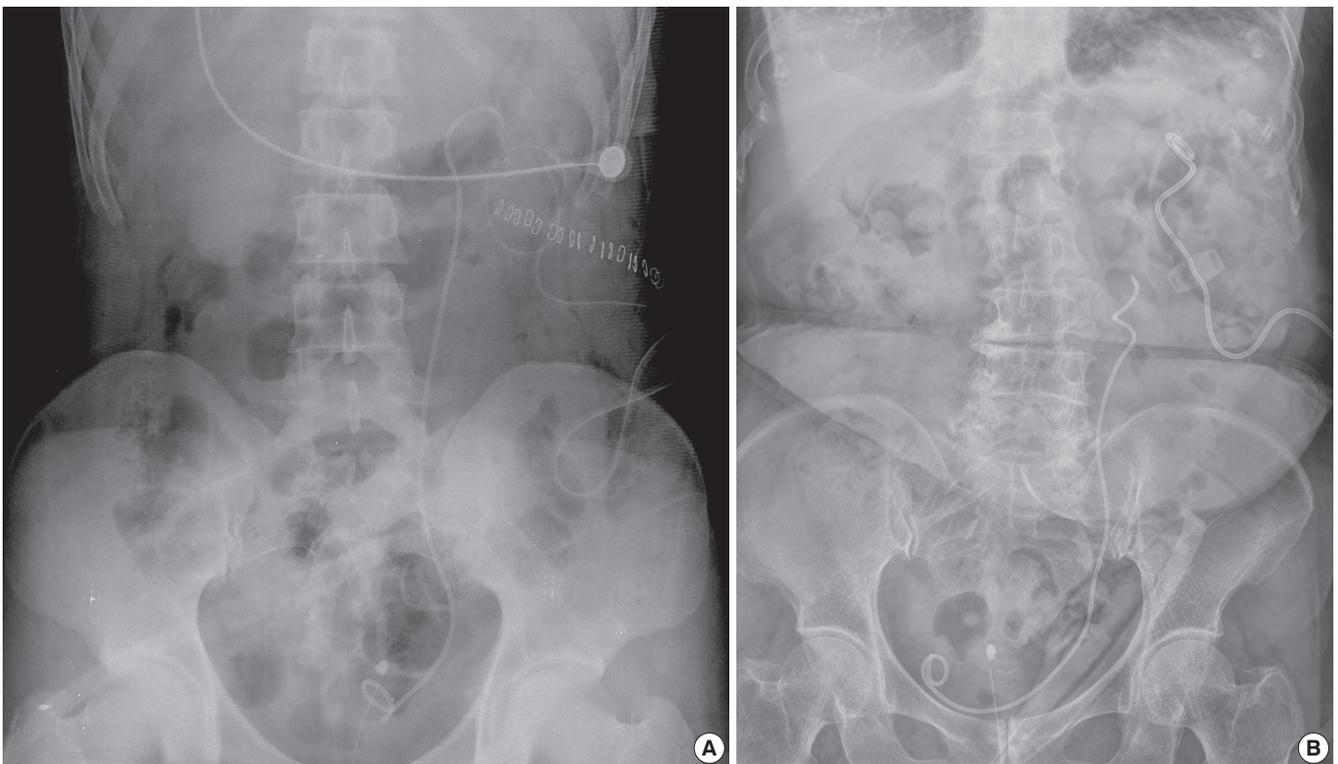


Fig. 3. Malposition of D-J ureteral catheter in the left ureter. (A) The proximal tip of D-J ureteral catheter looks like “fish reeling” which means the typical shape of malposition. (B) The proximal tip of D-J ureteral catheter is in the upper ureter lumen.

모양의 변화를 보고 간접적으로 확인할 수 있다. 위치 이상이 확인된 경우 요종이나 혈종의 발생을 방지하기 위해 위치의 교정이 필요하다(Fig. 3).

3) 스텐트 이동

요관의 연동 운동에 의해서 스텐트가 근위부 혹은 원위부로 이동할 수가 있다. 특히 스텐트의 재질이 친수성인 경우나 마찰력이 적은 경우에 이동하는 경우가 더욱 증가한다(Fig. 4).

4) 외피 형성(encrustation)

정상 요관에 스텐트를 유치하였을 경우에 요의 흐름을 보면 스텐트 밖과 내의 요류의 비율이 6:4이다[17]. 따라서 스텐트 외부나 내강에 생성된 외피로 인한 폐색이 발생하였을 경우에 요류는 감소되더라도 스텐트 내외의 요류가 있기 때문에 완전한 요관의 폐색은 발생하지 않는다. 그러나 내강에 발생한 외피는 완전 요관 폐색을 일으킬 수 있으며, 결국에는 스텐트 부전을 야기하여 신손상을 유발할 수 있다[18]. 외피는 스텐트의 재질과 요의 화학작용으로 발생할 수 있으며, 요로 감염에 의한 감염성이 발생할 수도 있다. 그러므로 외피 형성을 예방하기 위해서는 저하된 요류를 보충하기 위해서 환자가 수분 섭취를 늘리도록 권유하여야 하며, 요로 감염이 동반되었을 경우에 적극적인 치료를 해야 한다.



Fig. 4. Migration of distal tip of the D-J ureteral catheter to the bladder neck.

5) 스텐트 절단

특히 폴리에틸렌 재질로 된 스텐트는 소변과의 화학작용으로 절단되는 현상이 나타났다. 이상적인 요관 스텐트 유치 기간은 8-16주이다[19]. 이 기간 이상 스텐트가 요관 내에 있으면, 요와 요관 상피 세포가 오랜 기간 접촉하게 되고, 화학작용에 의해서 스텐트의 장력, 탄력성과 신축성이 감소하여 스텐트가 끊어지게 된다[20]. 그러나 Kumar 등[21]에 의하면 스텐트 유치 14주 만에 자연적으로 스텐트가 여러 조각으로 절단된 경우도 있었다. 또한, 외피 형성도 스텐트를 절단시키는데 일조한다. 따라서 스텐트 삽입 시 주기적인 방사선학적 관찰이 필요하고, 주기적인 교체가 꼭 필요하다.

6) 요관 미란과 누공 형성

흔하지는 않지만 장기간 스텐트를 요관에 유치 했을 때, 동맥과 누공이 형성되는 경우가 있으며, 가장 끔찍한 합병증이다. 요관의 만성 염증, 섬유화, 광범위한 골반 수술 혹은 골반 내 방사선 치료 병력이 있는 경우 발생할 가능성이 있다. 발생기전은 정확하지는 않으나 압력, 요관 내피세포의 괴사 등에 의한 요관 허혈로 인하여 발생할 것으로 생각한다[22]. 스텐트 삽입 후 지속적인 다량의 육안적 혈뇨가 지속되는 경우에 의심해 볼 수 있다.

7) 장기간 방치된 스텐트

요관 스텐트를 삽입한 후 가능한 한 최단 기간에 제거해주는 것이 최선이고, 장기적인 유치가 필요한 경우에는 주기적인 교체가 필요하다. 그러나 의사의 설명이 부족하거나, 환자의 부주의 혹은 다른 개인적인 이유로 추적관찰이 중단되는 경우에 스텐트가 요관 내에 장기간 방치되는 경우가 있다. 장기간 방치된 경우에는 요로감염, 외피 형성, 절단 및 누공 형성 등의 다양한 부작용을 유발할 수 있으며, 장기간의 방광요관역류로 심각한 신손상이 올 수도 있다. El-Faqih 등에 의하면 폴리우레탄 재질의 스텐트를 사용했을 경우에 유치 기간이 6주 이내이면 합병증 발생률이 9.6%였으나, 6-12주 이면 47.5%로 증가하고, 12주 이상 유치하면 76.3%로 증가하였다고 한다[23]. 환자에게 요관 스텐트를 삽입하는 시술 혹은 수술을 하였다면, 추적관찰이 중단되지 않도록 주의해야 한다.

8) 방광요관역류(vesicoureteral reflux)

요관은 신장에서 생성된 소변을 주기적인 연동운동을 통해서 일정한 속도(0.5 mL/min)로 방광으로 전달하는 역할을 한다[24,25]. 방광에 소변이 충전될 때 또는 배뇨 시에는 방광의 압력이 올라가고, 이때 요관방광접합부가 수축되면서 요 역류가 방지된다. 그러나 스텐트가 요관에 삽입되어 있으면, 요관방광접합부의 완전한 폐쇄가 발생하지 않는다. 이로 인하여 이차적으로 스텐트의 연동 운동이 감소되면서 방광근육의 긴장도가 급격히 감소되고, 결국 요관방광접합부가 늘어나게 된다[8]. 그리고 요관 스텐트의 원위 말

단부가 방광의 삼각부를 자극하여 방광 자극증상을 일으키고, 이때문에 방광의 압력이 올라가게 된다. 결과적으로 스텐트는 방광에서 신장으로 소변의 역류를 발생시키며, 신우신염과 같은 감염의 가능성을 높이고, 신반흔을 남기며 신기능을 저하시키는 연쇄반응을 일으킬 수 있다. 요역류는 방광이 충만할 때는 약하게 발생하나, 배뇨 시에는 방광의 압력이 증가하기 때문에 강하게 발생한다[26]. 요관 스텐트를 삽입한 환자를 대상으로 배뇨 중 방광요도조영술을 시행한 연구결과 대상 환자의 80%에서 배뇨 시 요역류가 발생하였으며, 요관 스텐트를 삽입하고 있는 환자가 배뇨 시에 측복통을 느끼는 원인은 요역류에 의한 것임을 증명한 연구결과가 있다[27]. 요관 스텐트 삽입 후 수신증의 회복이 되지 않는 경우들이 있고 그 중 수신증이 악화되는 경우도 있으며, 일부에서는 기존에 없던 수신증이 발생하기도 한다[28].

Richter 등[29]은 요관 스텐트 삽입 후 대상 환자의 62%에서 수신증이 호전되지 않았으며 9%에서 수신증이 새롭게 발생하였고, 9%에서는 악화되었다고 발표하였고, Tschda 등[30]은 만성폐색이 있었던 요관에 스텐트 삽입 후 44%의 환자에서만 수신증이 호전되었으며 16%에서는 수신증이 악화되었다고 발표하였다.

방광요관역류는 특히 장기적으로 요관 스텐트를 유지해야 하는 환자들에게 신기능에 악영향을 줄 수 있는 중요한 문제가 될 수 있다. 그렇기 때문에 요관 스텐트로 기인한 소변의 방광요관역류가 신장에 손상을 줄 가능성을 줄여야 한다.

4. 항역류 기능을 포함한 요관 스텐트에 대한 연구

신기능을 스텐트의 부작용으로부터 보존하기 위해서 다양한 디자인의 항역류 요관 스텐트에 대한 연구가 지속적으로 발표되었다. Hubner 등[31]이 1993년에 개발한 3가지 종류의 항역류 스텐트로 시행한 동물실험 결과를 보고하였다. 저자들은 판막이 있는 A형 스텐트, 내강이 없는 B형 스텐트, 요관의 원위부가 막혀있고 끝부분에 봉합사가 있는 C형 스텐트를 이용하여 항역류 기능에 대한 연구 결과를 비교하였으며, 기존의 스텐트는 방광 압력의 95%가 신우에 전달된 반면에 항역류 스텐트는 신우의 압력을 15 cmH₂O 이하로 낮게 유지할 수 있었다는 결과를 얻었다. 그러나 A형 스텐트는 가피 형성의 가능성과 인체 내 삽입 시 손상이 올 수 있고, B형 스텐트는 일반적인 스텐트와 유사하게 삽입할 수 있는 형태이며, C형 스텐트는 원위부 폐색이 있는 환자에서는 사용할 수 없으며 삽입 시 봉합사가 방해가 될 수 있기 때문에, 추가적인 임상실험이 필요하다고 결론을 내렸다.

Ecke 등[32]은 D-J 스텐트의 하부에 항역류 판막이 부착되어 있는 요관 스텐트를 이용하여 요역류 및 요역류에 의한 영향에 대하여 133명의 임상 실험을 통해 비교 분석하였다. 그 결과 항역류 판막이 부착되어있는 스텐트를 사용한 환자 군이 요역류로 발생하는 측복통과 방광 불편감이 통계적으로 유의하게 적었다고 발표하였

다. 또한 Lasaponnara 등[33]은 연구를 통해 항역류 스텐트가 거의 대부분의 요역류 위험도를 감소시켰다는 결과를 발표하였다. 그러나 이 항역류 스텐트가 요역류를 방지하는 효과를 증명하였다고는 하지만 원위부에 있는 항역류 판막의 크기가 커서 인체 내 삽입 시 불편감과 자극증상, 불편감이 있을 것으로 생각한다.

Lumiaho 등[3]은 생물분해성 물질 성분이며, 기존 스텐트보다 길이가 짧아서 요관방광접합부에 스텐트의 끝부분이 위치하지 않는 나선형태의 요관 스텐트(self-reinforced polylactic-co-glycolic acid, SR-PLGA)를 제작하여 이 스텐트에 대한 항역류 기능 연구결과를 보고하였다. 실험동물을 개복하여 우측 요관에는 D-J 스텐트를 삽입하고, 좌측 요관에는 SR-PLGA를 삽입하여 4주 후, 8주 후에 양측의 요역류 발생 정도를 비교하였다. 연구 결과 SR-PLGA를 사용한 측에서 중등도 이상의 요역류는 발생하지 않았다고 보고하였다. 생물분해성 물질로 제작한 스텐트는 인체 내 삽입 후 일정 기간이 지난 뒤에 분해가 되어 스텐트의 추가적인 제거가 필요하지 않은 스텐트이다. 그러나 아직까지 완전 분해가 이루어지는 스텐트는 개발되지 않았고, 인체 내 삽입이 어렵다는 단점이 있다. 지금까지 논문으로 발표된 항역류 스텐트들은 여러 가지 단점들을 내포하고 있으며, 현재 임상에서 사용하고 있는 항역류 스텐트는 없는 상태이다. 따라서 사용이 편리하며, 불편함과 부작용이 적은 새로운 항역류 요관 스텐트의 개발이 반드시 필요하다.

5. 항역류 요관 스텐트

필자들은 임상에서 사용되는 기존의 D-J 스텐트의 부작용 중 하나인 방광요관역류를 방지하기 위한 방법으로 D-J 스텐트의 말단에 역류 방지 판막을 결합한 항역류 요관 스텐트를 개발 중이다(Fig. 5). 연구 중인 항역류 요관 스텐트는 압력 차가 양(+)인 경우(신장의 압력-방광의 압력 > 0), 4개의 판(flap)이 스텐트 중심의 바깥쪽으로 벌어지게 되어 요가 방광으로(순방향) 흐르게 된다. 반면에 배뇨 시 혹은 요관 스텐트의 원위 말단부가 방광의 삼각부를 자극하여

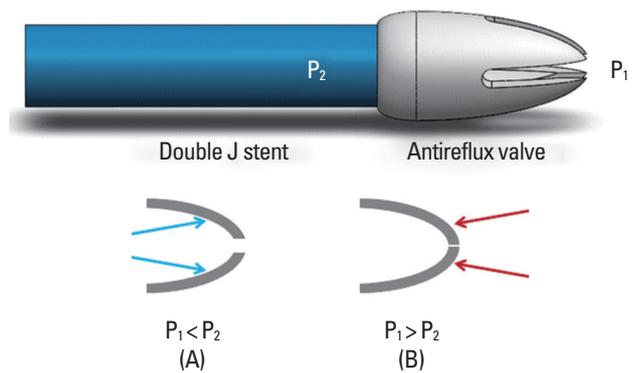


Fig. 5. Schematic design of antireflux valve with 4 flaps: (A) P₁ < P₂ (Open), (B) P₁ > P₂ (Close). *P (Pressure).

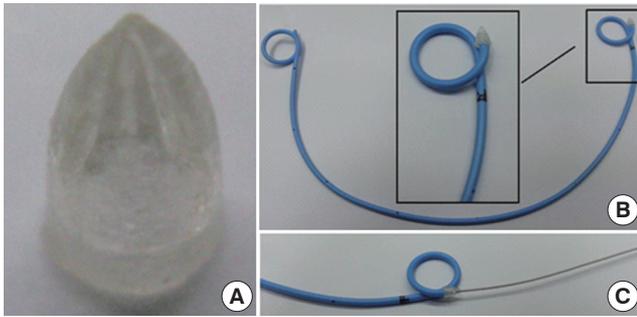


Fig. 6. Photo images of the antireflux stent. (A) Antireflux valve, (B) D-J stent bonded with an antireflux valve, (C) D-J stent connected to guide wire.

방광의 압력이 올라가는 경우(압력 차가 음(-)인 경우), 판막 스텐트의 중심 방향으로 모이게 되어 요를 차단해 주는 역류 방지기능을 수행함으로써 방광요관 역류를 방지할 수 있다.

또한 항역류 요관 스텐트의 판막은 유선형의 형태를 가지고 있으므로 방광 내벽에 자극을 최소화 시킬 수 있으며, 판막의 중심부는 유도철선이 통과하기 위한 관통부가 구비되어 있어서 기존에 사용되었던 유도철선(guide wire)을 사용하여 스텐트를 요관 내 삽입 및 제거하기가 용이하다는 장점을 가지고 있다(Fig. 6). 판막은 3-D printer를 이용하여 polymer (Tango Plus)로 쉽게 제작이 가능하며, 생체적합성을 향상시키기 위해 제작된 판막의 표면에 생체적합성 polymer (parylene: FDA 승인)을 도장하였고 판막은 생체적합성 접착제를 사용하여 D-J 스텐트와 부착하였다.

결론

D-J 스텐트는 1978년 Finney가 고안하여 발명한 이후로 요관의 폐색이 있는 경우 원활한 요 배출을 위해 전 세계적으로 널리 사용되고 있다. D-J 스텐트의 적응증은 점차 확대되고 있고, 각각의 필요성 및 적용의 경우에 맞추어 재질의 종류도 다양화되고 있다. 그러나 D-J 스텐트는 환자와 비뇨기과 의사에게 매우 유용한 도구임에는 틀림없으나 여러 가지의 부작용을 일으킬 수 있으며, 심각한 부작용 중 하나인 방광요관역류는 아직 이에 대한 해결방안이 개발되지 않은 상태이다. 필자들이 현재 연구 중에 있는 항역류 요관 스텐트는 D-J 스텐트의 말단에 역류 방지 판막을 결합한 형태이다. 이 역류 방지 판막은 방광과 요관의 압력 차에 의해서 유기적으로 작동하기 때문에, 가장 이상적으로 방광요관역류를 감소시킬 수 있을 것으로 생각하며, 추가적인 연구가 더 필요한 상태이다.

REFERENCES

1. Zimskind PD, Fetter TR, Wilkerson JL. Clinical use of long-term indwell-

- ing silicone rubber ureteral splints inserted cystoscopically. *J Urol* 1967; 97:840-4.
- Finney RP. Experience with new double J ureteral catheter stent. *J Urol* 1978;120:678-81.
- Lumiaho J, Heino A, Aaltomaa S, Valimaa T, Talja M. A short biodegradable helical spiral ureteric stent provides better antireflux and drainage properties than a double-J stent. *Scand J Urol Nephrol* 2011;45:129-33.
- Dyer RB, Chen MY, Zagoria RJ, Regan JD, Hood CG, Kavanagh PV. Complications of ureteral stent placement. *Radiographics* 2002;22:1005-22.
- Damiano R, Oliva A, Esposito C, De Sio M, Autorino R, D'Armiento M. Early and late complications of double pigtail ureteral stent. *Urol Int* 2002; 69:136-40.
- Joshi HB, Okeke A, Newns N, Keeley FX, Jr, Timoney AG. Characterization of urinary symptoms in patients with ureteral stents. *Urology* 2002; 59:511-6.
- Moon KT, Cho HJ, Cho JM, Kang JY, Yoo TK, Moon HS, et al. Comparison of an Indwelling Period Following Ureteroscopic Removal of Stones between Double-J Stents and Open-Ended Catheters: A Prospective, Pilot, Randomized, Multicenter Study. *Korean J Urol* 2011;52:698-702.
- Cummings LJ, Waters SL, Wattis JA, Graham SJ. The effect of ureteric stents on urine flow: reflux. *J Math Biol* 2004;49:56-82.
- Al-Aown A, Kyriazis I, Kallidonis P, Kraniotis P, Rigopoulos C, Karnabatidis D, et al. Ureteral stents: new ideas, new designs. *Ther Adv Urol* 2010; 2:85-92.
- Venkatesan N, Shroff S, Jayachandran K, Doble M. Polymers as ureteral stents. *J Endourol* 2010;24:191-8.
- Pedro RN, Hendlin K, Kriedberg C, Monga M. Wire-based ureteral stents: impact on tensile strength and compression. *Urology* 2007;70:1057-9.
- Liatsikos E, Kallidonis P, Stolzenburg JU, Karnabatidis D. Ureteral stents: past, present and future. *Expert Rev Med Devices* 2009;6:313-24.
- Pollard SG, Macfarlane R. Symptoms arising from Double-J ureteral stents. *J Urol* 1988;139:37-8.
- Lennon GM, Thornhill JA, Sweeney PA, Grainger R, McDermott TE, Butler MR. 'Firm' versus 'soft' double pigtail ureteric stents: a randomised blind comparative trial. *Eur Urol* 1995;28:1-5.
- Chua ME, Morales ML, Jr. Spontaneous fracture of indwelling polyurethane ureteral stents: A case series and review of literature. *Can Urol Assoc J* 2012;6:386-92.
- Slaton JW, Kropp KA. Proximal ureteral stent migration: an avoidable complication? *J Urol* 1996;155:58-61.
- Singh I, Gupta NP, Hemal AK, Aron M, Seth A, Dogra PN. Severely encrusted polyurethane ureteral stents: management and analysis of potential risk factors. *Urology* 2001;58:526-31.
- Robert M, Boularan AM, El Sandid M, Grasset D. Double-J ureteric stent encrustations: clinical study on crystal formation on polyurethane stents. *Urol Int* 1997;58:100-4.
- Somers WJ. Management of forgotten or retained indwelling ureteral stents. *Urology* 1996;47:431-5.
- Arshad M, Shah SS, Abbasi MH. Applications and complications of polyurethane stenting in urology. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 2006;18:69-72.
- Kumar M, Aron M, Agarwal AK, Gupta NP. Stenturia: An unusual manifestation of spontaneous ureteral stent fragmentation. *Urol Int* 1999;62: 114-6.
- Bergqvist D, Parsson H, Sherif A. Arterio-ureteral fistula--a systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2001;22:191-6.
- el-Faqih SR, Shamsuddin AB, Chakrabarti A, Atassi R, Kardar AH, Osman MK, et al. Polyurethane internal ureteral stents in treatment of stone patients: morbidity related to indwelling times. *J Urol* 1991;146:1487-91.

24. Griffiths DJ. Dynamics of the upper urinary tract: I. Peristaltic flow through a distensible tube of limited length. *Phys Med Biol* 1987;32:813-22.
25. Griffiths DJ, Constantinou CE, Mortensen J, Djurhuus JC. Dynamics of the upper urinary tract: II. The effect of variations of peristaltic frequency and bladder pressure on pyeloureteral pressure/flow relations. *Phys Med Biol* 1987;32:823-33.
26. Mosli HA, Farsi HM, al-Zimaity MF, Saleh TR, al-Zamzami MM. Vesicoureteral reflux in patients with double pigtail stents. *J Urol* 1991;146:966-9.
27. Irani J, Siquier J, Pires C, Lefebvre O, Dore B, Aubert J. Symptom characteristics and the development of tolerance with time in patients with indwelling double-pigtail ureteric stents. *BJU Int* 1999;84:276-9.
28. Maheshwari PN, Andankar MG, Khera R, Stone RG. The indwelling ureteric stent: a 'friendly' procedure with unfriendly high morbidity. *BJU Int* 2000;86:757-8.
29. Richter S, Ringel A, Shalev M, Nissenkorn I. The indwelling ureteric stent: a 'friendly' procedure with unfriendly high morbidity. *BJU Int* 2000;85:408-11.
30. Tschada R, Mickisch G, Rassweiler J, Knebel L, Alken P. [Success and failure with double J ureteral stent. Analysis of 107 cases]. *J Urol (Paris)* 1991;97:93-7.
31. Hubner WA, Plas EG, Trigo-Rocha F, Tanagho EA. Drainage and reflux characteristics of antireflux ureteral double-J stents. *J Endourol* 1993;7:497-9.
32. Ecke TH, Bartel P, Hallmann S, Ruttloff J. Evaluation of symptoms and patients' comfort for JJ-ureteral stents with and without antireflux-membrane valve. *Urology* 2010;75:212-6.
33. Lasaponara F, Catti M, Morabito F, Volpe A, Manassero F, Ferrando U. Use of small calibre JJ ureteral stent with anti-reflux valve in uretero-vesical anastomosis during renal transplantation. *Minerva Urol Nefrol* 2000;52:195-9.