

# Frequency-Doubled Double-Pulse Nd:YAG (FREDDY) Laser를 이용한 요관경하배석술의 초기 임상경험

## Frequency-Doubled Double-Pulse Nd:YAG (FREDDY) Laser for the Treatment of Ureteral Stone: Initial Experience

Sung Soo Kim, Cheol Young Oh, Hyung Joon Kim, Seung Hwan Lee, Jae Seok Lee<sup>1</sup>, Byung Ha Chung

From the Department of Urology, Urological Science Institute, Yonsei University College of Medicine, <sup>1</sup>Mizmedi Hospital, Seoul, Korea

**Purpose:** We assessed the effectiveness, safety and accessibility of performing FREDDY laser lithotripsy for managing urinary tract calculi.

**Materials and Methods:** From January 1999 to May 2005, 173 consecutive patients underwent endoscopic lithotripsy with FREDDY laser lithotripsy. The numbers of patients, according to stone location, were 18 patients for the upper ureter, 11 for the mid ureter and 144 for the lower ureter. Patients were treated with a rigid endoscope on a day surgery basis. Patients were assessed 6 to 12 weeks postoperatively with KUB and ultrasound or excretory urography for determining the late obstructive complications.

**Results:** The mean stone size and mean operation time were 7.8mm and 36.6 minutes, respectively. The overall stone-free rates were 98.9%. The stone-free rates according to stone location were 100% in the upper ureter, 100% in the mid ureter and 98.6% in the lower ureter. There were no post-operative complications. Interestingly, there were no significant differences in the operation times and stone-free rates between the urologic specialists (36.7 min and 100%, respectively) and the training residents (37.1 min and 98.6%, respectively).

**Conclusions:** FREDDY laser lithotripsy is a highly effective and safe modality for the treatment of ureteral stone. In addition, FREDDY laser lithotripsy is very feasible for training residents. (*Korean J Urol* 2006;47: 502-506)

**Key Words:** Ureterscopy, Lithotripsy, Lasers, Urinary stone

대한비뇨기과학회지  
제 47 권 제 5 호 2006

연세대학교 의과대학  
비뇨기과학교실, 비뇨의과학연구소,  
<sup>1</sup>미즈메디병원 비뇨기과

김성수 · 오철영 · 김형준  
이승환 · 이재석<sup>1</sup> · 정병하

접수일자 : 2005년 10월 12일  
채택일자 : 2005년 12월 12일

교신저자: 정병하  
영동세브란스병원 비뇨기과  
서울시 강남구 도곡동 146-92  
☎ 135-720  
TEL: 02-2019-3470  
FAX: 02-3462-8887  
E-Mail: chung646@yumc.  
yonsei.ac.kr

### 서 론

1980년대 이후 내시경의 구경이 작아지고 진단 및 치료 목적으로 요관경의 사용이 활발해졌으며, 특히 요관경하에서 요관석을 제거할 수 있는 여러 가지 쇄석기들이 개발되면서 안전하고 효율성 높은 쇄석기에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 이러한 노력의 일환으로 요로결석 치료에 레이저를 도입하게 되었다. 1968년 Mulvaney와 Beck<sup>1</sup>가 ruby 레이저를 이용한 쇄석술을 최초로 시도하였으나 고열로 인한 주위 조직의 손상이 심한 문제점이 있었고, 그 후 1980년

대 후반에 레이저 쇄석술의 이러한 단점을 보완한 pulsed-dye 레이저가 소개되었으나 장비가 고가이고 유지비가 많이 들며, 특정 성분의 결석에 분쇄 효과가 적은 단점이 있었다.<sup>2,5</sup> 또한 Holmium:YAG 레이저는 광열 (photothermal) 효과로 요석을 기화시킴으로써 요석의 성분에 관계없이 분쇄 효과가 있고, 종양수술과 연부조직의 절개 등 다양한 분야에 이용될 수 있다는 장점이 있으나 역시 부주의한 사용시에 요관의 열손상을 일으킬 수 있다는 단점이 있었다.<sup>6,8</sup>

FREDDY 레이저는 1993년에 개발된 1,064nm와 532nm 주파수의 에너지를 동시에 방출할 수 있는 마이크로초 단위의 단파로 구성된 고체 상태의 레이저로, 장점으로

pulsed-dye 레이저와 마찬가지로 최고 수준의 에너지에서도 주위 조직으로의 에너지 흡수가 적어 주위 조직에 열손상 없이 요석을 효과적으로 분쇄할 수 있다.<sup>9,10</sup> 저자들은 이러한 장점을 지닌 FREDDY 레이저를 이용하여 요관경하배석술을 시행 받은 환자들을 대상으로 FREDDY 레이저의 유용성과 안정성을 조사해 보았다.

재료 및 방법

2003년 11월부터 2005년 5월까지 본원에서 단일 요관결석으로 전신 마취하에 FREDDY 레이저를 이용한 요관경하배석술을 시행 받은 환자 중에서 술 후 방사선학적 검사 및 최소한 1개월 이상의 추적 관찰이 가능하였던 173명의 환자를 대상으로 후향적 연구를 시행하였다. FREDDY 레이저 환자의 연령은 19세부터 84세까지로 평균 44.9세였으며, 남자가 103명 (59.5%), 여자가 70명 (40.5%)이었다.

요관석의 위치는 상부요관석은 신우요관이행부에서 천골장골 접합부 상연까지 있는 경우로, 중부요관석은 천골장골 접합부 상·하연 사이에 있는 경우로, 하부요관석은 천골장골 접합부 하연 아래에 있는 경우로 정의하였다. 요석의 크기는 방사선학적 검사에서 측정된 최대 장경으로 정의하였다. 술 전에 단순방사선촬영, 배설성요료조영술이나 전산화단층촬영을 시행하여 요석의 정확한 위치와 크기를 파악하였고, 필요 시 초음파검사를 통해 수신증 유무를 파악하였다. 이상의 검사로 진단이 확실치 않았던 중부요관석 5례와 하부요관석 2례에 대하여 역행성요료조영술을 시행하였다. 대상 환자 중 요석이 5mm 미만인 경우 6주 이상의 기대요법으로 결석이 자연 배출되지 않았거나, 환자가 빠른 치료를 원할 경우 및 잦은 동통으로 지속적인 진통제 투여가 필요하거나 발열 등의 합병증이 병발한 경우에 요관경하 배석술을 시행하였다.

전신 마취 혹은 척수 마취하에서 쇄석위로 수술을 시행하였고, 8Fr 경성 요관경을 이용하였다. 요관구가 좁아서 요관경이 진입하기 힘든 경우에 유도철사 (guide wire)를 유치한 후에 풍선확장술 (balloon dilation)을 시행하였다. FREDDY 레이저 쇄석기 (World of Medicine, Berlin, Germany)는 파의 에너지는 120mJ, 파의 지속시간은 1.2μsec, 진동수는 5 Hz로 설정하였고, Laser 전달 매체로는 280μm quartz laser fiber를 이용하였다. 쇄석 후 남은 잔석은 요관검자나 basket을 이용하여 제거하였으며, 다량의 잔석이 남은 경우, 요관구에 풍선확장술을 시행한 경우 및 요관의 부종이나 손상이 의심되는 경우 등에는 요관부목을 유치하였다. 술 후 성공여부는 수술시야에서 stone basket이나 stone forceps 등으로 요석이 완전히 제거되거나, 시술 직후 또는 술 후 1일째

단순방사선촬영에서 잔석이 없으며, 술 후 6-12주째의 추적 관찰에서 잔석의 증거가 없는 경우를 수술성공으로 판정하였다. 술 후 추적관찰은 주로 단순방사선촬영으로 하였고, 술 후 측복부동통이 있었던 경우에는 배설성요료조영술을 시행하여 합병증 발생 및 요석재발유무를 확인하였다.

FREDDY 레이저 쇄석기의 치료 성적을 분석하기 위해 수술 성공률 및 수술 시간, 합병증, 요관부목의 유치 여부, 술 후 재원기간, 평균 요관부목 유치기간 등을 조사하였다. 또한 FREDDY 레이저 쇄석기의 접근용이도 (accessibility)를 알아보기 위하여 10년 이상 요관경하 배석술의 경험이 있는 숙련의 (BYC)와 비숙련된 전공의 간의 자료를 분석하였다.

통계분석은 SPSS (Ver 12.0)을 사용하였고, Student's t-test (paired)와 chi-square test를 시행하여 p값이 0.05 미만일 때 통계학적으로 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

요관석의 평균 크기는 7.8mm (4-15)였고, 결석의 위치는 우측이 80례 (46.2%), 좌측이 93례 (53.8%)였다 (Table 1). 요관석의 위치에 따라 상부 요관결석이 18례, 중부 요관결석이 11례 및 하부 요관결석이 144례였다. 전체 요관석의 제거율은 98.8%였고, 요석의 위치에 따라 상부, 중부, 하부요관에서 각각 100%, 100% 및 98.6%였고 요석의 위치에 따른 차이는 없었다 (p>0.05).

평균 수술시간은 36.8±19.8분이었고, 요석의 위치별로는 상부, 중부, 하부요관 순으로 44.4분, 53.2분, 34.6분으로 상부나 중부요관이 하부요관에 비해 수술시간이 길었다 (Table 2). 결석의 크기가 클수록 수술시간이 의미 있게 증가하였으나 (p<0.001), 결석의 크기와 성공률 사이에는 통계적 유의성은 없었다 (p>0.05).

수술 후 평균 재원기간은 1.2일 (0-8)이었고, 환자들의 84.9% (147/173)가 술 후 1일째 퇴원했다. 수술 당일 퇴원한 경우가 1례에서 있었고, 술 후 재원기간이 4일 이상 길어진

Table 1. Patients' characteristics

No. of patients	173
Male:Female	103:70
Mean age (yrs)	44.9 (19-84)
Mean stone size (mm)	7.8 (4-15)
Overall stone free rate (%)	98.8
Mean operation time (min)	36.8 (5-105)
Mean hospitalization (days)	1.2 (0-8)

2례는 잔석에 대해서 체외충격파쇄석술을 시행한 경우였다.

술 후 합병증이 발생한 경우는 없었으며, 술 후 요관부목 설치는 111례 (64.2%)에서 시행되었다. 요석의 위치와 요관 부목의 설치 유무는 통계적 유의성은 없었다. 숙련의 관찰 하에 비숙련의에 의해 전체 173례 중 138례 (79.8%)가 시행되었다. 시술자의 숙련도에 따른 수술시간과 결석 제거율은 유의한 차이가 없었다 (Table 3).

**Table 2.** Results according to the stone location

	Upper ureter (n=18)	Mid ureter (n=11)	Lower ureter (n=144)	p-value
Stone size (mm)	8.39	10.36	7.47	<0.001
Stone free rate (%)	100 (18/18)	100 (11/11)	98.6 (142/144)	0.818
Operation time (min)	44.44	53.18	34.58	0.002
Rate of stent indwelling (%)	67 (12/18)	91 (10/11)	62 (89/144)	0.150

**Table 3.** Comparison of results according to the operator

	Urologic specialists (n=35)	Training residents (n=138)	p-value
Mean operation time (min)	36.7±19.9	37.1±19.4	0.830
Immediate stone free rate (%)	100 (35/35)	98.6 (136/138)	0.475

**Table 4.** Comparison of results with the results of other laser lithotripsy

	Jeon <i>et al</i> <sup>14</sup>	Lee <i>et al</i> <sup>12</sup>	Jeon <i>et al</i> <sup>15</sup>	This study
Kind of laser	Holmium:YAG	Holmium:YAG	Holmium:YAG	Nd:YAG
No. of patients	25	111	137	173
Mean stone size±SD (mm)	9.2±2.4	11.2	7.3	7.8±2.4
Stone free rate				
According to stone location				
Proximal (%)	2 (unknown)	11 (90.9)	24 (96)	18 (100)
Middle (%)	1 (unknown)	22 (100)	20 (95)	11 (100)
Lower (%)	22 (unknown)	83 (97.6)	93 (99)	144 (98.6)
Overall stone free rate (%)	96.0	97.4	98.0	98.8
Mean Op. † time±SD (min)	49.8±26.4	50.8	78.3*	36.8±19.8
Complication rate (%)	0	1 (0.9)	3 (2.1)	0

\*include anesthesia time, † Op.: operation.

고찰

요관석의 치료법은 결석의 크기나 위치, 성분에 따라 달라질 수 있다. 본원에서는 요관석의 1차적 치료법으로 환자들에게 체외충격파쇄석술을 권장하고 있다. 그러나 체외충격파쇄석술로 치료에 실패한 경우, 급성·재발성 동통으로 사회생활에 곤란을 느낀 환자들이나 방사선 투과성 결석을 가진 환자들에서 빠른 치료를 원하는 경우, 급성 요폐색이 있는 경우에는 입원하여 요관경하배석술을 시행하였다. FREDDY 레이저는 1993년에 개발되어 주로 담석과 요관석을 제거하는 용도로 이용되었으며 본원에서는 2003년도부터 도입되어 요관경하배석술에 이용되고 있다.

FREDDY 레이저는 1,064nm와 532nm 주파수의 에너지를 동시에 방출할 수 있는 고체 상태의 레이저이다. 방출되는 파의 길이는 길이는 1에서 1.4μsec에 이른다. 주파수의 증폭은 공명기 (resonator) 내에 있는 KTP 결정체 (crystal)를 통해 일어나게 되어 있다. 즉, KTP 결정체에 의해 광 에너지의 20% 가량이 주파수 증폭이 되어 결과적으로 532nm의 파장을 갖는 녹색광을 방출시키게 된다. 이러한 특성을 갖는 FREDDY 레이저가 요석을 분쇄하는 데는 크게 2가지 과정을 거치게 된다. 먼저, 요석과 직접 접촉하고 있거나 아주 근접한 상태의 레이저 fiber를 통해 요석의 표면에 532nm의 녹색광이 흡수되면 플라즈마 상태가 야기된다. 이어서 이 플라즈마에 1,064nm의 파장을 갖는 적외선 에너지가 도달하면, 플라즈마는 신속하고 격렬히 팽창 후 붕괴하게 되고 이때 생긴 물리적 에너지가 요석에 전달되어 분쇄가 일어나게 된다. 즉, 첫 번째 단계에서 주파수가 증폭된 532nm 파장의 에너지가 방출됨으로써 요석에서 더 많은 에너지의

흡수가 일어나게 되고 결과적으로 분쇄 성능이 높아지는 것이다.

또한 기존의 Holmium:YAG 레이저에서 문제가 되는 열 손상 효과가 전혀 없는 것도 큰 장점이다. FREDDY 레이저의 안정성에 대한 의미 있는 두 가지 연구가 발표된 바 있었다. Zörcher 등<sup>10</sup>은 쥐의 방광 벽에 레이저광을 조사한 실험에서 2000 pulse (90mJ per pulse)의 레이저 에너지에서도 요상피나 고유판 (lamina propria)에 미미한 영향만 있을 뿐, 고유판을 넘어서는 깊은 손상이나 천공은 일어나지 않았다고 보고하였다. 또한 Bazo 등<sup>11</sup>은 방광절제술을 시행 받은 환자의 요관을 이용한 실험에서 300 pulse (120mJ per pulse)의 레이저 에너지를 가했을 때 구조적인 손상이나 천공은 없었다고 보고하였다. 대부분의 요석들에서 FREDDY 레이저의 파장이 선택적으로 잘 흡수되나, 주위 조직들은 미미한 정도로 흡수가 일어나므로 주위 조직의 손상이 적은 것으로 생각된다.

FREDDY 레이저 쇄석기의 치료성적은 널리 사용되고 있는 Holmium:YAG 레이저 쇄석기와 비교하여 요석제거율은 비슷하나 수술 시간이 비교적 짧은 것으로 나타났다 (Table 4). 요관경하배석술 시 요관 내 용종이나 요관의 만곡 등의 해부학적인 차이가 요석제거율에 영향을 미치므로 단순히 요석제거율로써 쇄석 효과를 비교하기는 힘들다. 그러나 FREDDY 레이저 쇄석기의 경우 Holmium:YAG 레이저 쇄석기에 비해 주위 조직 손상이 거의 없기 때문에 점막 손상에 의한 출혈이 없어 시야가 좋은 장점이 있고, 이로 인해 수술시간이 짧아지고, 요석의 위치에 관계없이 높은 쇄석률을 보인 것으로 생각한다. 또한 다른 연구에 비해 비교적 결석의 크기가 작고, 결석의 위치가 대부분 하부요관에 위치한 것 또한 본 연구결과에 영향을 미친 것으로 생각한다.

본 연구에서는 실패한 2례의 원인으로, 1례에서는 결석의 매복으로 인해 요관경의 접근이 불가능한 경우였고, 1례에서는 레이저 쇄석기로 충분히 파쇄가 되지 않아 체외충격파 쇄석술이 필요하였는데, 비교적 요석의 크기가 작았고 레이저 쇄석기로 충격을 가한 직후여서 체외충격파 쇄석술로 다행히 쉽게 결석이 제거되었다. 제거된 결석의 성분은 시스틴석이었는데, 시스틴석이 완전 분쇄되지 않았던 원인으로서는 분쇄 기전이 유사한 기존의 pulsed-dye 레이저 쇄석기와 마찬가지로, 시스틴석은 532nm나 1064nm의 파장을 흡수하지 않기 때문이라고 생각한다.<sup>24</sup> 그러나 기존의 pulsed-dye 레이저보다 분쇄 효율이 향상된 것은 FREDDY 레이저에서는 2개의 다른 파장을 가진 에너지가 방출되기 때문일 것으로 생각된다. Lee 등<sup>12</sup>과 Sofer 등<sup>13</sup>은 Holmium:YAG 레이저 쇄석기를 이용한 요관경하배석술에서 실패한 례의 대부분이 요석의 상부 이동 때문이라 보고하였다. 본 연구에서는 요석의 이동

에 의해서 실패한 경우는 없었으며, 이는 FREDDY 레이저 쇄석기의 경우 요관에 대해 열손상이 없고 따라서 주위 조직 손상으로 인해 시야가 흐려지는 경구가 적으나, Holmium:YAG 레이저 쇄석기의 경우 열손상을 방지하기 위해서나 또 요관손상에 따른 출혈 등으로 인해 시야가 안 좋을 중에 관류액을 보다 많이 통과시키기 때문일 것으로 생각한다.

본 연구의 한계점으로 본원에서 이전에 다른 기종의 레이저 쇄석기 사용 경험이 없어 레이저 쇄석기 간의 치료성적을 비교하거나, FREDDY 레이저 쇄석기가 다른 레이저보다 치료성적이 우수한지 여부를 객관적으로 비교할 수가 없었다는 점을 들 수 있다. 기존의 다른 연구에서도 레이저 쇄석기 기종 간의 치료성적을 비교한 경우는 없고, 다만 전기수압쇄석기 (electrohydraulic lithotripsy)나 체외충격파쇄석기 등 기존의 쇄석기와 비교하여 레이저 쇄석기의 효율성과 안전성을 밝힌 연구는 비교적 많이 있다.<sup>14,16,17</sup> 따라서 본 연구에서는 FREDDY 레이저 쇄석기의 효율성과 안전성에 대해 숙련된 전문의와 비숙련자인 전공의 간의 결과를 비교하는데 초점을 두었다. 숙련의나 비숙련의에 의해 시행된 FREDDY 레이저 쇄석기를 이용한 요관경하배석술에서 두 군 간에 치료성적의 차이가 없었고 두 군 모두에서 레이저 쇄석기로 인한 요관천공이나 요관협착 등의 요관손상이 발생한 경우는 없어 FREDDY 레이저는 요관석의 분쇄에 있어서 안전하고 효과적이면서 비숙련자인 전공의도 쉽게 사용할 수 있는 것으로 생각한다.

## 결 론

FREDDY 레이저를 이용하여 요관경하배석술시 주위조직 손상이 적어 수술 시야가 좋아 요관석의 위치와 크기에 상관없이 신속하고 효과적으로 요관석을 분쇄할 수 있었다. 또한 비숙련의가 사용하여도 성공률이 높고 합병증이 거의 없어, 요관석 제거에 쉽고 안전한 방법이라 하겠다.

## REFERENCES

- Mulvaney WP, Beck CW. The laser beam in urology. J Urol 1968;99:112-5
- Zerbib M, Flam T, Belas M, Debre B, Steg A. Clinical experience with a new pulsed dye laser for ureteral stone lithotripsy. J Clin Laser Med Surg 1990;8:31-3
- Dretler SP. An evaluation of ureteral laser lithotripsy: 225 consecutive patients. J Urol 1990;143:267-72
- Gautier JR, Leandri P, Rossignol G, Caissel J, Quintens H. Pulsed dye laser in the treatment of 325 calculi of the urinary tract. Eur Urol 1990;18:6-9

5. Santa-Cruz RW, Leveillee RJ, Krongrad A. Ex vivo comparison of four lithotripters commonly used in the ureter: what dose it take to perforate? *J Endourol* 1998;12:417-22
  6. McIver BD, Griffin KP, Harris JM, Teichman JM. Cystoscopic holmium lithotripsy of large bladder calculi. *Tech Urol* 1996; 2:65-7
  7. Grasso M. Experience with the holmium laser as an endoscopic lithotrite. *Urology* 1996;48:199-206
  8. Vassar GJ, Chan KF, Teichman JM, Glickman RD, Weintraub ST, Pfefer TJ, et al. Holmium:YAG lithotripsy: photothermal mechanism. *J Endourol* 1999;13:181-90
  9. Delvecchino FC, Auge BK, Brizuela RM, Weizer AZ, Zhong P, Preminger GM. In vitro analysis of stone fragmentation ability of the FREDDY laser. *J Endourol* 2003;17:177-9
  10. Zörcher T, Hochberger J, Schrott KM, Kuhn R, Schafhauser W. In vitro study concerning the efficiency of the frequency-doubled double-pulse Neodymium:YAG laser (FREDDY) for lithotripsy of calculi in the urinary tract. *Lasers Surg Med* 1999;25:38-42
  11. Bazo A, Chow WM, Coombs D, Barnes G. Freddy will crack it for you: a new device for urinary calculi lithotripsy. *BAUS conference proceedings, Section of endourology, Sheffield, UK* 2001
  12. Lee JH, Lee SI, Jeong TY. Clinical experience of holmium: YAG laser in ureteroscopic removal of ureteral calculi. *Korean J Urol* 2004;45:915-8
  13. Sofer M, Watterson JD, Wollin TA, Nott L, Razvi H, Denstedt JD. Holmium:YAG laser lithotripsy for upper urinary tract calculi in 598 patients. *J Urol* 2002;167:31-4
  14. Jeon SS, Hyun JH, Lee KS. A comparison of holmium:YAG laser with Lithoclast lithotripsy in ureteral calculi fragmentation. *Int J Urol* 2005;12:544-7
  15. Jeon JS, Lee KC, Cho IR. Ureteroscopic lithotripsy with the holmium:YAG laser. *Korean J Urol* 2004;45:1269-71
  16. Cho CH, Kim KK. Comparison of shock wave lithotripsy and ureteroscopic laser lithotripsy in the treatment of lower urinary tract stones. *Korean J Urol* 1999;40:143-6
  17. Wu CF, Chen CS, Lin WY, Shee JJ, Lin CL, Chen Y, et al. Therapeutic options for proximal ureter stone: extracorporeal shock wave lithotripsy versus semirigid ureterorenoscope with holmium:YAG laser lithotripsy. *Urology* 2005;65:1075-9
-