

# 비뇨기과에 사용되는 상용 Holmium YAG laser 에 의한 수온 상승

권오빈<sup>1</sup>, 최민주<sup>1\*</sup>

제주대학교 의공학협동과정<sup>1</sup>, 제주대학교 의학전문대학원 의학과\*

## Temperature rise in water by a holmium YAG laser used for urological application

Ohbin Kwon<sup>1</sup>, Min joo Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Interdisciplinary Postgraduate Programme in Biomedical Engineering, Jeju National University, Republic of Korea

\*Department of Medicine, School of medicine, Jeju National University, Jeju, Republic of Korea

\*mjchoi@jejunu.ac.kr

### Abstract

Holmium YAG laser의 지혈 효과를 파악하기 위한 방법으로 캐비테이션 기포 및 수중에서 온도 상승을 관찰하였다. 2 J 출력 설정에서 성장하는 캐비테이션은 최대 직경 8.11 mm까지 성장 후, 붕괴한다. 본 연구 결과 레이저 팁 끝 3 mm 거리부터 60 °C 이상 온도 상승이 나타났다. 지혈 효과 최적화 근거 자료로 활용될 수 있으며, 추후 온도 가시화 연구가 필요하다.

### 1. 연구 배경

전립선 비대증은 60대 이상 성인 남성에게 흔하게 나타나는 질환으로 시술기법으로 Transurethral Resection of the Prostate (TURP) [1], KTP레이저 [2], Holmium laser enucleation of prostate (HoLEP) [3]이 있다. 그 중 Holmium laser enucleation of prostate (HoLEP)은 경요도전립선절제술, KTR 등 기화 레이저, 개복수술 등 치료법의 장점만 취한 수술법으로 절개상처나 수혈이 필요 없고 조직을 태우지 않아 완전제거가 가능하다. 또한 비대증 크기와 관계없이 적용이 가능하고 후유증이 적어 회복이 빠르다.

HoLEP의 수술 기전은 Laser-induced cavitation(LIC)으로 thermal effect와 cavitation으로 인한 mechanical effect를 모두 가지고 있다. Holmium Laser가 물에 인가되면 일종의 heated gas bubble을 만들어, 물을 밀어내며 대류를 만든다[4]. 이후 생성된 bubble이 collapse하여 관성으로 1차 2차 이상 충격파를 만든다[4].

수술의 기전을 이해하고 최적화 하기 위해서는 수주 레이저의 thermoacoustic effect에 대한 체계적이고 심도 있는 연구가 요구된다. 기포에 대한 가시화는 되어 있으나[4], 온도 및 압력파에 대한 정보 결핍되어 있다.

본 연구에서는 반응 속도가 빠른 직경이 작은 온도 센서를 이용한 방법을 통해 상용 Holmium YAG laser 장비에서의 Laser-induced cavitation를 관찰하고, 임상적으로 사용하는 설정에서 거리에 따른 온도 상승 효과를 관찰하고자 한다.

### 2. 연구 방법

Holmium YAG laser (Holinwon prima, Wontech co., Ltd, Republic of Korea) 로 발생하는 캐비테이션 기포를 High speed camera (V642, vision research Inc, USA) 와 Lens (24-85mm, Nikon, Japan) 를 이용하여, 50,000FPS (해상도 80x108 pixels) 속도 촬영하였다. 선명한 영상을 얻기 위해 카메라 빛 노출 시간은 1 $\mu$ s으로 고정하였다. 동시에 레이저 팁 끝으로부터 거리에 따라 온도 상승을 측정하기 위해 E type Thermocouple(5TC-TT-E-36-36, Omega, USA) 을 설치하였다. Thermocouple의 지름은 0.13 mm이며, 수중측정이 가능하도록 단열제 Perfluoroalkoxy(PFA)로 코팅되었다. 온도 측정 범위는 0~1000 °C 이다. 측정 신호는 오실로스코프 (HDO6104A, LeCroy, USA)로 100 MS/s으로 기록하였으며,

측정된 direct signal를 E type Thermocouple의 제베크 계수 온도 변환 공식[5]을 통해 온도로 변환하였다.

레이저 출력은 임상에서 주로 사용하는 2 J로 고정하였고, 사용된 파이더의 코어 크기는 0.55 mm이다. 레이저 파형을 측정하기 위해 900-2600 nm Photo detector(PDA10D2, Thorlabs, USA)와 Absorptive filter(0.0094% 투과)를 사용하여 시간에 따른 Power를 확인하였다. 실험 환경으로 수온은 20°C, 실험실 실내 온도는 22°C이다.

### 3. 결과 및 토의

그림1은 레이저 장비 2 J 출력 설정에서의 레이저 파형을 보여주고 있다. 레이저 모듈에 인가 전압을 Trigger로부터 레이저 조사 시작은 358.10( $\pm$ 1.20)  $\mu$ s부터이며, FWHM은 300.00( $\pm$ 2.00)  $\mu$ s으로 나타났다. 이 때, 최대  $W_{max}$ 는 1.77( $\pm$ 0.05) W로 확인되었다. 그림 1의 표기된 A는 Hardy et al 2017에서 보고한 것처럼 일시적인 overshoot으로 보인다[6].

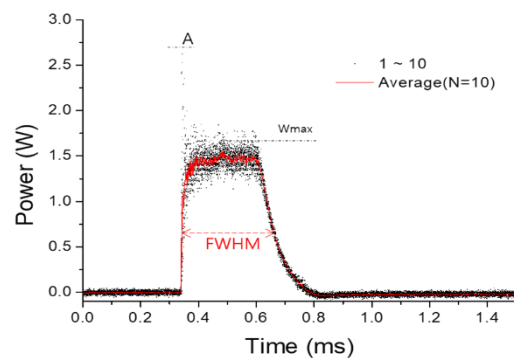


그림 1. 2J 출력 설정에서 Holmium YAG laser에 의해 생성된 공기 중 레이저 파형(N=10). Note that A represents a transient overshoot as reported in Hardy et al (2017)

그림2는 그림1의 레이저 파형으로부터 시간에 따른 버블 성장을 초고속 카메라를 통해 확인된 결과이다. 생성된 캐비테이션은 Transverse 으로 더 길게 나타나는 것을 알 수 있으며, 최대 8.11( $\pm$ 0.07) mm로 성장한다. 또한, 레이저 조사가 끝나는 0.8 ms 시점에서 버블 크기가 최대임을

확인하였다.

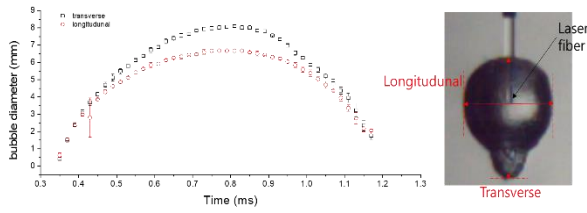


그림 2. 수중에서의 Laser-induced cavitation의 시간에 따른 버블 성장 및 수축(N=3)

그림 3는 수중에서 Thermocouple 측정으로 측정한 결과를 도시하고 있다. 측정된 direct signal에서 노이즈를 제거하기 위해 100kHz low pass filter를 적용하였다. 레이저 팁과의 거리는 1.5 mm부터 5.0 mm까지 0.5 mm 단위로 측정되었다. 1.5 mm에서 최대 온도는  $437.29(\pm 22.99)$  °C로 나타났으며, 최대 온도까지 상승시간은  $475.38(\pm 19.89)$   $\mu$ s이다. 레이저 팁과의 거리가 멀어짐에 따라 최대 온도의 감소율은 44.8 ~ 121 %로 나타났다. 4.5 mm부터 5.0 mm에서는 온도 변화가 거의 없으며, 버블 붕괴가 완전히 끝나는 1.5 ms 이후 소폭 상승되는 것으로 나타났다. 4.0 mm에서도 최대 온도가  $25.76(\pm 0.66)$  °C으로 소폭 상승이 확인되며, 최대 온도까지 상승 시간은  $1022.94(\pm 345.88)$   $\mu$ s으로 나타났다(그림4).

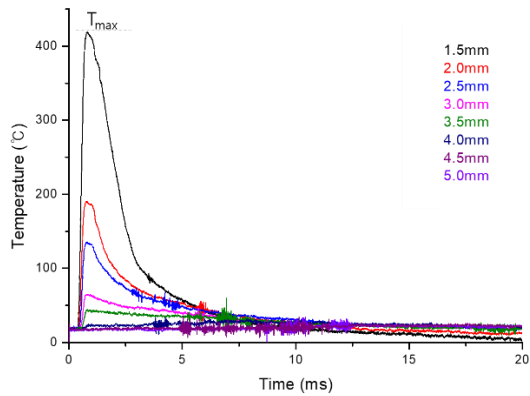


그림 3. 수중 레이저 팁에서 거리에 따른 Thermocouple 측정 결과.

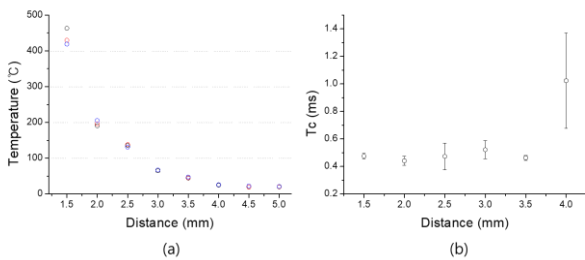


그림 4. 수중에서 레이저 팁과의 거리에 따른 온도 상승 변화. (a) 최대 온도, (b) 상승시간. (N=3)

본 실험의 관찰 결과로 온도 상승 효과에 따라 단백질 Coagulation으로 인한 지혈 효과는 2.5 mm에서 3.0 mm으로 최적화될 것으로 보인다. 하지만, 수중에 노출된 측정 센서의 결과이므로, 인체 유사 조직에서의 온도 상승을 확인하는 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 측정 센서는 단일 point 측정이라 면적에 대한 온도 상승을 확인하기 어렵다.

추후 연구로 최대 온도를 유추하기 위한 시뮬레이션, 실례된 영상의 공간적인 온도 측정(color map), 인체 유사 조직의 온도 변화 측정 등이 필요하다.

#### 4. 결론

수중에서 레이저 빔과 조직과의 거리에 따른 온도 측정용 온도를 측정하는 가장 기본적인 방법을 사용하여, 확인하였다. 3 mm에서부터 60도 이상 온도 상승이 확인되며, 이 거리에서부터 지혈 효과가 나타날 것으로 보인다. 본 연구의 결과, 지혈 효과의 최적화를 위한 근거 자료로 학술적인 의미가 있다. 추후 인체 유사 조직에서의 온도 가시화 연구 제안이 필요하다.

#### 5. Acknowledgements

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처)의 재원으로 범부처 전주기의료기기연구개발사업단의 지원을 받아 수행 연구임(1711134987, KMDF\_PR\_20200901\_0010-04).

#### 6. 참고 문헌

- [1] Marszalek, M., Ponholzer, A., Pusman, M., Berger, I., & Madersbacher, S. (2009). Transurethral resection of the prostate. *European urology supplements*, 8(6), 504-512.
- [2] Sountoulides, P., & Tsakiris, P. (2008). The evolution of KTP laser vaporization of the prostate. *Yonsei Medical Journal*, 49(2), 189-199.
- [3] Cho, M., Bae, J., Ku, J., Oh, S., Kim, S., & Paick, J. (2009). MP-06.07: Comparison of Outcomes between Potassium-Titanyl-Phosphate Photoselective Vaporization of the Prostate (PVP) and Holmium Laser Enucleation of the Prostate (HoLEP): An Interim Analysis. *Urology*, 74(4), S70.
- [4] Lü, T., & Li, Z. (2011). Underwater holmium-laser-pulse-induced complete cavitation bubble movements and acoustic transients. *Chinese Science Bulletin*, 56(12), 1226-1229.
- [5] ITS, N. (90). Thermocouple Database 60, 2000, based on NIST Monograph 175. Web Version, 2.
- [6] Hardy, L. A., Kennedy, J. D., Wilson, C. R., Irby, P. B., & Fried, N. M. (2017). Analysis of thulium fiber laser induced bubble dynamics for ablation of kidney stones. *Journal of biophotonics*, 10(10), 1240-1249