

ホルミウム・ヤグレーザーの 臨床上的応用と問題点

久留米大学 医学部 泌尿器科学教室

松岡 啓

1 ホルミウムヤグレーザーについて

ホルミウムヤグレーザーは、ホルミウムを活性イオンとし、ヤグ結晶を母剤とする発振波長 2,100 nm のパルスレーザーである。この波長は、炭酸ガスレーザーの波長の 10,600 nm と Nd:YAG レーザーの波長 1,064 nm の間にあり、生体に対しても炭酸ガスレーザーの切開作用と Nd:YAG レーザーの凝固作用を併せ持つ。

また、この波長は水に対する吸収係数が高く、軟部組織にはもちろんのこと、水を含む結石などの硬組織に対しても使用可能である。しかも、レーザーエネルギーは石英ファイバーにより伝送するので細径の軟性尿管鏡の使用が可能である。

前述したようにホルミウムヤグレーザーは水への吸収係数が高いので水中での操作が容易である。すなわち、水中でレーザーを照射するとファイバー先端にはバブルが発生する。バブルの最大時の大きさはファイバー先端より前方 4

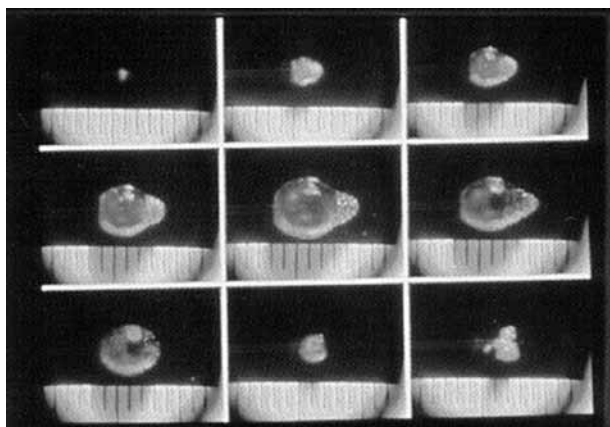


図 1 水中照射時の高速度分解写真

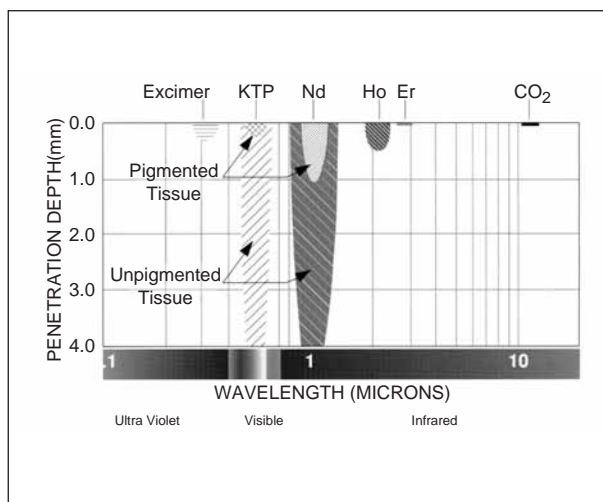


図 2 吸収深度と波長

mm である。よってファイバー先端を組織より 5 mm 以上離せば、この組織へのレーザーの影響はない。またファイバー先端を組織に接触させれば、その組織を蒸散、切開でき、2 mm 程度離して照射すると凝固できる。このようにファイバーと照射する組織の距離を加減することにより組織の蒸散、切開、凝固が可能となる(図 1)。

また、ホルミウムヤグレーザーの組織への吸収深度は 0.5 mm 以下であり(図 2)、術者の見える範囲がこのレーザーの影響を受ける部分であるので安心して使用できる。

2 レーザーによる結石破碎

内視鏡を使用して尿路結石を破碎する方法として表 1 のような手段がある。超音波による破

表 1 結石破碎装置の特徴と種類

結石破碎装置	エネルギー伝送	内視鏡	破碎力	組織障害
超音波破碎装置	硬	硬	中	軽
電気水圧衝撃波	硬、軟	硬、軟	強	強
空圧式破碎装置	硬	硬	強	軽
レーザー	硬、軟	硬、軟	強	強

碎は、内視鏡は硬性鏡しか使用できないが組織への障害は軽い。結石破碎力は中程度である。

電気水圧衝撃波は、2つの電極に高電圧を流し、電極間にスパークを発生させ、その際に電極付近の水が瞬間的に気化し、気化した際に衝撃波が発生し、この衝撃波により結石が破碎される。電極は細いものは1.9 Fから9 Fまであり、硬性鏡から軟性鏡まで使用可能である。しかし、電気水圧衝撃波の結石破碎力は強力であるので組織障害が強い。使用するにあたっては粘膜より離すことが肝要である。

空圧式は空圧による金属ボールの移動によって生じる振動エネルギーが碎石のエネルギーとなる。この方法は硬性鏡でしか使用できない。また効率的な碎石のためにプローブ先端を結石に押し当てるので結石はpushed backされ易い。この予防のために吸引装置付きもあるが、吸引装置がつくと内視鏡外径は大きくなる。結石破碎力は強力であるが、組織への障害は軽い。

レーザーによる結石破碎は、硬性鏡や軟性鏡の両方が使用でき、しかもレーザーのデリバリーは細いので細径の尿管鏡も使用可能である。結石の破碎力は強力であるので組織障害も強い。従って破碎中はプローブ先端が組織に接触しないように注意をする必要がある。

3 ホルミウムヤグレーザーを使用した尿路結石破碎術^{1, 2)}

尿路結石に対するレーザーとして、パルス波色素レーザーが汎用されてきたが、多くの利点を有するホルミウムヤグレーザーが出現したこ

とによりその地位が逆転した。すなわち、ホルミウムヤグレーザーはすべての成分の結石が破碎可能で、破砕片はパルス波色素レーザー、電気水圧衝撃波、空圧式のいずれよりも小さい。

4 ホルミウムヤグレーザーによる前立腺手術³⁻⁵⁾

ホルミウムヤグレーザーは、その波長から蒸散、切開、凝固作用を有するので出血を抑えた組織の除去が可能である。また組織への吸収深度は0.4 mmと非常に浅く、術者の見える部分がレーザーの作用を受けるので安全に使用できる。よってこのレーザーを使用した、以下の二つの術式が注目を集めている。

4.1 ホルミウムヤグレーザー前立腺切除術 Holmium laser ablation of the prostate (HoLAP)

HoLAPは、ホルミウムヤグレーザーと側射型レーザーファイバー(図3)を使用して腫大した前立腺を蒸散させ前立腺部尿道に有効な空洞を形成する方法である。この方法はネオディウムヤグレーザーで前立腺を凝固し、続いてホルミウムヤグレーザーで凝固した部分を蒸散させて空洞を形成する二種類のレーザーを併用した方法(CELAP: combined endoscopic laser ablation of the prostate)から発展した術式である。CELAPが発表された当時はホルミウムヤグレーザーの持つ凝固作用が十分に認識されていなかったが、CELAPによりホルミウムヤグレーザー単独でもデフォーカス(照射中にフ

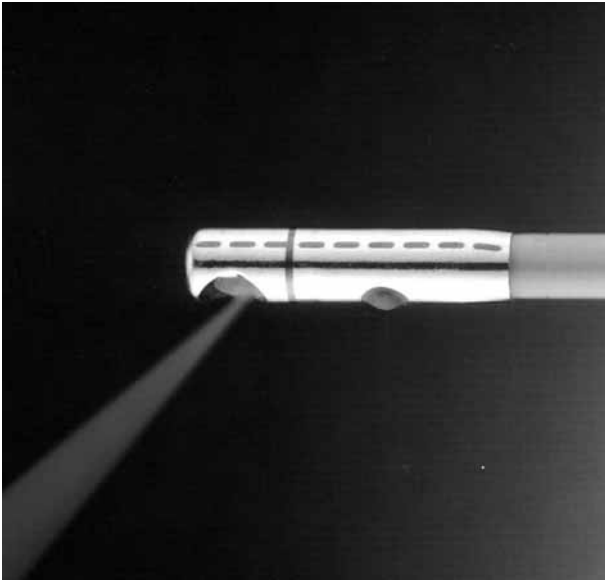


図3 側射型ファイバー

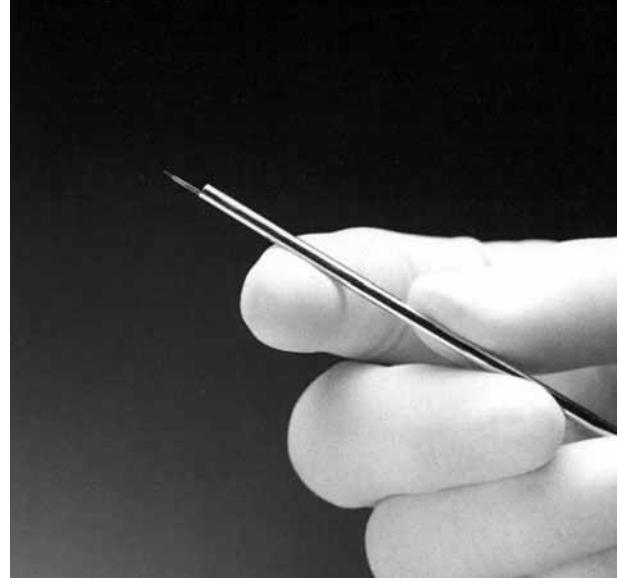


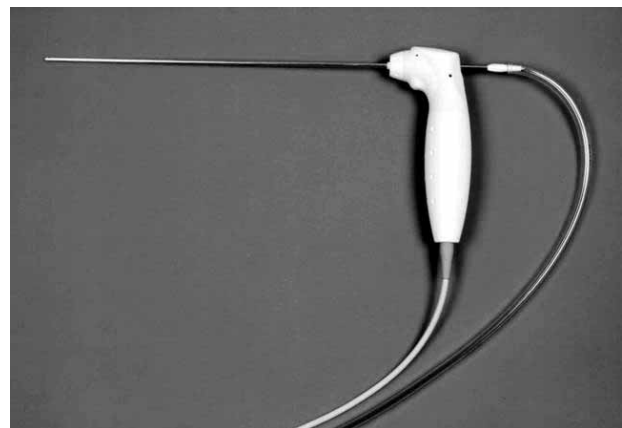
図4 直射型ファイバー

ファイバー先端を組織から少し離す)すれば素晴らしい凝固作用が引き出せる事がわかり HoLAP が考案された。HoLAP は、術式が簡単であるが蒸散に少々時間がかかるので小さい前立腺肥大症に向いている。HoLAP と従来の TURP の randomized study では、両者の術後 1 年における臨床的効果は同一であるが、HoLAP では TURP よりも出血が少なく、入院日数は短く、尿道カテーテルは翌日抜去可能であった。HoLAP の 7 年間の長期成績も報告されている。79 例のうち死亡 17 例、脱落 28 例で残り 34 例についての検討であるが、最大尿流率は術前の 83 % 上乘せされ、国際前立腺症状スコアも術前値の 47 % 削減されて、再手術率は 15 % であった。他の術式と長期成績について比較する必要はあるものの、本術式は長期経過後も前立腺肥大症による尿道閉塞症状を除去する事が示されている。

4.2 ホルミウムヤグレーザー前立腺核出術 Holmium laser enucleation of the prostate (HoLEP)

HoLEP は、直射型ファイバー (図 4) からホルミウムヤグレーザーを照射して肥大した腺腫

を外科的被膜から核出して前立腺部に有効な空洞を作成する術式である。核出した腺腫は、一旦膀胱内に落とし込まれるので、核出後は排除する必要がある。この核出された腺腫を排除する機器が切片細切吸引排除器 (tissue morcellator) (図 5) である。この機器は核出組織を細切しながら吸引し、体外へ排泄するものである。従って HoLEP では腺腫核出と核出腺腫の排除の二つの過程よりなる術式である。



(a)

図5 モーセレーター



(b)

図5 モーセレーター

この術式の特徴は、ホルミウムヤグレーザーを使用するので出血が少なく、また灌流液として生理食塩水を使用するので、手術時間が長くなっても従来のTURPのように低ナトリウム血症の心配がないことである。TURPでは、大きな前立腺になるほど術中合併症の頻度が増してくるが、HoLEPでは合併症の発生は前立腺の大きさには無関係で低率である⁵⁾。

5 ホルミウムヤグレーザーによる尿道狭窄手術⁶⁾

尿道狭窄に対するレーザー照射は、1977年より始められた。これまでNd:YAG、炭酸ガス、アルゴン、KTPと種々のレーザーが検討されてきたが、当初は従来の内尿道切開術に比較して何ら利点は見いだされなかった。しかし、照射方法や照射に伴う条件などが改良されて、最近では成功率が90%に達している。この方法は、Nd:YAGレーザーをパルスモードで使用し、出力はパルス当たり25ワットで接触照射をする。切開部位は12時と4時、8時である。術後は、尿道の炎症反応を予防するためにシリコン製カテーテルを4日間留置している。

Nd:YAGレーザーのパルスモードの使用で蒸散作用が大きくなり、凝固は最小に抑えられるので、連続モードよりもよい結果が得られている。パルスモードの使用で、内尿道切開単独よりも内尿道切開にレーザー治療を加えたほうが

長期成績がよいことも報告されている。著者らは、同じパルスモードでも吸収深度の浅いホルミウムヤグレーザーを使用して検討している。

6 ホルミウムヤグレーザーによる上部尿路腫瘍手術⁷⁾

6.1 内視鏡による腫瘍切除

腫瘍が単発または2～3個程度で小さく、low gradeであれば内視鏡による保存的手術が可能である。内視鏡的切除には経皮的到達法と経尿道的到達法の2種類ある。当初は経皮的到達法が主流であったが、最近では腎盂尿管鏡の細径化が進み、性能や周辺機器の発達により、また経皮的到達法より侵襲が少ないことより経尿道的到達法が選択される事が多い。

6.2 腫瘍の切除手段

電気切除・凝固とNd:YAGレーザー、ホルミウムヤグレーザー、アルゴンレーザーが使用されているが、電気切除・凝固は切除後の尿管狭窄が多いので注意が必要である。レーザーを使用する場合には、従来Nd:YAGレーザーが主に使用されていたが、凝固作用が強いので低出力に徹し、また、照射の際は十分な注意が必要である。一方ホルミウムヤグレーザーは蒸散作用、凝固作用を併せ持ち組織深達性も極めて浅いので安全で確実な処理が可能である。

経尿道的腎盂尿管鏡による腫瘍切除で最も注意しなければならないのは灌流液圧である。液圧が高いと腫瘍細胞の脈管内への播種の問題があり、また腎実質への悪影響も考慮しなければならない。

経尿道的内視鏡手術後のfollow upについては、至適期間や追跡手段についてコンセンサスは得られていないが、内視鏡による再発の有無の確認は必須であり省略することは出来ない。

7 ホルミウムヤグレーザー使用による問題点

このようにホルミウムヤグレーザーは、結石、前立腺、狭窄、尿路上皮腫瘍などに使用可能で

汎用性に富むレーザーである。汎用性に富むばかりでなく、還流液を使う泌尿器科手術には安全性が高いので格好のエネルギー源である。この理想的なエネルギー源でも唯一欠点がある。レーザー照射時にファイバー先端を組織に接触させると穿孔したり、瘻孔が形成されることがある。しかしながら、術者がこのことに十分注意を払えば起こり得ないことであるので大きな問題とならないかもしれない。

ablation of the urinary tract carcinoma and laser incision of the urinary tract stricture. In Simunovic z (ed): Lasers in surgery and dentistry. Simunovic, Locarno, chapt XXIV, pp455-462, 2001

- 5) Matsuoka K, Iida S, Tomiyasu K, Shimada A *et al*: Transurethral holmium laser resection of the prostate. *J Urol* **163**:515-518, 2000
- 6) Matsuoka K, Inoue M, Iida S, Tomiyasu K, Noda S: ENDOSCOPIC ANTEGRADE LASER INCISION IN THE TREATMENT OF URETHRAL STRICTURE. *Urology* **60**:968-972, 2002
- 7) Matsuoka K, Iida S, Tomiyasu K, Inoue M, Noda S: Transurethral Endoscopic Treatment of Upper Urinary Tract Tumors Using a Holmium:YAG Laser. *Lasers in Surgery and Medicine* **32**:336-340, 2003

参考文献

- 1) Matsuoka K, Iida S, Nakanami M *et al*: Holmium:yttrium-Garnet laser for endoscopic Lithotripsy yttrium-Garnet Laser for endoscopic Lithotripsy. *Urology* **45**:947-952, 1995
- 2) Matsuoka K: CHAPTER XVII Endoscopic laser lithotripsy. In LASERS IN SURGERY AND DENTISTRY SIMUNOVIC Z (ED), pp323-331, 2001
- 3) Matsuoka K, Iida S, Tomiyasu K *et al*: Holmium laser Resection of the prostate. *J Endourol* **12**:279-282, 1998
- 4) Matsuoka K: Applications of holmium:yag laser in urology; Laser Lithotripsy, laser prostatectomy, laser

松岡 啓(まつおかけい)

久留米大学 医学部 泌尿器科学教室 教授



INFORMATION

TOPICS

大腸用カプセル内視鏡ピボタル試験へ

カプセル内視鏡のメーカーでイスラエルのギブン・イメージング社は、日本の医薬品医療機器総合機構(PMDA)への提出が予定されている申請資料を裏付けることを目的とした大腸用カプセル内視鏡 PillCam® COLON 2 のピボタル試験を日本で開始すると発表した。

この試験では、大腸内視鏡検査でポリープがあることが確認

された患者を対象に、PillCam® COLON 2 カプセル内視鏡検査の結果を比較する。この試験の主要評価項目は 6 mm 以上のポリープの特定。3 つの施設で合計 72 例の患者を登録、試験実施施設の読影医と、もうひとつの読影施設の読影医の 2 つのグループが評価する。ギブン・イメージング社はこの試験を 3 月末までに終了させ、今年半ばには PMDA に申請書類を提出の予定。

現在、ガンで亡くなる人は、女性が 1 位肺 (13%)、2 位胃 (12.5%)、3 位結腸 (10%) だが、直腸を合わせた大腸は 1 位 (14%) となり、男性も 1 位肺

(24%)、2 位胃 (16%)、3 位肝臓 (10.5%) で 4 位が結腸 (7%) だが、結腸と直腸を合わせると 3 位 (11%) になる。現在日本ではカプセル内視鏡は小腸に限られるが、大腸用はドイツでは入院患者に対しすでに保険償還対象製品になっており、米国でも昨年からはピボタル試験を開始している。大腸の受診率は 10% ~ 20% といわれており、大腸内視鏡検査に抵抗のある人も、承認されれば受けやすくなるかも知れない。

