フラッシュランプ励起パルス波色素レーザーによる碎石

Laserlithotripsy using the pulsed dye laser

佐山 孝, 福庭雅洋, 木村 明*, 森山信男, 東原英二, 阿曾佳郎
石塚雅治**

Takashi SAYAMA, Masahiro FUKUBA, Akira KIMURA*,
Nobuo MORIYAMA, Eiji HIGASHIHARA, Yoshio ASO,
Masaharu ISHIZUKA**

東京大学医学部泌尿器科

都職青山*, 浜松ホトニクス(株)**

Animal study using the pulsed dye laser at 480nm wavelength, 1 μ sec. pulse duration, 159 μ m core diameter and output energy of 40mJ/pulse did not reveal any serious tissue damage.

The 480nm wavelength laserlithotriptor coupled with 9.6Fr. flexible ureterorenoscope was useful for fragmentation of ureteral calculi impacted in the pig ureters.

1. はじめに

尿路結石破碎のための波長としては、現在504 nmが臨床的にも応用され始めている。しかし結石の反射率を測定してみると、より短波長のレーザー光の方が結石に吸収され易く、このうち組織及び血液への吸収率を考慮した480 nm光は組織障害作用も504 nm光と比べ同程度であることをこれまでに報告してきた。今回波長480 nm光と504 nm光を用い、パルス幅1 μ sのフラッシュランプ励起パルス波色素レーザーにて、実際に豚腎盂に埋め込んだヒト尿路結石に対し、軟性尿管鏡を用いた碎石を試みた。また、導光ファイバーのコア径の違いによる衝撃波の強さについても検討したので、合わせて報告する。

2. 目 的

- I. 豚体内での波長480 nm光と504 nm光による碎石効果の比較
- II. 軟性尿管鏡の使用に伴う尿路上皮の変化の観察
- III. 導光ファイバーのコア径（直径）の違いによる衝撃波強度の比較

3. 方法（I・II）

- ① 静脈麻酔下、ヒト尿路結石を雌豚腎盂に腰部斜切開にて埋め込み
- ② 経尿道的に9.6Fr、軟性尿管鏡を挿入
- ③ 480 nmと504 nm光を照射し碎石
- ④ 結石介在部、生理的狭窄部を光顯的に観察

⑤ 9.5 Fr 硬性尿管鏡挿入に伴う生理的狭窄部の変化を光顯的に観察

4. 結 果

碎石には、ヒト尿路結石（リン酸カルシウム結石 $\text{Ca} \cdot \text{P}$ ）を用い、臨床応用を意識した碎石とした。480 nm 光と 504 nm 光をコア径 300 μm 、先端出力 40 mJ/pulse、くり返しパルス数 10 pps で結石に照射し、結石が 2～3 mm 大の碎石片に分かれた時点を終了とした。結石の各々の形状・硬度はやや異なり、技術的な要因もあるため、碎石に要したパルス数にはかなりのバラツキがあり 480 nm 光で平均 400 パルス前後、504 nm 光で平均 500 パルス前後であった。実際に型通りの碎石が施行されたもののうち、各々 5 例の結果を図 1 に示した。

軟性尿管鏡で実際の碎石を行い、硬性鏡では碎石を行わずに挿入のみとした。9.5 Fr. の細径の硬性鏡を用い、軟性鏡の場合と同じく尿管の拡張をせずに挿した。図 2 は、軟性鏡の使用に伴う尿管壁の変化の光顯像である。

導光ファイバーのコア径の違いによる衝撃波の強さの測定法を図 3 に示した。先端出力を 15 mJ、20 mJ、30 mJ とし、コア径 159 μm 、300 μm 、400 μm の 3 本のクォーツファイバーを用いた。600 nm 付近より短波長域の吸収が高い赤色プラスチック板にレーザー光を照射し、発生した衝撃波による圧力波をプラスチック板より 2 mm 離れた位置に固定したピエゾ素子により電圧の変化として捕えた。図 4 に示すように、同一出力ではコア径が細いもの程エネルギー密度が高いため強い圧力波を発生した。図 5 は、この場合の面積比、即ちエネルギー密度比の逆数でもあるが、これを横軸にとって表したものである。コア径 159 μm の面積は、コア径 400 μm のものの 6.3 倍となり従ってエネルギー密度は $1/6.3$ ($2.4 \times 10^4 \text{ mJ/cm}^2$) に低下し、これに伴い圧力波も 159 μm の場合の $1/2$ に低下した。

5. まとめ

導光ファイバー径が細いと、同一出力ではエネルギー密度が高くなるため強い衝撃波を発生する。また結石の凹凸面に先端が入り込み有効な碎石が期待できる。従って、尿管の拡張を要せずに尿管に挿入できる軟性尿管鏡を組み合わせた波長 480 nm、コア径 159 μm の細い径のファイバーを用いたパルス・レーザー碎石器は、現在臨床に用いられている波長 504 nm、コア径 200 μm のものと比べ、同等以上の効果が期待できると考えられた。今後、コア径の細いファイバーの操作性の改善を図ると共に、誤照射の防止、眼精疲労の軽減のために結石と組織の識別を、レーザー照射を行わずとも可能とするシステムの開発を進め、より安全でより容易な碎石法の確立をめざしていきたいと考えている。

波長	NO.	結石径 (mm)	パルス数	結 果
480nm	1	4×6	216	○
	2	5×7	1000	碎石不可
	3	5×5	83	○
	4	6×7	413	○
	5	5×8	965	○
504nm	1	5×7	557	○
	2	4×8	272	○
	3	5×5	683	○
	4	5×8	581	○
	5	4×7	1200	碎石不可、尿管穿孔

○：碎石成功、結石・ $\text{Ca} \cdot \text{P}$

図 1. 豚を用いた碎石実験

	軟性鏡	硬性鏡 (挿入のみ)
口 径	9.6 Fr	9.5 Fr
結 石	粘膜上皮剝離	—
結 石 介在部	粘膜下出血、浮腫 粘膜下細胞浸潤	—
交叉部	粘膜下細胞浸潤	粘膜上皮剝離 粘膜下出血、 うっ血
移行部	粘膜下細胞浸潤	粘膜上皮剝離

図 2. 尿管の部位による組織障害 (n=2)

図3. ファイバーのコア径による衝撃波の測定

図4. ファイバーのコア径の違いによる衝撃波比較

図5. ファイバーのコア径の違いによる衝撃波比較
(プラスチック製赤色路核を使用)