

腎結石に対する経尿道的腎碎石術における Moses™ モードと従来型レーザーの比較検討

金井 香澄, 坂元 宏匡, 鶴田 将史
矢野 博久, 青山 輝義
関西電力病院泌尿器科

COMPARISON OF MOSES™ MODE AND CONVENTIONAL LASER IN TRANSURETHRAL LITHOTRIPSY FOR KIDNEY STONES

Kasumi KANAI, Hiromasa SAKAMOTO, Masafumi TSURUTA,
Hirohisa YANO and Teruyoshi AOYAMA
The Department of Urology, Kansai Electric Power Hospital

Transurethral lithotripsy (TUL) using holmium YAG laser has become the standard treatment for kidney stones. Moses™ technology, which delivers the laser with less energy loss, has been introduced and is reported to have advantages over regular laser in terms of shorter operation time and lithotripsy efficiency, but there are few reports from general hospitals. We retrospectively compared the perioperative and postoperative outcome, and complications of 28 cases of TUL using Moses™ mode performed from August 2021 to January 2023 at our hospital, and 25 cases of TUL using regular laser from August 2020 to July 2021. The median stone size was 11.9 and 10.9 mm, the median operation time was 103 and 105 minutes, and the 3-month stone-free rate was 88.0 and 95.8% for Moses™ mode and regular laser, respectively. No significant difference was observed in the operation time. There was no difference in stone-free rate or complications either. The Moses™ mode group had significantly more cases of ureteral stent removal on the day after placement. In evaluating stone retropulsion on a 4-point scale, Moses™ mode cases showed significantly less retropulsion. TUL using Moses™ mode could be a useful option for treatment of kidney stones.

(Hinyokika Kiyo 70 : 317-321, 2024 DOI: 10.14989/ActaUrolJap_70_10_317)

Key words : Kidney stone, Holmium laser, Moses mode

緒 言

2015年の尿路結石全国疫学調査によると1985年と比べ上部尿路結石は男女ともに2倍に増えているとされている。上部尿路結石の生涯罹患率は年々増加傾向にある。同調査では治療としてESWLの割合が減り、TULとPNLが2005年から2015年までの10年で増加しているとされている¹⁾。TULは現在のガイドラインで10~20 mmの腎結石に関して機器・施設などの条件のもと推奨されている²⁻⁴⁾。腎結石碎石において、1998年に初めて報告されて以来、軟性尿管鏡および破碎デバイスとしてのholmium YAGレーザーが広く使われている⁵⁾。またレーザーの機器による出力エネルギーの上限、例えば30 W, 60 W, 120 Wさらにはレーザーの出力モードにより手術時間が変わる可能性があると言われている⁶⁾。当院では尿管結石に関しては原則レーザーを使用しておらず、今回はレーザーを用いる腎結石を対象とした。

近年エネルギー損失の少ないレーザーを照射するMoses™ (以下Moses) 技術が開発され、それには手

術時間の短縮と碎石効率の優位性があると言われている⁷⁾。結石専門ではない市中病院でのMosesモードと従来型レーザーを比較した報告は少ない。当院では2021年8月にMosesモードを導入しており、今回導入前後での比較検討を行った。

対 象 と 方 法

2021年8月から2023年1月までの期間に当院で行われた腎結石に対するMosesモードを用いたTUL 28例と2020年8月~2021年7月に従来型レーザーを用いた25例を後方視的に比較検討した。評価項目は、患者背景として年齢、性別、患側、結石の最大径、プレステンティング期間を調べた。結石は超音波検査、KUB、CTで診断・評価し、最大径計測はCTで行った。Stone-freeは超音波検査とKUBに基づき、残石が4 mm以下の場合とした。アウトカムとして、術後ステント留置期間、および1カ月、3カ月でのstone-free rate、Clavien-Dindo分類でGrade 2以上の合併症を調べた。術後ステント留置については、翌日抜去と2日目以降抜去の症例数で比較した。術中の所見として、

アクセスシース挿入時間, レーザー出力, レーザー出力時間, 碎石時間, 手術時間, レーザーによる結石の後方移動 (retropulsion) とした. 手術時間については手術ビデオをすべてレビューし, 分単位で計測した. 碎石・抽石を交互に行っている場合は, それぞれの時間を合計し, 碎石時間・抽石時間とした. 結石後方移動は Ibrahim らが報告した Likert scale による評価方法⁷⁾に基づき, 4段階 (激しく動く: 3, 動く: 2, あまり動かない: 1, ほとんど動かない: 0) に分け, 数値化した. 両群間の比較は, student-t 検定, カイ二乗検定, ならびに Mann-Whitney 検定で行い, $p < 0.05$ を有意差ありとした.

当院でのレーザーを用いた TUL の手順は以下の通りである. 指導医 2 名のもと, 3 年目~8 年目までの 4 名の術者が施行し, 状況に応じて指導医と交代した. 軟性鏡を左手で保持する術者 2 名, 右手で保持する術者 4 名であった. 従来型レーザーも Moses モードも同じ手順であり, 術前に 6 Fr ポラリスTM double J ステンント (Boston Scientific 社) でプレステンティングを行った. 6~7.5 F 硬性尿管鏡 (Boston Scientific 社) で尿管内の観察を行い, 損傷や狭窄, 結石の有無を確認して, アクセスシースを挿入した. アクセスシースは 11/13 Fr, 12/14 Fr の NavigatorTM HD (Boston Scientific 社), 軟性尿管鏡は URF-V 8.5 Fr (Olympus 社), FLEX-X2S 7.5 Fr (STORZ 社) を用いた. 灌流装置として, SAPSTM (Boston Scientific 社), もしくはエンドマツト SELECTTM (STORZ 社) を用いた. 従来型レーザーとして VersaPulseTM SelectTM 30 W, FlexivaTM 200 μ m (いずれも Boston Scientific 社), Moses モードとして Lumenis PulseTM 120 H,

MOSESTM 200 μ m D/F/L (いずれも Boston Scientific 社) を使用した. レーザーの設定は Moses モードで fragmentation は $0.5 \sim 1.0 \text{ J} \times 5 \text{ Hz}$, dusting は $0.2 \sim 0.3 \text{ J} \times 30 \text{ Hz}$, 従来型レーザーで fragmentation, dusting 共に $0.5 \sim 1.0 \text{ J} \times 5 \text{ Hz}$ とした. 抽石は N-CircleTM もしくは N-CompassTM (いずれも Cook Medical 社) を用いた. アクセスシース抜去の際に尿管内の観察を行い, 尿管の粘膜損傷がなければ 6 Fr 尿管カテーテル, 粘膜損傷を認めた場合 6 Fr インレイオプティマTM double J ステンント (BARD 社) を留置した. 尿管カテーテルは翌日に抜去, double J ステンントは 2 週間~2 カ月後に抜去とした. 本研究は関西電力病院倫理委員会にて承認の下, 施行された (承認番号 22-087).

結 果

患者背景を Table 1 に示す. 年齢は Moses モードで 61.8 ± 15.0 歳と従来型レーザーは 57.5 ± 11.6 歳, 性別は Moses モードでは男性 17 人, 女性 11 人, 従来型レーザーでは男性 15 人, 女性 10 人であった. 患側は Moses モードで右側が 9 例, 左側が 19 例, 従来型レーザーは右側が 13 例, 左側が 12 例であった. 結石の最大径に関しては Moses モードで $5.6 \sim 21$ (平均値 11.9) mm, 従来型レーザーで $6.2 \sim 19.1$ (平均値 10.9) mm であった. プレステンティング期間は Moses モードでは $5 \sim 37$ (平均値 15.5) 日, 従来型レーザーでは $6 \sim 38$ (平均値 12.6) 日であった. いずれも両群間で有意差を認めなかった.

アウトカムを Table 2 に示す. 術後ステント留置を翌日に抜去した症例は, Moses モードでは 28 例中 9

Table 1. Patient Clinical Characteristics

	Moses-treated (n = 28)	Regular-treated (n = 25)	P-value
Age [years]	61.8 ± 15.0	57.5 ± 11.6	0.23
Gender, men/female	17/11	15/10	0.87
Laterality, right/left	9/19	13/12	0.24
Maximal stone diameter (average) [mm]	$5.6 \sim 21$ (11.9)	$6.2 \sim 19.1$ (10.9)	0.19
Preoperative stent placement period (average) [days]	$5 \sim 37$ (15.5)	$6 \sim 38$ (12.6)	0.19

Table 2. Comparison as to the outcome and complication; the Moses mode group had significantly more cases of ureteral stent removal on the day after placement; however, both stone-free rate and complications showed no significant difference.

	Moses-treated (n = 28)	Regular-treated (n = 25)	P-value
Postoperative stent placement period;			<0.01
-overnight	9	1	
-more days	19	24	
1 month stone-free rate	80.00% (20/25)	88.00% (22/25)	0.45
3 month stone-free rate	85.20% (23/27)	95.80% (23/24)	0.20
Postoperative complications ($\geq$ G2)	none	none	

Table 3. Comparison of operative time for each process and total time ; there was no significant difference.

	Moses-treated (n = 28)	Regular-treated (n = 25)	P-value
Access sheath indwelled time (average) [min]	32-124 (62.1)	27-129 (66.7)	0.27
Laser activation time (average) [min]	1-36 (12.6)	2-65 (15.7)	0.20
Stone-extraction time (average) [min]	0-54 (27)	5-63 (29)	0.27
Total operation time (average) [min]	53-150 (101)	54-175 (105)	0.35
Laser power (average) [J]	0.16-14.14 (2.81)	0.12-13.78 (2.83)	0.20
Retropulsion (median)	0-3 (0)	0-3 (1)	<0.01

例, 従来型レーザーでは25例中1例であり, Mosesモードで有意に多かった ($p < 0.01$). 1カ月, 3カ月での stone-free rate ではいずれも1カ月で80.0, 88.0%, 3カ月は85.2, 95.8%であり有意差を認めなかった. Clavien-Dindo 分類 G2以上の術後合併症についてはいずれも認めなかった.

術中所見を Table 3 に示す. アクセスシース挿入時間は Moses モードで32~124 (平均値62.1) 分, 従来型レーザーは27~129 (平均値66.7) 分であった. レーザー出力時間は Moses モードで1~36 (平均値12.6) 分, 従来型レーザーは2~65 (平均値15.7) 分, 抽石時間は Moses モードで1~54 (平均値27) 分, 従来型レーザーは5~63 (平均値29) 分, 手術時間は Moses モードで53~150 (平均値101) 分, 従来型レーザーは54~175 (平均値105) 分であり, レーザー出力に関しては Moses モードで0.16~14.14 (平均値2.81) J, 従来型レーザーは0.12~13.78 (平均値2.83) J であり, いずれも有意差を認めなかった. 結石後方移動は Moses モードが有意に低かった ($p < 0.01$).

結石の最大径と手技時間の関係を Fig. に示す. 横軸に結石最大径, 縦軸にそれぞれレーザー照射時間, 抽石時間とした. 両群間で統計学的な有意差は認めなかった. 線形近似式を比較すると, レーザー照射時間では従来型レーザー, Moses モードのいずれも結石最大径が大きくなるにつれて長くなる傾向があり, 線形近似線は Moses モードが従来型レーザーを下回る傾向があった (Fig. A). 抽石時間でも同様に線形近似線は, Moses モードが従来型レーザーより低値に位置した (Fig. B).

考 察

Holmium YAG レーザーは1~2 cm で症候性の尿管結石または腎結石に対する標準治療の1つである⁴⁾. レーザー碎石の効率を上げるためにレーザー源の開発やレーザーエネルギーの減衰対策が考えられてきた. Moses モードは Boston Scientific 社のルミネスパルスのレーザー照射モードの1つである. その特徴は2段階の照射であり, 第1波でレーザーファイバーと結石の間の液体を分けて, 第2波で結石に直接エネルギー

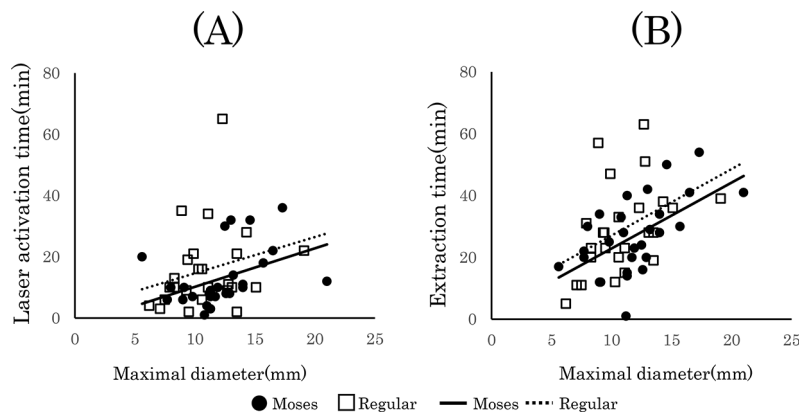


Fig. Scatter plot that shows the relationship between laser activation time (A), stone extraction time (B), and maximum stone diameter. The horizontal axis shows the maximum stone diameter, and the vertical axis shows the time (in minutes). The solid line represents the linear approximation line of the Moses-treated, and the dashed line represents the regular mode. With increasing stone size, both laser activation time and extraction time tend to extend. The linear approximation lines of Moses mode consistently lie below those of the regular mode.

が当たることと効率よく碎石できるとされている。長所として碎石に伴う結石の移動が減り、前方にパワーが出るので側方の影響が少なくなり結石以外の粘膜へのダメージが少なくなると言われている⁷⁾。Moses モードによる尿路結石碎石に関しては、手術時間、stone-free rate、合併症が従来型レーザーに比して有利とされている一方⁷⁾、近年の Li らによるシステムティックレビューでは1報の RCT を含む7報を検討し、上記3つのアウトカムのうち手術時間のみ有意差が認められた。しかし7報のうち3報ではこの手術時間でも差を認めず、均一性に乏しいとしている。Stone-free rate、合併症では7報すべてで Moses モードの優位性はみられなかった。その理由として、定型化された手術、合併症リスクの少ない手術時間内に終了している可能性、合併症予防のための適切な周術期管理としている⁸⁾。

われわれの検討でもアウトカムとして手術時間、stone-free rate、合併症に有意差は認めなかった。結石後方移動は Moses モードで有意に少なく、この結果は手術遂行時の実感覚と一致し、手術ストレスを少なく感じることに有利であったと思われる。結石後方移動で期待された効果が得られた一方、アウトカムに差が出なかった理由はいくつか考えられる。まず決められた術式と合併症予防対策が奏功していた可能性がある。当院は、詳細に TUL 手順をさだめており、経験や利き腕の異なる術者間および同一術者間でも手術パフォーマンスの再現性が高い環境にある可能性がある。従来型レーザーと Moses モードの間に差がうまれにくかったのかもしれない。また、灌流装置がアウトカムに影響していた可能性がある。灌流装置については、従来型レーザーでは全例 SAPS™ を使用しており、Moses モードではエンドマット SELECT™ を10例(35.7%)で使用していた。術者、利き腕、灌流装置による術中、術後所見に関して比較したが、有意差を認めなかった。次に、アウトカムの選択が Moses モードの有利な点を評価しきれていないのではないかと可能性がある。その選択肢として、術後尿管ステント留置期間や術者ストレスなどが挙げられる。術後尿管ステント留置に関して、Moses モードで翌日抜去した症例が多かったのは、結石後方移動が少なく、粘膜損傷が少なかったことが理由の1つと考えられた。術者ストレスを評価する基準は確立されていないが、破碎の戦略を結石に応じて意図して使い分けることは、内視鏡での術中所見で視覚的に確認できる破碎効果の向上につながる可能性がある。これらは今研究のような残石評価に行う画像診断では評価するのがむずかしく、長期的な経過観察でわかる結石再発率や尿管狭窄などの発生率で評価できるかもしれない。

一般に腎結石の破碎の戦略として、fragmentation

と dusting があり、前者はバスケットカテーテルでの抽石を要し、後者は砂状になるまで破碎し自然排出を期待するものである。破碎後の結石サイズで2者は分かるとされる。Dusing とされる結石の大きさの定義はさだまっていないが、沈殿せず浮遊すると考えられる直径 250 μm 以下が提唱されている⁹⁾。Moses モードは、結石後方移動が少なく、fragmentation と dusting のいずれでも術者の意図した破碎戦略をとることが容易である。今後 Moses モードの特性を生かした破碎戦略が確立すればさらに効率があがると考えられる。一方、Stern らの報告では Moses モードで手術時間が短縮されて医療経済的なメリットがあったとしても、それにかかるコストが上回ってしまうという医療経済学的な試算を呈示している¹⁰⁾。実際、Moses レーザーファイバーは単回使用であり、医療施設への負担は小さくはない。しかし手術時間短縮が、術後尿路感染のリスクをさげるのに加え、手術室の人的、時間的節約につながれば、コスト以上に意義あるかもしれない。

今回の検討ではいくつかの制限がある。まずは単一施設のヒストリカルコントロールによる検討であったことである。これは症例数が十分でなかっただけでなく、Moses モードの導入初期症例と、従来型レーザーとの比較となり、技術確立という点で違いがあった可能性がある。次に、合併症の評価が3カ月以下という比較的短期で行ったことである。今後、長期の経過観察で、従来型レーザーと Moses モードによる碎石の違いによって長期の結石再発率・晩期合併症の発生率を評価する必要がある。最後に、術者のストレスや効率改善といった評価は、一部主観的な判断がはいるため客観性、再現性という点で難点があった。レーザーの設定や使用方法については施設間に差がある可能性があり今後多施設による同一プロトコルで比較検討する必要がある。

結 語

Moses モードは術者として結石が動かない分ストレスが少なく破碎ができる。手術時間、stone-free rate、合併症で従来型レーザーとの差はなかった一方、術後尿管ステント期間、結石後方移動では有意差を認めた。長期の合併症に関しては引き続き経過観察の予定である。

文 献

- 1) Sakamoto S, Miyazawa K, Yasui T, et al.: Chronological changes in the epidemiological characteristics of upper urinary tract urolithiasis in Japan. *Int J Urol* 25: 373-378, 2018
- 2) 尿路結石症診療ガイドライン 2023年版 日本泌

尿器科科学会ほか編

- 3) Assimos D, Krambeck A, Miller NL, et al.: Surgical management of stones: American Urological Association/Endourological Society Guideline, PART I. *J Urol* **196**: 1153–1160, 2016
- 4) Türk C, Petřík A, Sarica K, et al.: EAU Guidelines on interventional treatment for urolithiasis. *Eur Urol* **69**: 475–482, 2016
- 5) Grasso M and Bagley D: Small diameter, actively deflectable, flexible ureteropyeloscopy. *J Urol* **160**: 1648–1653, 1998
- 6) Pietropaolo A, Hughes T, Mani M, et al.: Outcomes of Ureteroscopy and Laser Stone Fragmentation (URSL) for Kidney Stone Disease (KSD): comparative cohort study using moses technology 60 W laser system versus regular holmium 20 W laser. *J Clin Med* **10**: 2742, 2021
- 7) Ibrahim A, Elhilali MM, Fahmy N, et al.: Double-blinded prospective randomized clinical trial comparing regular and moses modes of holmium laser lithotripsy. *J Endourol* **34**: 624–628, 2020
- 8) Li P, Ma Y, Yuan C, et al.: Comparison of the efficacy and safety of holmium laser with the Moses technology and regular mode for stone treatment: a systematic review and meta-analysis. *BMC Urol* **23**: 99, 2023
- 9) Gauhar V, Teoh JY, Mulawkar PM, et al.: Comparison and outcomes of dusting versus stone fragmentation and extraction in retrograde intrarenal surgery: results of a systematic review and meta-analysis. *Cent European J Urol* **75**: 317–327, 2022
- 10) Stern KL and Monga M: The Moses holmium system-time is money. *Can J Urol* **25**: 9313–9316, 2018

(Received on February 22, 2024)

(Accepted on May 27, 2024)