

## Применение гольмиевого лазера для лечения верхней части мочевых путей

Деметриус Багли, доктор медицины, и Михаэль Эрхард, доктор медицины

*Отделение урологии. Университет Томаса Джефферсона, Филадельфия, Пенсильвания, США*

---

**Резюме.** Гольмиевый (Ho:YAG) лазер обеспечивает эффективное дробление мочеточниковых конкрементов любого состава. Он также обеспечивает абляцию ткани, включая новообразования. Для подвода лазерного излучения используются маленькие гибкие кварцевые световоды, которые благодаря небольшому диаметру идеально подходят для проведения лечения в верхней части мочеточника с использованием жестких или гибких уретероскопов. Конечно, применение лазера для лечения требует осторожности, однако комбинация точной регулировки в сочетании с ограниченным проникновением в ткань создают условия для их безопасного использования в мочеточнике. Приводится подробное описание методов дробления конкрементов, абляции опухоли и рассечения стриктуры. Ключевые слова: лазер, гольмий, уретероскопия, конкременты, мочеточник.

---

---

Получено: 15 декабря 199\_ года; принято в печать 3 января 1995 года,

Адрес для корреспонденции и запроса репринтов: Dr. D. Bagley at Department of Urology, Thomas Jefferson University, Philadelphia, PA 19107, U.S.A.

Эндоскопические методы находят все более и более широкое применение при проведении вмешательств в верхней части мочеточника. Уретероскопия, как жесткая, так и гибкая, первоначально разработанная исключительно для проведения обследований и вмешательств на дистальном мочеточнике, постепенно стала использоваться для средней и проксимальной части мочеточника, а также на внутрипочечной собирательной системе (1,2). Увеличение ассортимента инструментов при одновременном уменьшении их размеров расширило возможности лечения. Для выполнения более сложных терапевтических процедур при дроблении конкрементов, абляции опухоли и рассечении стриктуры необходимы более эффективные инструменты меньших размеров.

Применение лазеров привело к расширению роли терапии в уретероскопии. Импульсный лазер на красителе был первым лазером, получившим широкое распространение и пригодным для дробления конкрементов (3-5), Именно это явилось существенным шагом вперед, позволившим использовать эндоскопы меньших размеров для проведения лечения.

Неодимовый ИАГ-лазер представляет собой еще одно устройство, обеспечивающее специфические преимущества для эндоскопической терапии (см. 6). Небольшой световод в рабочем канале эндоскопа малого диаметра можно подвести через мочеточник во внутрипочечную собирательную систему для абляции относительно больших объемов ткани.

Теперь для использования в урологии стал доступен гольмиевый ИАГ-лазер (Ho:YAG), Такой лазер пригоден для дробления конкрементов и абляции ткани (7, 8). Для подвода излучения лазера применяется маленький гибкий световод, так что указанный лазер может использоваться для выполнения большинства иктервенционных процедур, необходимых при лечении верхней части мочеточника.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

### Инструменты

#### *Лазер*

Гольмиевый ИАГ-лазер излучает с длиной волны 2100 нм в импульсном режиме. На имеющихся лазерах обеспечивается регулировка энергии каждого импульса и частоты. При этом энергию можно изменять в диапазоне от 0,2 до 2,8 Дж, а частоту - от 5 до 30 Гц. Для передачи сгенерированного светового излучения можно использовать световоды низкой водяной плотности (low water density) размером от 365 до 550 мкм (ядро световода). Также можно использовать световоды с боковым излучением. Генерируемое гольмиевым ИАГ-лазером излучение поглощается тканью на глубине менее 0,5 мм. Получаемое излучение отличается от излучений других лазеров, т.к. отсутствует рассеяние излучения вперед, что имеет место у неодимового ИАГ-лазера, и, в отличие от СО2-лазера, излучение может передаваться по гибкому световоду. Технические характеристики лазера: длина волны - 2100 нм; энергия импульса - от 0,2 до 2,8 Дж; частота - от 5 до 30 Гц; световоды - размер от 320 до 550 мкм (низкая водяная плотность),\*

**ТАБЛИЦА 1**      *Применение гольмиевого ИАГ-лазера в верхней части мочевых путей*

	Энергия	Частота
Конкремент	0,2-0,8(0,5)	4-8(5)
Опухоль	0,8-1,2(1,0)	8- 12(10)
Рассечение	0,8-1,5(1,2)	8-15(12)

(начальное выбираемое значение)

\* Coherent. 3270 West Bayshore Road Palo Alto. CA 94303-0810.

## *Эндоскопы*

В уретероскопии используются жесткие и гибкие эндоскопы. Жесткие эндоскопы применяются в основном для выполнения процедур и обследований дистальной части мочеточника, у некоторых пациентов жесткие эндоскопы могут использоваться для выполнения процедур и обследований средней и проксимальной частей мочеточника. Отклоняющиеся гибкие уретероскопы можно использовать в проксимальной части мочеточника и во внутривнепочечной собирающей системе для доступа ко всем участкам (9). Для размещения световода небольшого размера необходимо, чтобы рабочий канал имел диаметр не менее 2,2 F.

## **Методы**

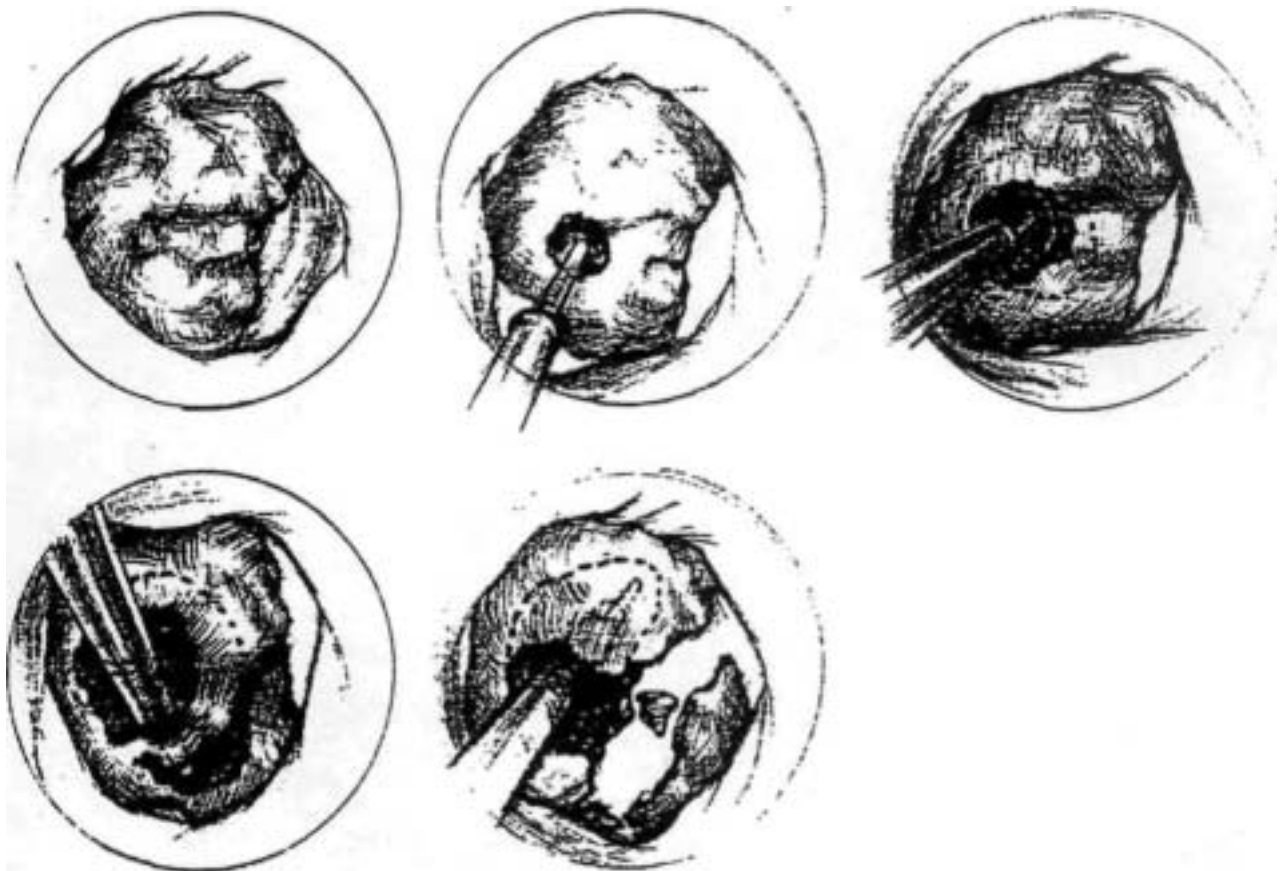
### *Дробление конкрементов*

С помощью гольмиевого лазера можно выполнять дробление конкрементов любого состава. Подвод к конкременту лазерного излучения через световод приводит к просверливанию в поверхности камня небольшого и неглубокого отверстия. Продолжая передавать импульсы лазерного излучения и перемещая световод вперед, можно просверлить конкремент насквозь. При этом очень важно обеспечение управления глубиной проникновения световода в конкремент. Процесс дробления конкремента начинается обычно при 0,5 Дж и 5 Гц (табл. 1). При проявлении эффекта воздействия на конкремент указанные параметры можно изменять соответствующим образом. Так, при обработке твердых конкрементов может потребоваться более высокая энергия, а повышение частоты может привести к ускорению движения конкремента. Для охлаждения ирриганта, конкремента, ткани, а также для удаления из поля зрения фрагментов конкремента должна обеспечиваться постоянная ирригация.

Для удаления конкремента можно использовать разнообразные методы. Мы сгруппировали их в три следующие группы: *"сверление и удаление ядра"*, *"абляция и откалывание"* и *"непосредственное дробление"*. Для анализа состава конкремента при использовании любого из методов следует выводить в исходном состоянии фрагмент конкремента подходящего размера. Далее приводится описание каждой из групп методов.

Обработка при использовании метода из группы "сверление и удаление ядра" начинается с подвода световода к конкременту для сверления отверстия в центре. Наконечник лазерного световода остается в центре конкремента при испускании импульсов лазерного излучения. Таким образом обеспечивается удаление центральной части или ядра конкремента. После этого выполняется непосредственное дробление внешней поверхности конкремента с удалением больших фрагментов или же полная абляция конкремента (рис. 1А-Е).

А-С



**РИС.1. А-Е:** Дробление конкремента может быть выполнено подведением световода к центральному участку выделенной поверхности. При воздействии лазерного излучения в центре конкремента образуется отверстие, ядро конкремента удаляется последующими лазерными импульсами. Затем выполняется непосредственное дробление внешнего слоя и удаление фрагментов (сверление и удаление ядра).

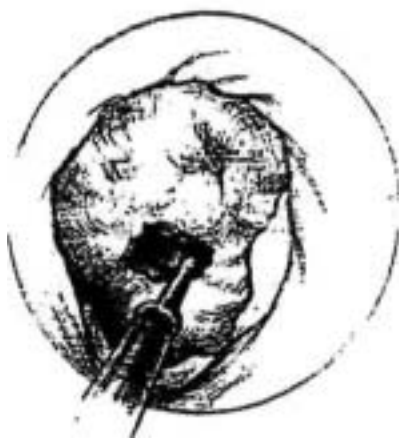
Необходимо соблюдать осторожность при сверлении относительно больших отверстий, когда горячий ирригант и образовавшийся пар могут выйти наружу из центра конкремента. Перегрев в этой зоне может привести к расплавлению световода. Не следует слишком быстро перемещать световод вперед, так как при этом возможно сквозное прохождение конкремента и повреждение мочеточника. После абляции центральной части может возникнуть необходимость в удалении фрагментов конкремента, скрытых за отечной слизистой оболочкой мочеточника.

Обработка методом *"абляции и откалывания"* начинается после подготовки отверстия в центре. Световодом осуществляются круговые движения относительно отверстия, что приводит к его увеличению. Световод все время подводится к кромке углубления. Когда световод отходит на расстояние 1-3 мм от просвета углубления, начинают образовываться осколки, и процесс удаления конкремента ускоряется. В результате образуется большое центральное углубление. Кромки конкремента можно удалять по окружности (рис. 2А-Д). При использовании рассмотренной группы методов необходимо соблюдать осторожность при удалении серповидных фрагментов, расположенных по периферии мочеточника. Такие фрагменты могут быть затенены отечной слизистой оболочкой мочеточника и для их локализации может потребоваться проведение тщательного обследования,

Метод *"непосредственного дробления"* может применяться для удаления конкрементов небольших размеров или фрагментов больших конкрементов. В этом случае световод подводится к поверхности конкремента таким образом, чтобы он располагался вдоль плоскости дробления. Подвод световода к малым фрагментам и воздействие на них лазерным излучением приводит к их разбиению на два и более осколков еще меньшего размера (рис. 3А-Д). В результате образуются осколки малых размеров, спонтанно выходящие из мочеточника и которые можно не удалять специально, и осколки, имеющие относительно большие размеры, для удаления которых следует воспользоваться захватами или специальными приспособлениями типа "решетка" (basket).



A.B

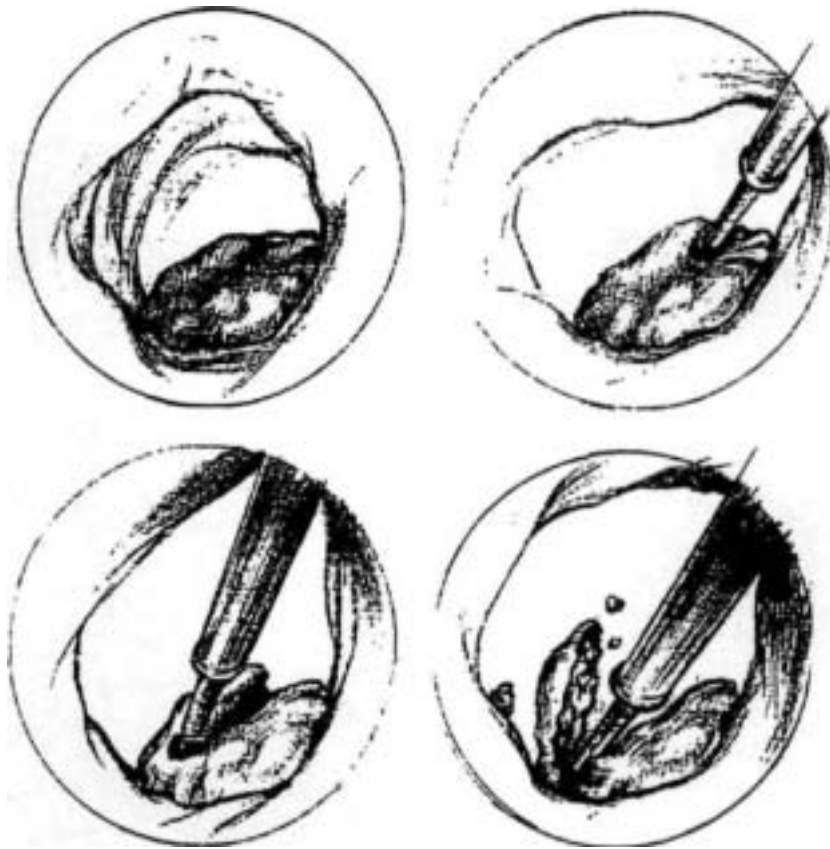


C.D



**РИС. 2. А-Д:** Дробление конкремента может быть выполнено методом абляции и откалывания. Сначала на поверхности конкремента высверливается отверстие, затем оно увеличивается откалыванием фрагментов конкремента от кромок углубления. Образуется большое центральное углубление и происходит удаление периферийного конкремента,

A. B



CD

**РИС. 3. А-Д:** Для небольших конкрементов и фрагментов больших конкрементов можно использовать метод непосредственного дробления. В этом случае световод подводится к поверхности конкремента так, чтобы он располагался вдоль плоскости дробления или по центру обрабатываемого фрагмента, после чего на конкремент оказывается воздействие лазерным излучением.

### *Лечение опухолей*

Гольмиевый лазер можно также использовать для абляции ткани. Благодаря ограниченной глубине проникновения, составляющей менее 0,5 мм, возможно очень тонкое регулирование и ограничение иссечения очень малой зоной. Подобное ограничение приводит к ситуации определяемой как "то что Вы видите, то Вы и имеете". Лазерное воздействие действительно приводит к абляции с удалением ткани, что существенно отличается от воздействия неодимового ИАГ-лазера, приводящего к коагуляции ткани без ее удаления. Лазер наиболее удобен для выполнения процедур в верхней части мочеточника при удалении закупоривающей ткани, открытии мочеточника или воронки. Благодаря ограниченной глубине проникновения и точному контакту возможно лечение поражений, находящихся непосредственно над подвздошными сосудами.

При использовании гольмиевого ИАГ-лазера для абляции световод размещают рядом с удаляемой тканью или подводят непосредственно к ней. Лазер настраивают на 0,8 - 1,2 Дж при частоте 8 - 12 Гц и включают (табл. I). Происходит немедленное побеление ткани и рассеяние некротических остатков (рис. 4А-С). Более быстро ткань можно удалить при использовании большего световода, более высокой энергии и частоты. Однако, при использовании более высокой частоты происходит большее движение ткани. Возможны некоторые сложности при определении базы опухоли, т.к. ткань отображается бледно, часто имеет неправильную форму. База должна четко отличаться от контура окружающих тканей.

### *Рассечение*

Гольмиевый лазер можно также использовать для рассечения ткани. Лазерное излучение применяется линейно, вдоль линии рассечения. Рассечение происходит с хорошим гемостазом и ограниченным повреждением ткани. При рассечении световод должен прикасаться к ткани. Более высокие скорости можно использовать при более продолжительном воздействии. В некоторых случаях возможны сложности при позиционировании световода, в первую очередь это относится к верхней части мочеточника. На этом уровне довольно часто бывает

сложно направить световод жестким уретероскопом, и также может быть сложно отклонить гибкий уретероскоп для подвода световода к рассекаемой стенке. Разрабатываемый световод малого диаметра (менее 1 мм) бокового излучения поможет решить некоторые из этих проблем. Гольмиевый лазер использовался при энергиях 1 - 1,5 Дж при частоте 12 - 15 Гц или выше. Узкие области для рассечения включают проксимальные и дистальные стриктуры и закупорку места перехода почечной лоханки в мочеточник.



**РИС. 4. А-С:** С помощью гольмиевого ИАГ-лазера можно осуществлять абляцию и удаление новообразований, образуется очень четкая разграничительная линия с хорошим гемостазом.

#### *Риск*

Гольмиевый ИАГ-лазер обеспечивает абляцию ткани, следовательно, он может повредить проволочный направитель или катетер. В связи с этим необходимо соблюдать особую осторожность при использовании лазера данного типа. Для достижения требуемого эффекта без повреждения других структур можно использовать тонкое регулирование, обеспечиваемое ограниченной глубиной проникновения лазерного излучения, и локализованное управление данного лазера.

### *Клинический опыт применения*

Гольмиевый ИАГ-лазер использовался в верхней части мочеточника для лечения конкрементов, опухолей и рассечения стриктур при проведении 43 процедур для 37 пациентов в возрасте от 24 лет до 81 года, Среди пациентов были 20 мужчин и 17 женщин. Данные по показаниям для лазерной терапии, диапазону энергии (для импульса) и частоте, а также общей энергии приведены в таблице 2.

ТАБЛИЦА 2. *Опыт применения гольмиевого ИАГ-лазера*

Объект	Энергия (Дж)	Частота (Гц)	Общая энергия (кДж) (средняя)
<b>Конкремент</b>			
мочеточник	0,2 - 0,8	3 - 16	0,11 - 18,4 (3,53)
почечная лоханка	0,4 - 1,4	6 - 16	0,35 - 37,77 (10,29)
<b>Опухоль</b>			
мочеточник	0,6 - 1,2	10 - 16	0,08 - 13,03 (4,92)
почечная лоханка	0,6 - 1,0	10 - 12	0,24 - 15,28 (5,02)
Рассечение	1,2 - 1,4	14 - 16	0,48 - 11,22 (3,70)

## ОБСУЖДЕНИЕ

Гольмиевый ИАГ-лазер очень эффективен при раздроблении конкрементов, абляции ткани, включая новообразования, и при лечении внутрипросветных сужений. Благодаря этому рассматриваемый лазер становится уникальным инструментом для применения в урологии, ведь указанные три применения охватывают большинство показаний для не диагностической эндоскопии в верхней части мочевых путей (10). Терапевтический эффект воздействия лазера обеспечивается подводом лазерного излучения по световоду небольшого диаметра, что делает гольмиевый ИАГ-лазер отличным инструментом для использования в малых жестких и гибких уретероскопах.

Преимущества и недостатки применения гольмиевого ИАГ-лазера при выполнении процедур в верхней части мочевых путей: (а) преимущества - эффективен для всех конкрементов, обеспечивается дробление на очень маленькие фрагменты, небольшое перемещение объекта, отсутствие кровотечения, абляция ткани; (б) недостатки - возможность повреждения здоровой ткани и проволочного направителя, необходимость сохранения фрагмента конкремента для анализа, необходимость определения глубины сверления, "пурга" фрагментов и остатков органических веществ (табл. 3).

Лечение каменной болезни остается главным показанием для жесткой и гибкой уретероскопии. Локализация конкремента возможна в пределах всего мочеточника и во внутрипочечной собирательной системе, ко всем конкрементам обеспечен уретероскопический доступ. Значительное количество конкрементов можно удалять без предварительной обработки, однако в большинстве случаев конкременты необходимо предварительно дробить. Гольмиевый ИАГ-лазер обеспечивает эффективное дробление конкрементов всех типов, В том числе обеспечивается дробление даже цистиновых конкрементов и конкрементов кальция оксалата моногидрата. Оказываемое на конкремент воздействие лазерным излучением должно привести к абляции и образованию небольшого углубления на поверхности конкремента. После этого возможно его углубление пу-

тем сверления вглубь конкремента или увеличение углубления по окружности при удалении конкремента большого размера (см. рис. 1). Образующиеся маленькие фрагменты вымываются ирригантом. Некоторые из фрагментов прилипают к поверхности слизистой оболочки. Необходимо соблюдение осторожности и предотвращение контакта световода с мочеточником, т.к. в противном случае возможно повреждение ткани. При позиционировании световода рядом с поверхностью конкремента или непосредственно на его поверхности обеспечивается хорошо регулируемый процесс дробления.

Применение гольмиевого лазера заметно отличается от применения импульсного лазера на красителе. Несмотря на то, что в обоих лазерах используются гибкие световоды, имеет место существенное различие в эффекте воздействия лазерного излучения. Гольмиевый лазер оказывает одинаковый эффект независимо от состава конкремента, в то время как импульсный лазер на красителе не обеспечивает дробление цистиновых конкрементов и может дробить конкременты кальция оксалата моногидрата только при повышенном уровне энергии. Воздействие гольмиевого лазера приводит к образованию углубления на поверхности конкремента. Воздействие импульсного лазера на красителе приводит к разбиванию более хрупких конкрементов, например, конкрементов кальция оксалата дигидрата, и лишь к образованию небольших углублений на поверхности конкрементов кальция оксалата моногидрата. Гольмиевый ИАГ-лазер используется в нижнем энергетическом диапазоне, в то время как импульсный лазер на красителе часто применяется при максимальной энергии на выходе. Гольмиевый лазер является твердотельным, и его техобслуживание не требует серьезных затрат, в то время как в импульсном лазере на красителе используется биологически стареющий кристалл, замена которого должна осуществляться через определенное количество недель даже в том случае, если лазер на красителе не использовался.

**ТАБЛИЦА 3.** *Некоторые сложности, возникающие при эксплуатации лазера, и их устранение*

Проявление	Порядок устранения
Отсутствие эффекта воздействия	Проверьте световод. Прикоснитесь световодом к объекту. Увеличьте энергию.
Перемещение объекта	Уменьшите частоту.
Слишком слабый эффект	Увеличьте частоту. Увеличьте энергию.
Пузырьки затемняют зону наблюдения	Аспирация, ирригация, изменение позиции пациента.

Эффект воздействия излучения гольмиевого лазера на ткань, будь то новообразование, стриктура или здоровая ткань, имеет очень локализованный характер и хорошо регулируется. Для обеспечения эффективного воздействия необходимо, чтобы световод находился в непосредственной близости от ткани или касался ее. При выполнении этого условия достигается хорошо регулируемая абляция или хорошо регулируемое рассечение. Так, например, можно не боясь рассеяния лазерного излучения по стенке мочеочника и попадания его в сосуды, удалять опухоли, находящиеся непосредственно над подвздошными сосудами. В ходе лечения происходит удаление ткани, что позволяет восстанавливать просвет в мочеочнике даже при закупоривающем новообразовании. Возможны затруднения при определении точной базы повреждения, которое необходимо идентифицировать, обследуя контур просвета. Возможно очень хорошее регулирование рассечения, при этом ткань можно разделять буквально волокно за волокном. Поддержание гемостаза обеспечивает адекватную видимость. Однако, как и во всех остальных случаях применения лазерного излучения через уретероскоп, возможны некоторые сложности при позиционировании световода.

Точное позиционирование является обязательным условием вследствие огра-

ничейного и регулируемого эффекта воздействия лазерного излучения. Обычно эти проблемы можно решить, используя подходящий эндоскоп.

Применение гольмиевого ИАГ-лазера при уретероскопическом применении в верхней части мочевых путей обеспечивает целый ряд преимуществ. Гольмиевый ИАГ-лазер эффективен при дроблении конкрементов, абляции новообразований и рассечении стриктур. Методы применения, включая настройки энергии и частоты, варьируются в зависимости от выполняемой процедуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Huffman, J. L., Bagley, D. H., and Lyon. E, S.: Extending cystoscopic techniques into the ureter and renal pelvis: ureteroscopy and pyeloscopy, JAMA 250: 2002-5, 1983,
2. Bagley. D, H., Huffman. 1 L. and Lyon. E. S.; Flexible ureteropyeloscopy: diagnosis and treatment in the upper urinary tract, J. Urol.,. 138: 280-5, 1987.
3. Watson, G. M. and Wickham. J, E. A.: Initial experience with a pulsed dye laser for ureteral calculi. Lancet. 1: 1357, 1986.
4. Dretler. S. P.: An evaluation of uretera! laser lithotripsy: 225 consecutive patients. J. Urol., 143:267-72, 1990.
5. Bagley, D. H., Grasso, M, Shalaby, M., and Abass El-Akkad, M: Ureteral laser lithotripsy using the pulsolith, J. Endourol., 3: 91 -8,1989.
6. Schmeller, N. T., and Hofstetter, A.: Laser treatment of ureteral tumors. J. Urol., 141:840-3, 1989.
7. Sayer. J., Johnson, D. E., Price, R. E., and Cromeens. D M.: Ureteral lithotripsy with the holmiunrYAG laser J. Clin. Laser Med. Surg., II: 61-5, 1993.
8. Johnson. D. E.: Use of the holmium:YAG laser for treatment of superficial bladder carcinoma. Lasers Surg, Med,, 14: 213-8,, 1994.
9. Bagley, D. H.: Ureterscopic stone retrieval: rigid vs, flexible endoscopes. Semin. Urol. 12:32-38, 1994.
- 10- Abdel-Razzak, O. M., and Bagley, D. R: Clinical experience with flexible ureteropyeloscopy. J. Urol, 148: 1788-92, 1992.