science endoUrocenter

Виды энергии для литотрипсии

Подготовил студент 5 курса
СЗГМУ им. И.И.Мечникова

Перфильев Марк

2020 год

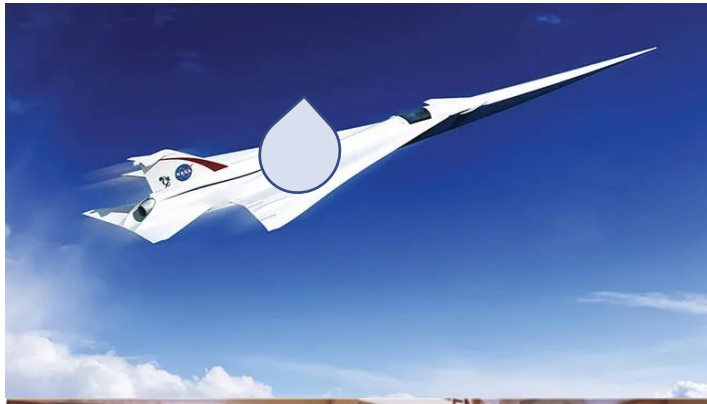
ENDOUROCENTER

Методы энергии применяемые для лечения уролитиаза

- 1. Дистанционные: ДЛТ
- 2.Контактные (с пневматическим, ультразвуковым, электрокинетическим (EHL); и лазерным видом генерации энергии)

ДУВЛ(ДЛТ)(SWL,ESWL). История развития метода

- **1960-е открытие Клода Дорнье**



- **1980 г. -Литотриптер «Human Model 3» (HM-3)**

- **Современный период**

Физические принципы

- Ударные волны - это акустические импульсы большой энергии.
- Вырабатываются экстракорпорально с различным уровнем энергии с помощью множества методов (электрогидравлические, электромагнитные, пьезоэлектрические)
- Внутри тела ударные волны проходят через водные среды ,что позволяет сфокусироваться в предполагаемой области лечения.
- При столкновении с твердым субстратом создается множество сил, таких как высокоэнергетические пики положительного давления (разрыв / сдвиг сил), отрицательные силы растяжения, отслаивание, квазистатическое сжатие и кавитация (схлопывание полостей), что в конечном итоге приводит к фрагментации целевых камней

Предикторами успеха SWL являются:

- расположение
- размер
- минеральный состав (твердость) камня

Чем тверже камень- тем хуже лечение!

Фокусировка на камне

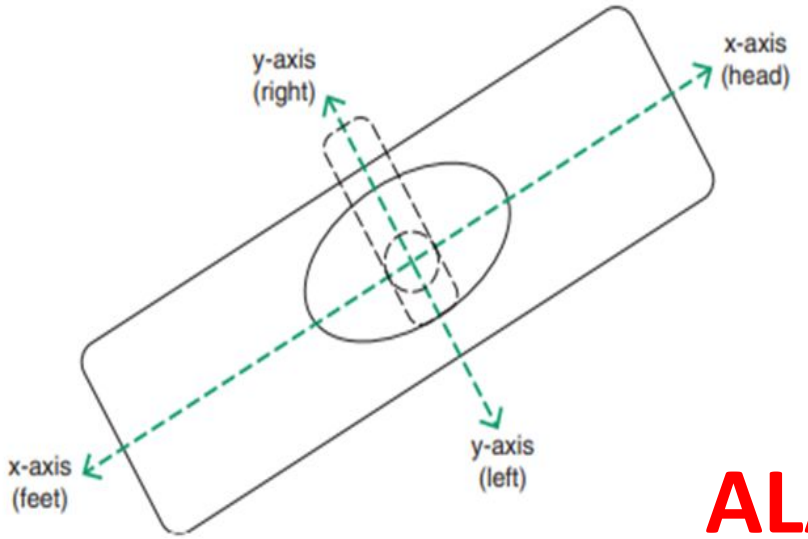
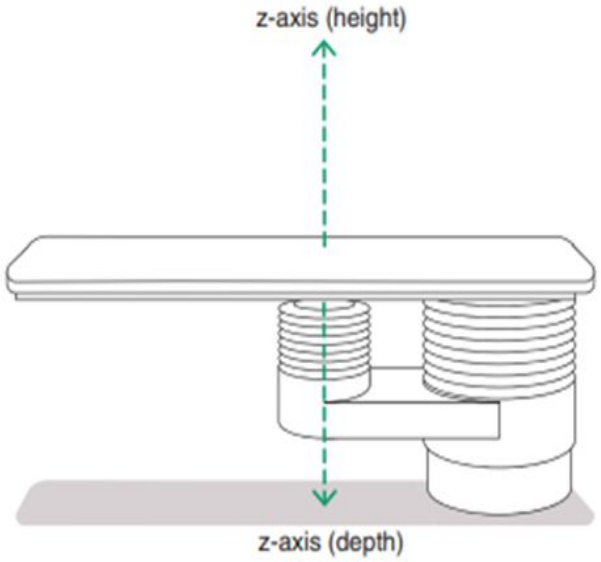
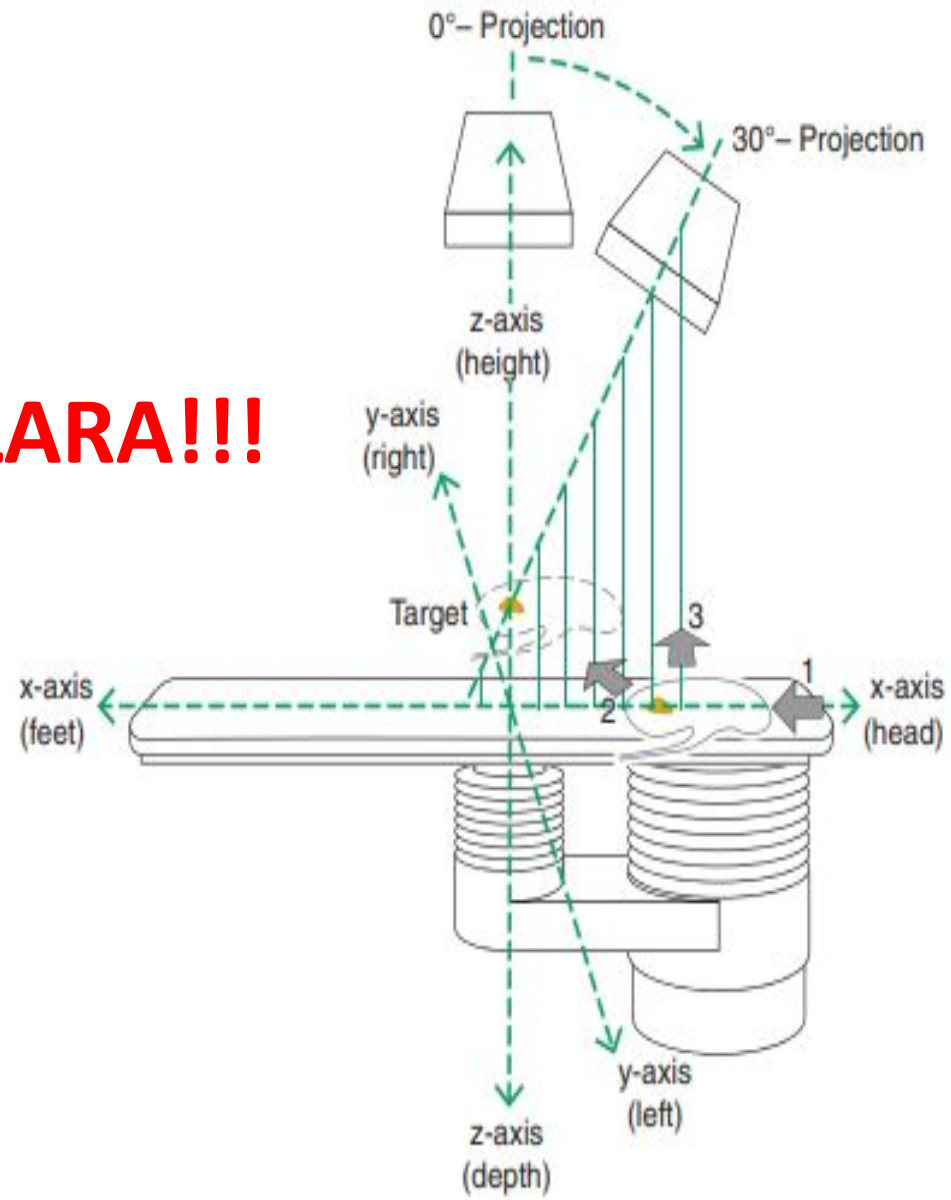


FIGURE 1.2 Defining x- and y-axis

ALARA!!!





Факторы затрудняющие локализацию:

- Высокий индекс массы тела,
- Медиолатеральная локализация
- Частичное перекрытие костными структурами,
- Флеболиты
- Кишечные газы
- Анатомические аномалии

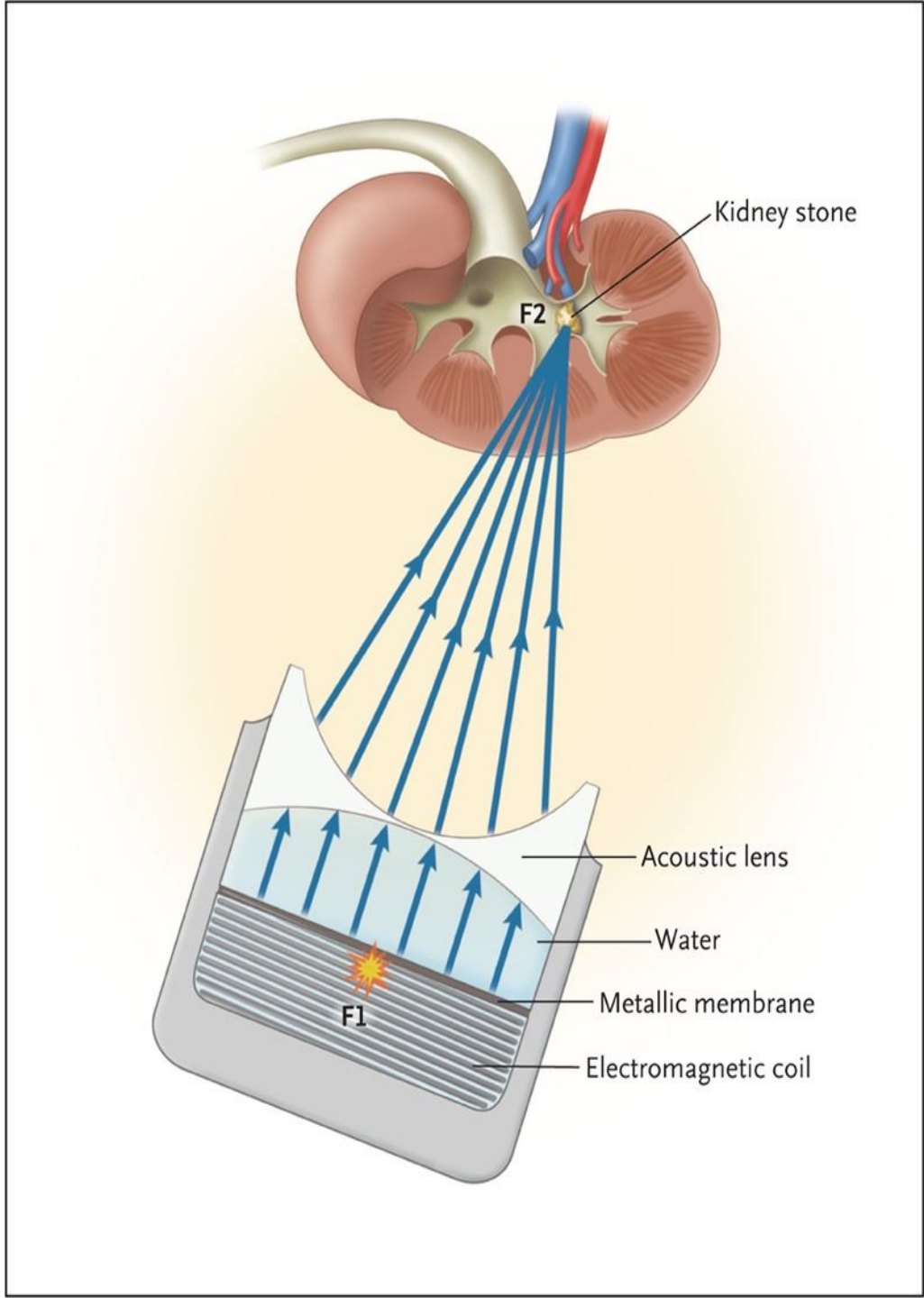
Фокусировка

- **Камни мочеточника - узкая коллимация рентгеновских лучей + более высокая энергия**

Низкий риск смещения!!!

- **Камни в почках - больший фокус + более низкая энергия**

т.к возможна дислокация



Рампинг

Низкий уровень энергии → Высокий

Клинически доказано, что частота 90 Гц приводит к лучшей фрагментации и меньшему повреждению тканей по сравнению с 120 Гц

Уровень энергии – не статичен!!!

зависит от:

- Локализации камня
- Анатомии мочевыводящих путей

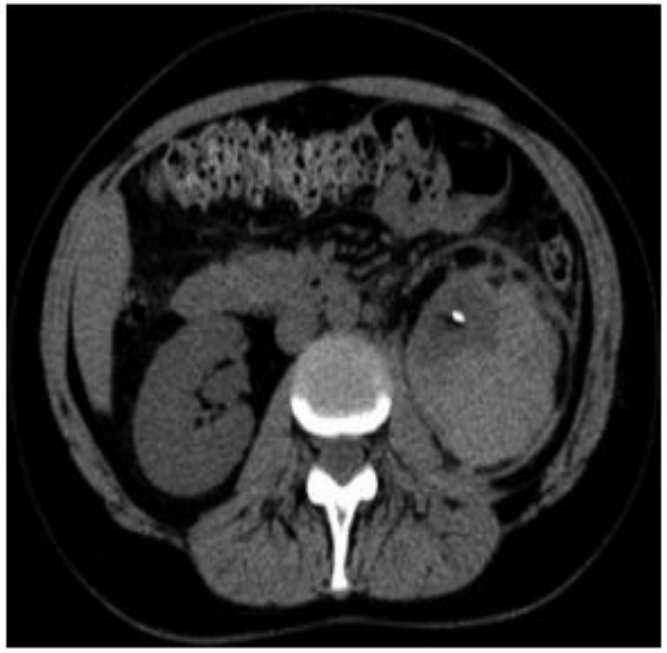


FIGURE 1.9 Perirenal left-sided hematoma first day after SWL with stone still visible

Положение пациента

- Стандарт- лежа на спине!
- **Положении лежа на животе выбирается когда 100% камня (ей) перекрывается костными структурами**

Специальные техники позиционирования

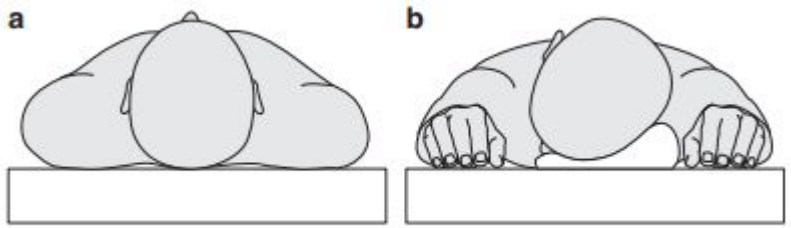


FIGURE 1.7 (**a**) Supine position. (**b**) Prone position

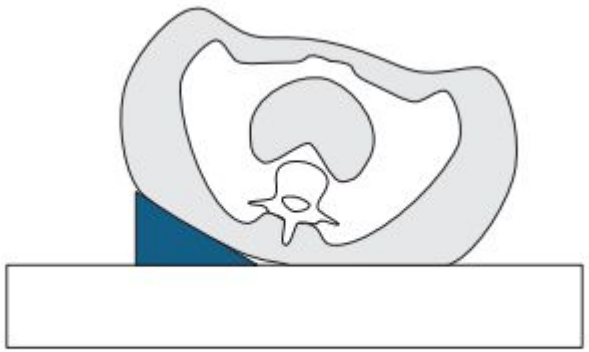


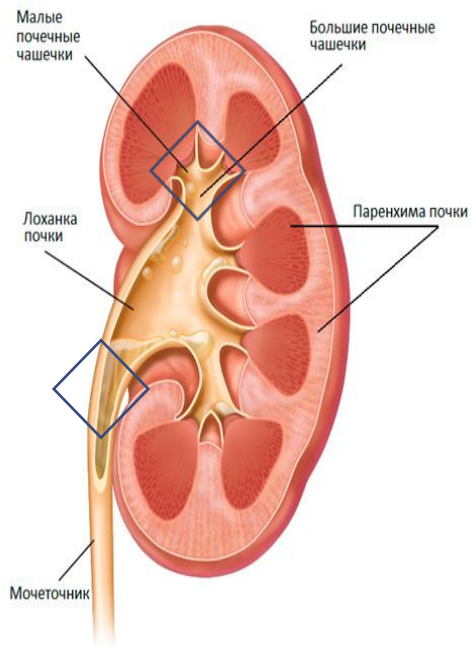
FIGURE 1.8 Wedge-shaped cushion placed underneath the opposite side of the pelvis

Анестезия

Benefits of treatment under anaesthesia	Benefits of treatment under analgesia
Less patient movements ⇒ More shock waves in target	No anaesthetic risks
More consistent breathing movements ⇒ More shock waves in target	
Higher maximum energy levels	
Entire therapy in one session	
Possibly: shorter fluoroscopy times	
Possibly: shorter treatment duration	

Факторы ограничивающие успех SWL

- **Твердый камень**
- **Высокая плотность по Хаунсфилду 1000 или более**
- **Особенности анатомии шейки чашечки**
- **Анатомические особенности (например, узость пиеломочеточникового сегмента, подковообразная почка),**
- **Костные деформации (сколиоз)**
- **Инородные тела (костный цемент, эндопротез бедра).**
- **Массивное ожирение**



Осложнения после ESWL

Общая частота осложнений по сравнению с URS и PCNL у SWL ниже !!!

- Кожное кровоизлияние в области контакта с генератором
- **Паренхиматозная или капсульная гематома почки**

Риск гематом: маленький фокус, двустороннее воздействие, ожирение и кахексия, отсутствие рампинга, антикоагулянты

- Гематурия
- Аритмия
- Осложнение отхождения фрагментов

Противопоказания для ESWL

- **Инфекция мочевыводящих путей → риск уросепсиса.**
- **Нарушение дренажа дистальнее камня → обструкция→ риск уросепсиса.**
- **Нарушение гемостаза → риск кровотечения.**
- **Антикоагулянты → риск кровоизлияния**
- **Неконтролируемая гипертензия → риск гематомы**
- **Почечная недостаточность → отхождение камней невозможно.**
- **Аневризма в целевой области → риск разрыва**
- **Камни, которые невозможно обнаружить при помощи обычного рентгена, рентгеноскопии или ультразвука, например при массивном ожирении**
- **Беременность → потенциальный вред для плода.**

Электрогидравлическая литотрипсия (ЭГЛ)

- 1950 г. первое применение ЭГЛ при дроблении камней в мочевом пузыре
- В СССР Юткин в 1955 году → 1965 г. 1-ый «советский» литотриптор «Урат-1»
- ↓размера зонда и ↓длительности импульса до микросекундного диапазона

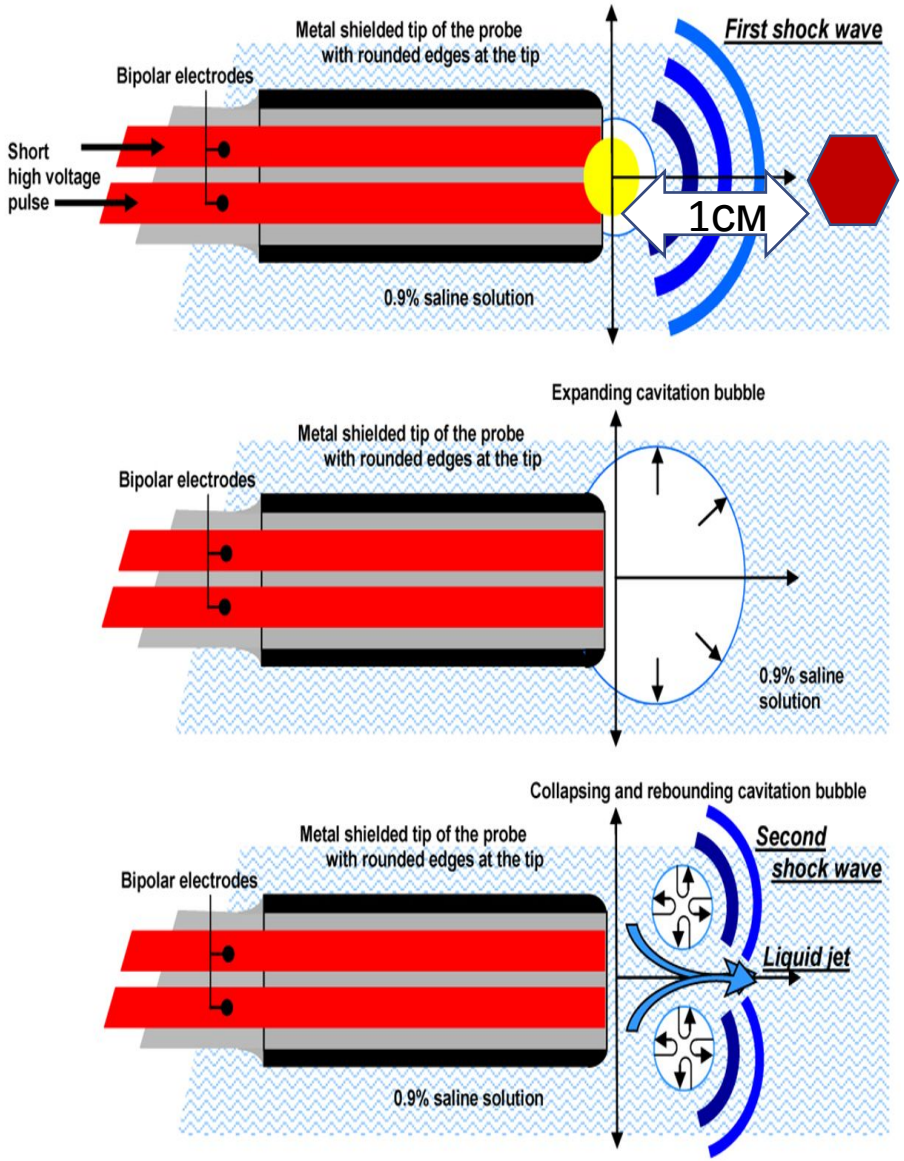
↑безопасности и еѐ начали применять для литотрипсии в проксимальном отделе мочевыводящих путей.

- 1988 было впервые описано применение EHL в для эндоскопического лечения камней нижнего полюса
- Применение EHL для лечения камней дистальной трети
- 2003 А.А.Камалов поместил электрогидравлический зонд в кожух литоэкстрактора (четырехстворчатую корзину Дормиа)

Физические принципы

Механизм действия EHL

- 1. В жидкостной среде искровой разряд электрода создает плазму;
- 2. Плазма расширяется со сверхзвуковой скоростью, создавая гидравлическую ударную волну, которая воздействует на конкремент;
- 3. После расширения плазмы образуется кавитационный пузырек диаметром в несколько миллиметров
- 4. Пузырѐк разрушается через 100 микросекунд;
- 5. Коллапс пузырька инициирует вторую ударную волну;
- 6. В зависимости от близости зонда к камню, коллапс пузырька может быть симметричным - в результате сильная эмиссия ударной волны - или асимметричным - ведущим к образованию жидких струй



M.Sternborg, R.Vorreuther и G.M.Preminger

Оптимальное использование

- Размер зонда (1,6-7,0 fr)

Незначительно влияет на величину энергии, воздействующей на конкремент и вероятность фрагментации. Поэтому, зонды меньшего диаметра не менее опасны в плане осложнений

- В мочевом пузыре используются крупные зонды, а в мочеточнике – более мелкие
- Можно применять с жесткими/полужесткими и гибкими уретероскопами

EHL является наиболее эффективным и быстрым способом литотрипсии при камнях мочеточника меньше 15 mm (J.M.H. Teichman)

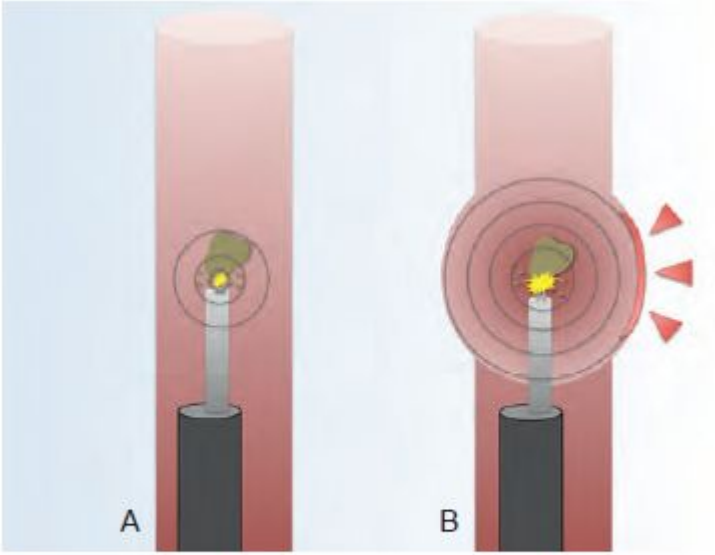


Figure 11-3. A, Electrohydraulic lithotripter probe spark producing a concentric shockwave within the ureter. B, Higher energy settings create cavitation bubbles up to 1.5 cm, increasing the risk of ureteric injury and/or perforation.

Преимущества:	Недостатки:
Фрагментирует все виды конкрементов МВП	Высокотравматичный метод (перфорация мочеточника/ мочевого пузыря)
Небольшая длительность процедуры	Повреждение оптических элементов эндоскопа
	Противопоказан во время беременности

Пневматическая литотрипсия

- Баллистический литотриптор - инструмент с максимальными дезинтеграционными возможностями .При этом дезинтеграция конкремента зависит от типа, локализации и плотности камня
- Успех до 95 % , во всех отделах МВП
- При использовании баллистического вида энергии ткани не испытывают теплового или кавитационного эффектов. В мягких тканях, энергия удара поглощается и рассредоточивается, в то время как в твердых объектах приводит к пер

Состав баллистического литотриптора

- Воздушный компрессор с сжатый газс (воздух или CO2)
- Генератор с ножной педалью
- Рукоятка
- Зонд для литотрипсии

E-3000 pneumatic lithotripter EMD

StoneBreaker (Cook Urological)

Swiss Lithoclast (EMS)

Физические принципы

- Работа литотриптора основана на принципе действия и противодействия. Из компрессора под давлением 3-5 бар выходит дозированный сжатый воздух, который приводит в движение металлический снаряд, расположенный в полой рукоятке-держателе. Благодаря давлению воздуха, происходит ускорение специального снаряда в наконечнике. Он передает кинетическую энергию торцевому концу зонда, и энергия распространяется по нему в результате упругой деформации. При прямом контакте с работающим зондом литотриптора происходит фрагментация конкремента.

Оптимальное использование

Зонды имеют диаметры

- 0,8 мм (№ 2, 4 по шкале Шаррьера - FR)
- 1 мм (3 FR), 1,6 мм (4,8 FR)
- 2 мм: (6 FR).

Частота импульсов (от 6 до 12 Гц)

- Пневматическая литотрипсия эффективна при дроблении более твердых камней и менее эффективна для очень мягких камней; Т.к отбойный молоток производит множество крошечных фрагментов или пробивает отверстия в камне без дробления

Миграция камней

- В тех случаях, когда камень фиксирован в мочеточнике →непрерывный режим.
- Не фиксированный конкремент → часть баллистической энергии переходит в кинетическую→ отталкивает камень от зонда.
- Миграция камней - существенный недостаток при лечении камни мочеточника, поскольку баллистический эффект зонда может продвигать камни в емких мочеточниках в почку.
- Ретропульсия встречается при 10% дистальных и 40% проксимальных камнях
- Если гибкие инструменты недоступны, камни, вымытые в почки, могут потребовать вторичные процедуры (например, ESWL).

Риск миграции фрагментов: зависит от:

- Места
- Степени отдачи
- Размера
- Способа литотрипсии
- Ирригационной системы
- Степени расширения проксимального отдела мочеточника

Антиретропульсия

Антиретропульсивные стратегии:

- Закрепление камня (между зондом и уротелием)
- Обратное позиционирование Тренделенбурга
- Стабилизация корзины
- Проксимальное введение геля лидокаина.

Антиретропульсивные девайсы:

- Stone Cone (Boston Scientific)
- N Trap (Cook Urological)
- Passport balloon (Boston Scientific)
- Parachute (Boston Scientific),
- Accordion (PercSys)
- BackStop gel(Boston Scientific)

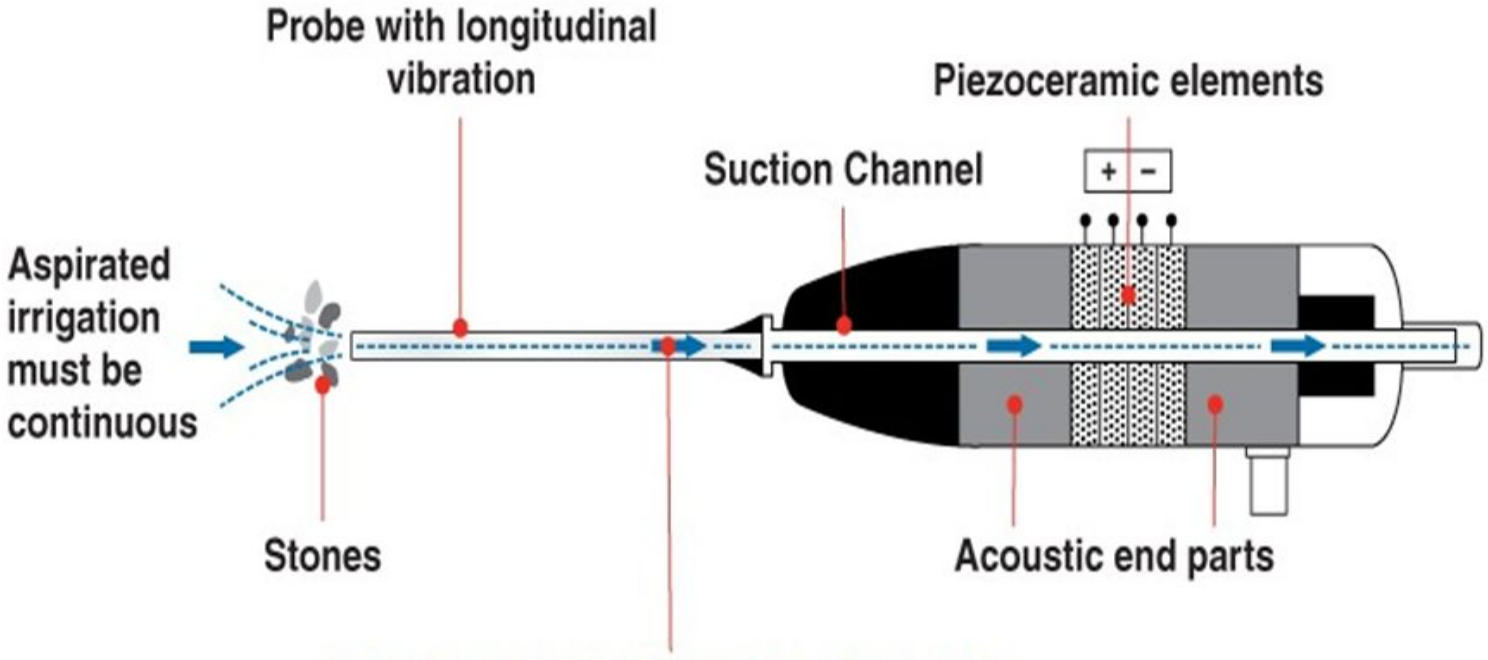
Преимущества:	Недостатки:
Max. эффективность, Min. риск травматизации	Иногда необходима фиксация конкремента → миграция камни, вымытые в почки камни могут потребовать вторичных процедур (например, ESWL)
«Вечные зонды» с ↑ совместимостью	Ограниченное использование в гибких эндоскопах.
Возможность использования в педиатрической практике	
Компактность и подвижность	
Отсутствие эксплуатационных расходов	
Любой способ стерилизации	
Низкая величина критерия цена/производительность	
Простота в работе	
Средняя продолжительность манипуляции составляет 42 мин., а степень разрушения конкрементов достигает 100%.	
Возможность фрагментировать очень твердые камни	
Безопасна для камней упирающихся в уротелий	

Ультразвуковая литотрипсия

- Ещѐ в 1952 году W.D. Mulvaney предпринял первые попытки разрушения мочевых и желчных камней с помощью ультразвука
- В 1955 году R.J. Coats с помощью энергии в 15 кГц, добился частичного разрушения конкремента
- W.I Zheng и J.D. Denstedt описали четыре метода генерации ультразвуковых волн: механический, термический, электростатический и пьезоэлектрический, на практике же, главным образом, использовали пьезоэлектрический метод
- В 1970 году удалось получить ультразвуковую энергию с частотой 20-27kHz, которая оказывала механическое воздействие на камень в продольном и поперечном направлении
- В 1977 году K.H.Kurth и J.Ratherd использовали этот инструмент для дробления конкремента почки через установленную ранее нефростому
- В середине 1970-х K.H.Kurth опубликовал доклад, в котором впервые сообщалось о травматизации тканей мочеточника при ультразвуковой литотрипсии
- В 1979 году H. Marberger, C.E. Alken с соавторами использовали ультразвуковой частотой зонд с 23-26 kHz для интракорпоральной литотрипсии
- С середины 1980-х – УЗ-литотрипсия универсальный инструмент в чрескожной

Состав ультразвукового литотриптера

- Генератор энергии
- Источник ультразвука
- Стержень, образующий сонотрод
- Манипуляторы для захвата и удаления фрагментов камня
- Аспирационная установка



Karl Storz CALCUSON

Richard Wolf

Физические принципы

- Ультразвуковые литотрипторы пропускают электрический ток через пьезокерамические кристаллы, производящие направленные ультразвуковые волны от 23000 до 27000 Гц, которые на его кончике трансформируются в длинно-продольную синусоидальную вибрацию сонотрода. Дезинтеграция конкремента начинается только после непосредственного соприкосновения вибрирующего кончика с поверхностью камня.

Передача энергии осуществляется:

- У твердометаллических зондов- в поперечной плоскости
- У полых зондов- в продольном направлении

При локальном воздействии образуется мелкий мусор

При воздействии на линии разлома- крупное фрагментирование

Преимущества:	Недостатки:
↑ Эффективность , особенно для больших «мягких» камней	Не всегда достаточно мощности для фрагментации «твердых» камней
Полый зонд-сонотрод ультразвукового литотриптора позволяет выполнить одновременное измельчение конкремента и аспирацию раздробленных фрагментов	Отек и денудация слизистых , возможны серьезные осложнения в виде стриктур мочеточника и перфорации его стенки

Двухмодальные литотриптеры

- Сочетают в себе свойства пневматических и ультразвуковых литотриптеров (92% эффективность двухмодального против 85% при использовании только УЗ-литотриптера)
- Меньшее количество вторичных процедур и сокращение времени операции, без увеличения частоты осложнений
- При работе с ними используют красящие и сверлящие движения.

Swiss LithoClast Ultra (BOSTON SCIENTIFIC)

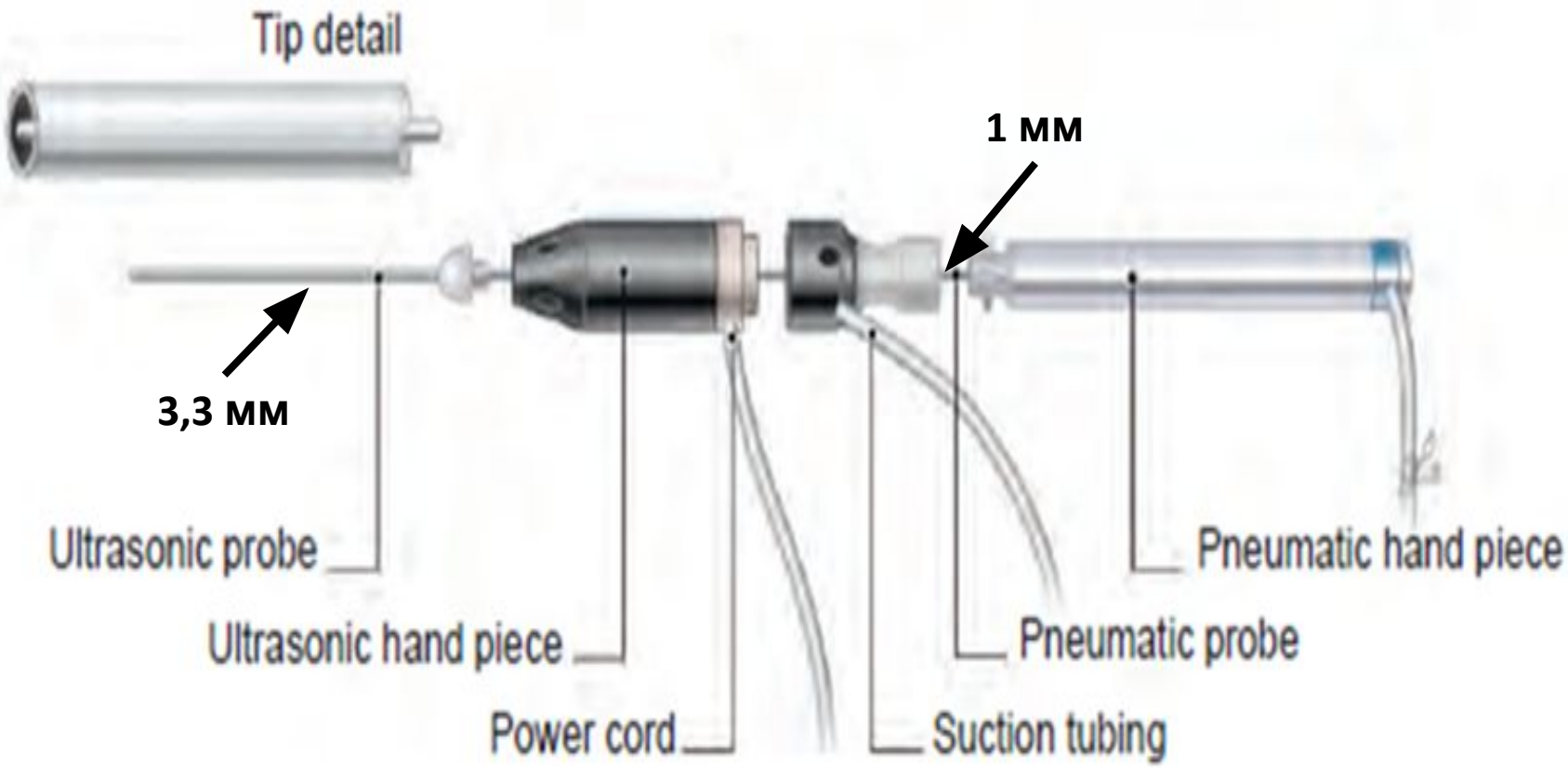
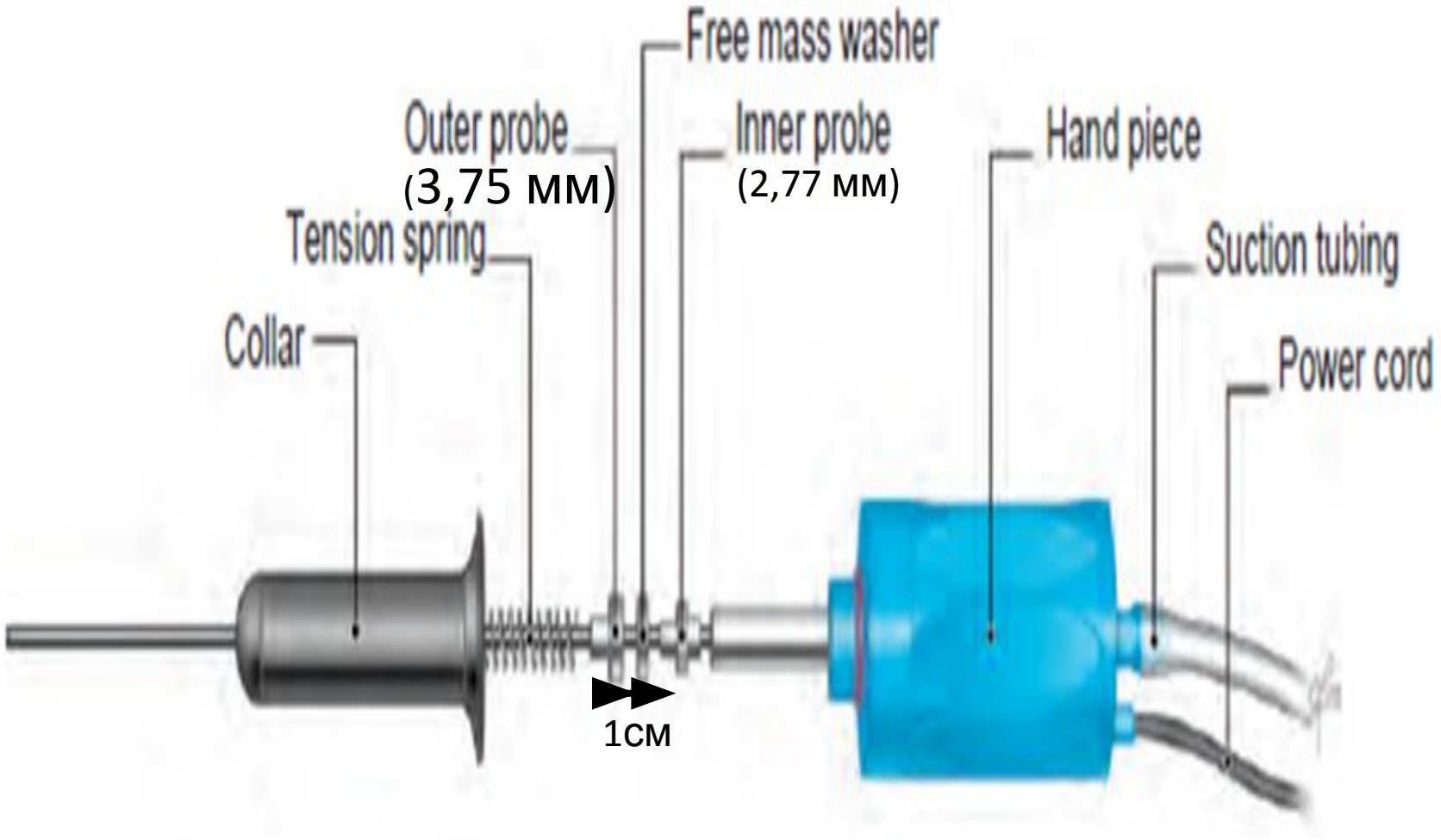


Figure 11-5. **Dual modality lithotripter configurations.**

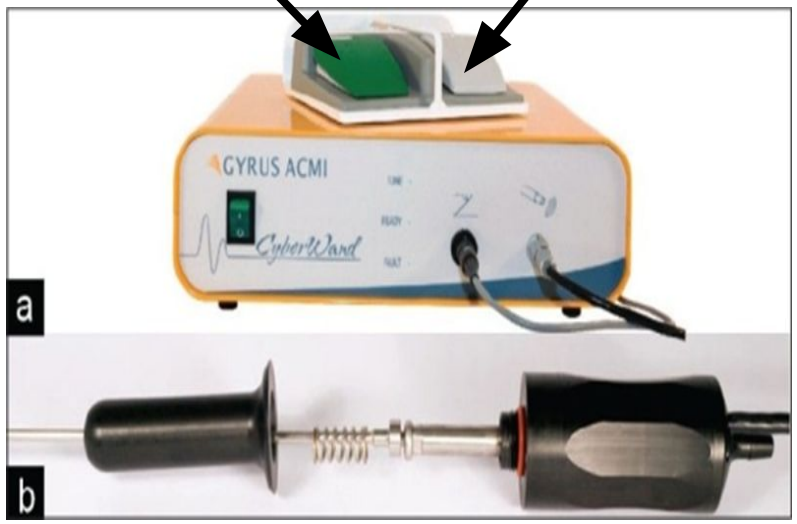
CyberWand (Cybersonics)



- Наружный 1000 Гц
- Внутренний 21000 Гц.

Педаль «маленький» камень

Педаль «большой» камен



Очень громкий!!!

Скорость дробления ShockPulse ™ OLYMPUS была значительно выше, чем у LithoClast ™ для камней <1200 HU. В других аспектах существенной разницы выявлено не было

Его применение может быть полезно для сокращения времени операции в пользу пациента и хирургической бригады.

Сравнение **CyberWand** и **Swiss LithoClast Ultra** с одномодальными литотрипторами и друг с другом

- Одномодальные литотриптеры в 3,8 раз (пневматический) и 1,7 раз (ультразвуковой) медленнее, чем комбинированный литотриптор Swiss LithoClast Ultra
- Комбинированная литотрипсия снижает время фрагментации с 43,7 минут до 21,1 минут, немного уменьшая риск осложнений и увеличивая SFR
- В эксперименте на гипсовых камнях CyberWand был быстрее Swiss LithoClast Ultra на 41%

LASER

- Light Amplification by Stimulated Emission of Electromagnetic Radiation
- 1917 придуман Альбертом Эйнштейном
- В 1960 году Теодором Майманом был представлен первый рабочий лазер
- В 1968 Mulvaney и Beck пытались произвести первую лазерную литотрипсию камней человека с использованием рубинового и CO2 лазеров IN VITRO → обширная коагуляционная травма→ отказ от использования лазеров для дробления камней.
- В 1976 году Staehler et al. впервые описали морфологические и гистологические эффекты лазерной резекции ткани стенки мочевого пузыря
- 1980-е широкое применение лазера в урологии
- В 1986 году было описано удаление ДГПЖ с использованием лазера
- Но только с 1990 года началось повсеместное и более широкое использование данного метода

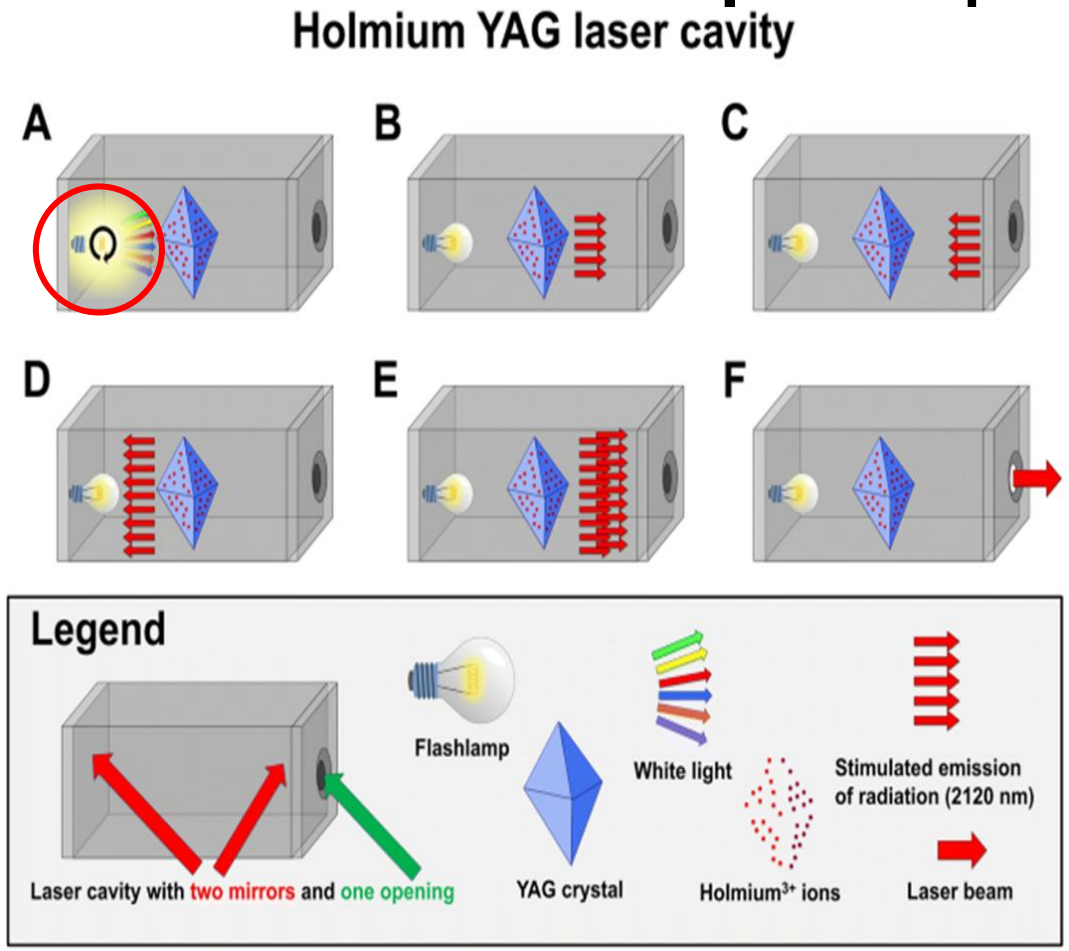
Основные виды лазеров в хирургии

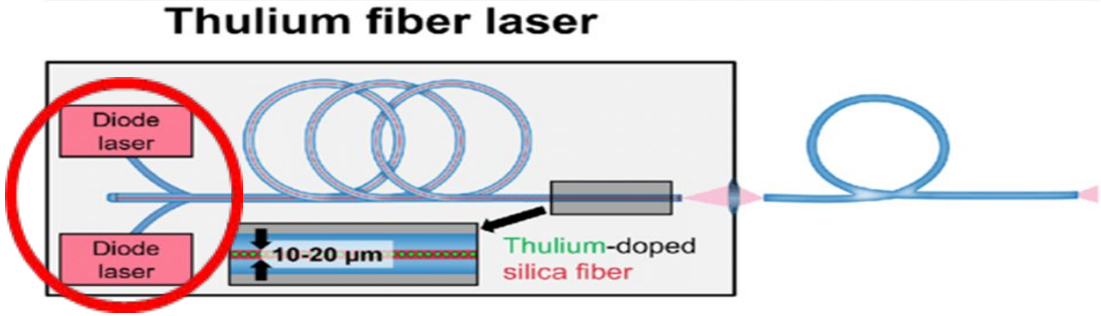
- – KTP (калия титанилфосфат, KTP: Nd: YAG);
- – LBO (лития борат, LBO: Nd: YAG);
- – диодный лазер;
- – гольмиевые лазеры (Ho): YAG (с алюмоиттриевым
- гранатом);
- – тулиевые лазеры (Tm): YAG (с алюмоиттриевым
- гранатом).

Требования предъявляемые к лазерам

- Лазер должен доставлять свою энергию с помощью гибких прочных оптических волокон
- Тепловая энергия, производимая в качестве побочного продукта, не должна быть слишком высокой, чтобы вызвать местные повреждения тканей.
- Генерируемая ударная волна должна быть достаточной силы, чтобы вызвать дезинтеграцию камня или испарить его.
- Мобильность
- Доступность
- Многофункциональность
- Простота использования

Физические принципы





A. Белый свет широкого спектра излучается лампой-вспышкой(Xe/Kr). Он взаимодействует с ионами гольмия, химически связанными с YAG-кристаллом и переводит электроны гольмия в квантовые состояния с более высокой энергией
B. Это взаимодействие приводит к испусканию новых фотонов с характерной длинной волны 2120 нм. Дополнительный белый свет излучаемый лампой, добавляет к возбуждению ионов гольмия процесс, называемый лазерной накачкой
C. Излучение отражается между зеркалами резонатора лазера

D,E. Поскольку предыдущая лазерная накачка приводила к возбуждению множества ионов гольмия в более высокоэнергетическое состояние (инвесия населенностей) отраженное излучение будет взаимодействовать с возбужденными ионами гольмия и стимулировать испускание множества дополнительных фотонов на длине волны 2120 нм (эмиссия)

F. Переходное отверстие резонатора испускает излучение в виде импульсного лазерного луча

Особенности лазерного света

- Высокоупорядоченный
- Синфазный
- Когерентный
- Монохромный с одной длиной волны
- Пространственно однородный
- Однонаправленный с минимальным расхождением, что позволяет

сохранить яркость при передаче на большие расстояния

- Высоко концентрированный

Импульсные и непрерывные лазеры

Продолжительность и энергия индивидуального импульса зависят от типа лазера. Широкий диапазон частот!!!

Импульсы

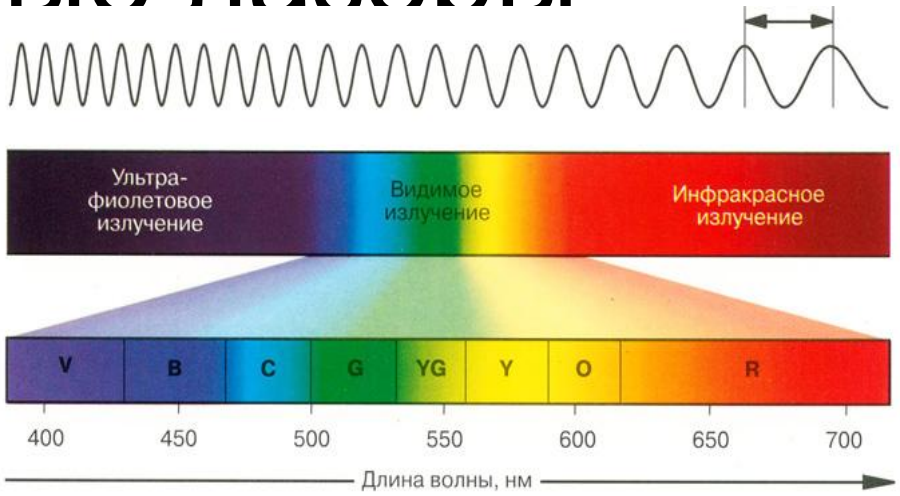
- Индивидуальные
- Групповые
- Непрерывные (если выходное излучение >0,25 сек)

- Непрерывный волновой лазер обеспечивает непрерывную и постоянную амплитуду;
- Импульсный волновой лазер излучает всплески энергии

(Хорошо подходит для фрагментации камня, хуже для работы с мягкими тканями)

Существует несколько методов сжатия или укорочения пульсации

- Q-switching (управляемое прерывание светового луча и задержка действия лазера до max. инверсии населенностей) (Nd:YAG)
- ↓Частота повторения импульсов ↑энергия ↑длительность импульса



Оптический диапазон электромагнитных излучений и спектр видимого света

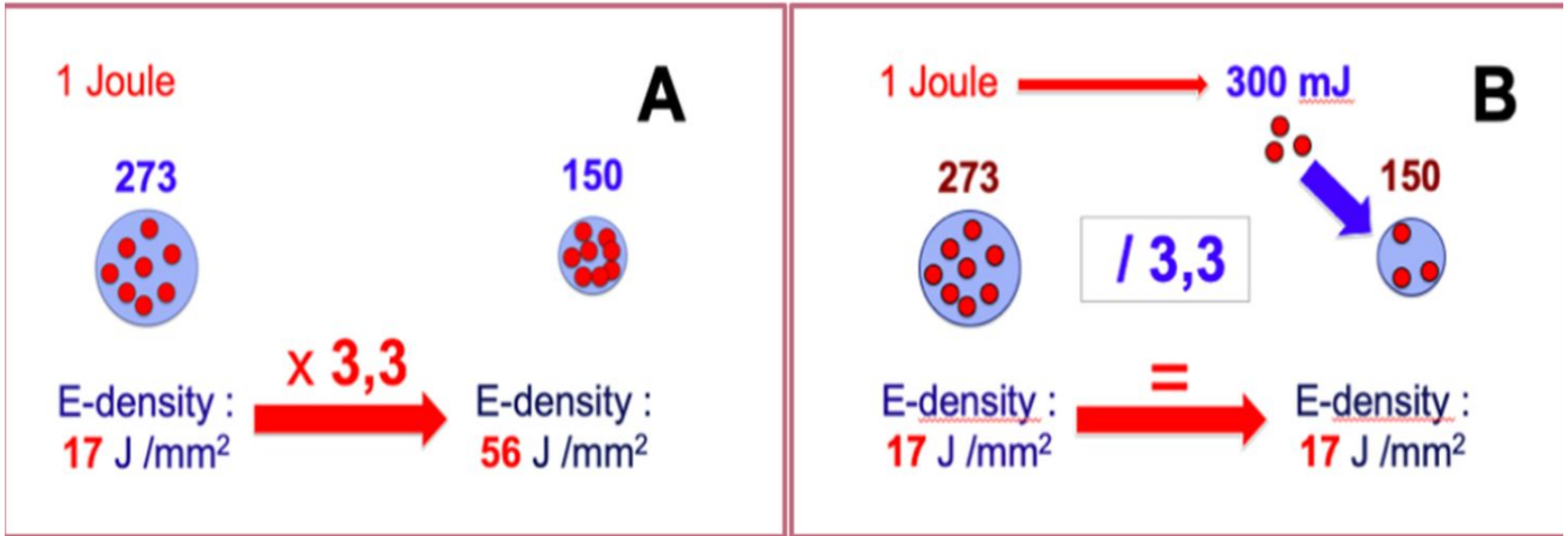
Мощность лазера (P = энергия / время) W = J / сек)→высокая степень мощности ↓энергия и ↓↓время импульсов (при комбинировании 2 режимов)

Системы доставки излучения

- Жесткие
- Гибкие

Лазерное волокно

- Лазерные волокна бывают различного диаметра от 200 до 550 мкм.
- При литотрипсии в сочетании с FURS – рекомендуют использовать волокна малого калибра (например, 200–273 мкм), поскольку они имеют такую же эффективность, большую гибкость, большую ирригацию и меньшую отдачу по сравнению с более крупными**. Новейшие волокна имеют выпуклый наконечник → позволяет волокну проходить через уже отклоненный FURS без нанесения ему ущерба.**
- Диаметр волокна напрямую определяет плотность энергии, то есть энергию, выделяемую за один импульс на 1 мм2 поверхности волокна; Используя такое же количество энергии, волокно меньшего диаметра будет обеспечивать более высокую плотность энергии благодаря своей меньшей поверхности



Flexiva TracTip(Boston Scientific)

Отражение. Рассеяние. Поглощение

На степень отражения влияют

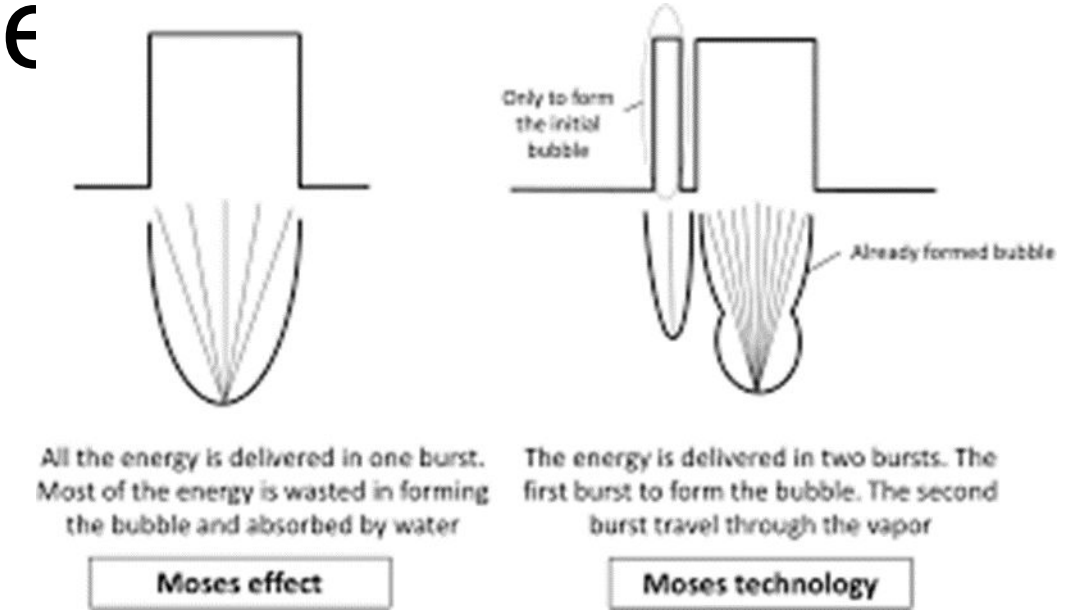
- **Оптические свойства ткани**
- **Окружающий ирригант**

Степень рассеяния зависит от длины волны лазера

- **Коротковолновые ↑**
- **Длинноволновые↓**
- **Поглощение лазерной энергии убывает экспоненциально закону Бера-Ламберта (основой закон светопоглощения)**
- **Поглощенная энергия лазера преобразуется в тепло и увеличивает температуру целевой ткани. При выделении достаточного количества тепла происходит коагуляция и последующее испарение. Абсорбция осуществляется за счет хромофоров. Наиболее важными хромофорами в урологии являются гемоглобин и вода**
- **Хромофоры** — это функциональные группы, которые поглощают электромагнитное излучение

Фототермический эффе

- Ho:YAG-лазер использует фототермический эффект → мелкие фрагменты
- **(«Фото») поглощение каменными поверхностями, («Термический») вызывающее быстрое повышение температуры увеличивается до того, как может произойти значительная диффузия тепла.**
- **Объемы кратеров абляции зависят от размера облучаемой поверхности, плотности фотонов и энергии импульса.**



«Эффект Моисея» возникает за счет быстрого испарения жидкости, создавая паровой канал между кончиком волокна и поверхностью камня, что обеспечивает более прямой перевод энергии - это приводит к разрушению и дезинтеграции нагретого участка, в результате чего появляются кратеры и фрагментация

Антиретропульсивный эффект

Метод «Моисей» заключается в излучении лазерного импульса, разделенного на 2 части, и работе лазера на высокой мощности (120-ваттный гольмиевый лазер). Первая часть формирует вокруг камня пузырек воздуха, что в свою очередь, уменьшает ретропульсию и позволяет второй части импульса более точно и эффективно воздействовать энергией на камень. Отмечено, что метод «Моисей» позволяет визуализировать камень на всем протяжении операции, хотя и не снижает среднюю продолжительность операции

«Попкорнинг»

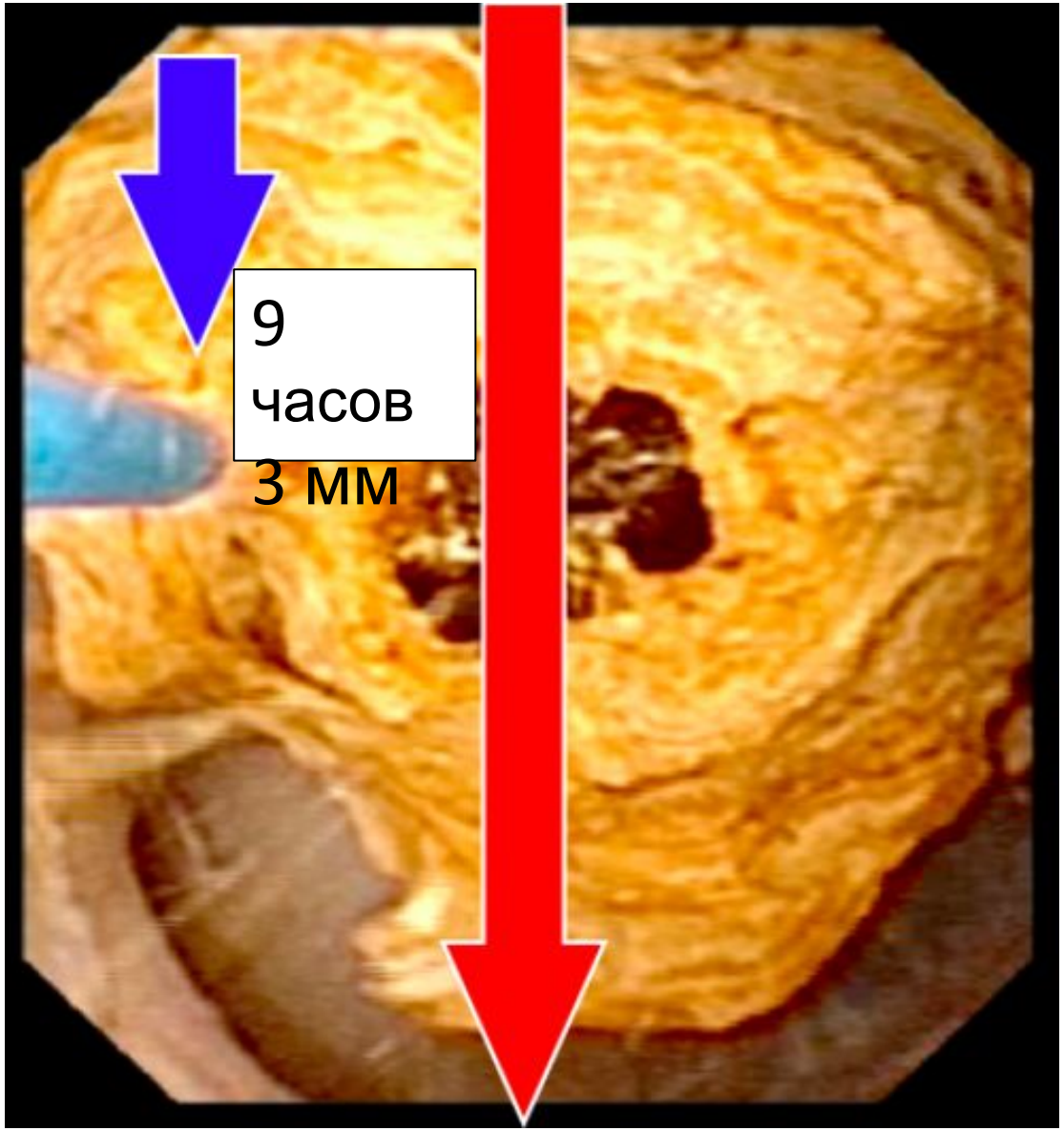
- Техника, получившая название «попкорнинг», использует как фотоакустические, так и фототермические механизмы лазерной литотрипсии.
- **Наконечник волокна располагают на расстоянии нескольких миллиметров от камня (и слизистых оболочек) и ударные волны, создаваемые пузырьками пара при коллапсе вызывают отскакивание камней , как попкорна. Во время волнения камней, прерывистый контакт с лазерным волокном вызывает фототермический распад. Эффект «попкорнинга» со временем продолжает расти, производя все меньшие и меньшие фрагменты, в результате чего получается идеальная каменная пыль, свободно**

Крупная фрагментация →литоэкстракц

Painting (красящая техника)

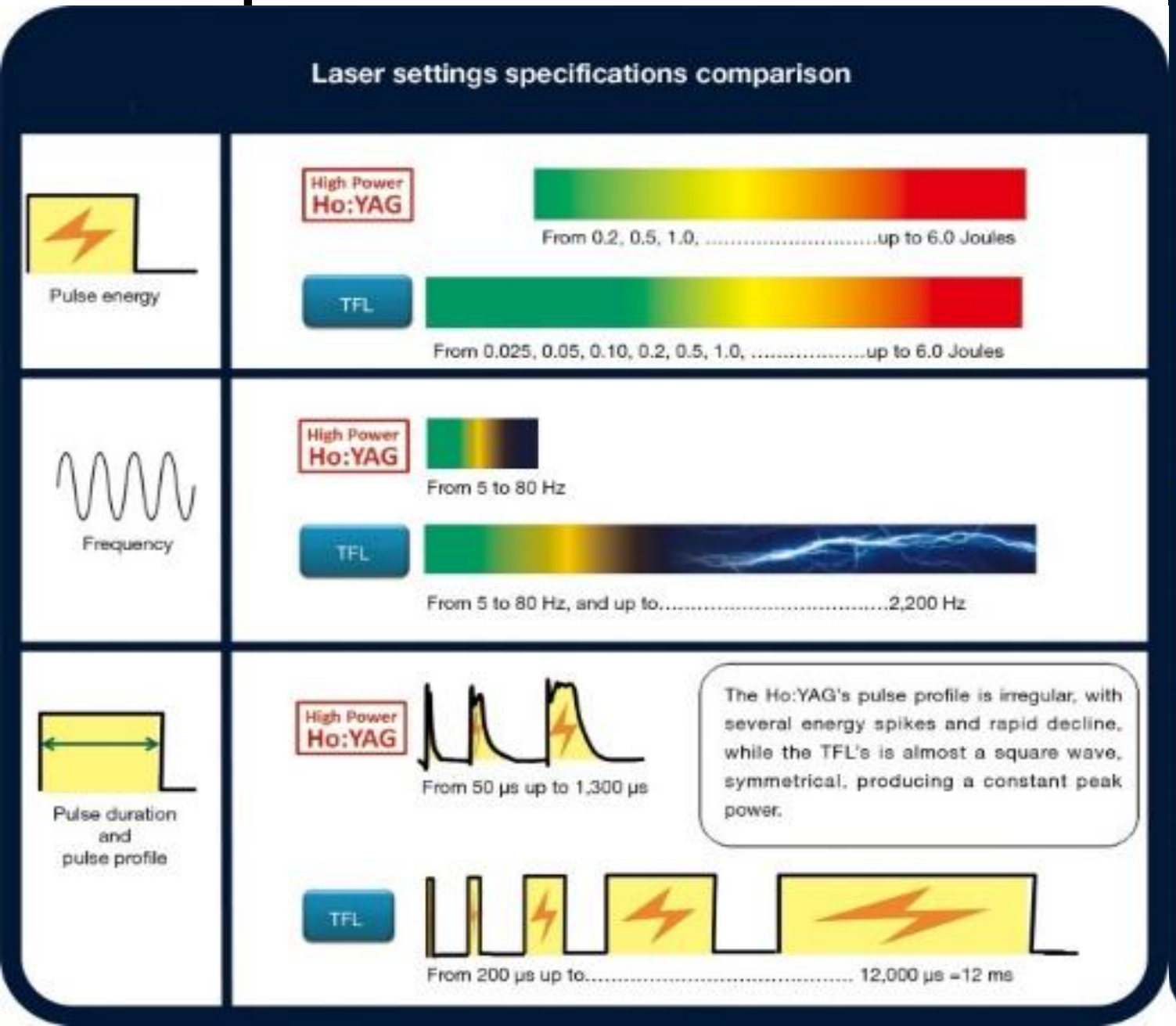
Оптимизация работы

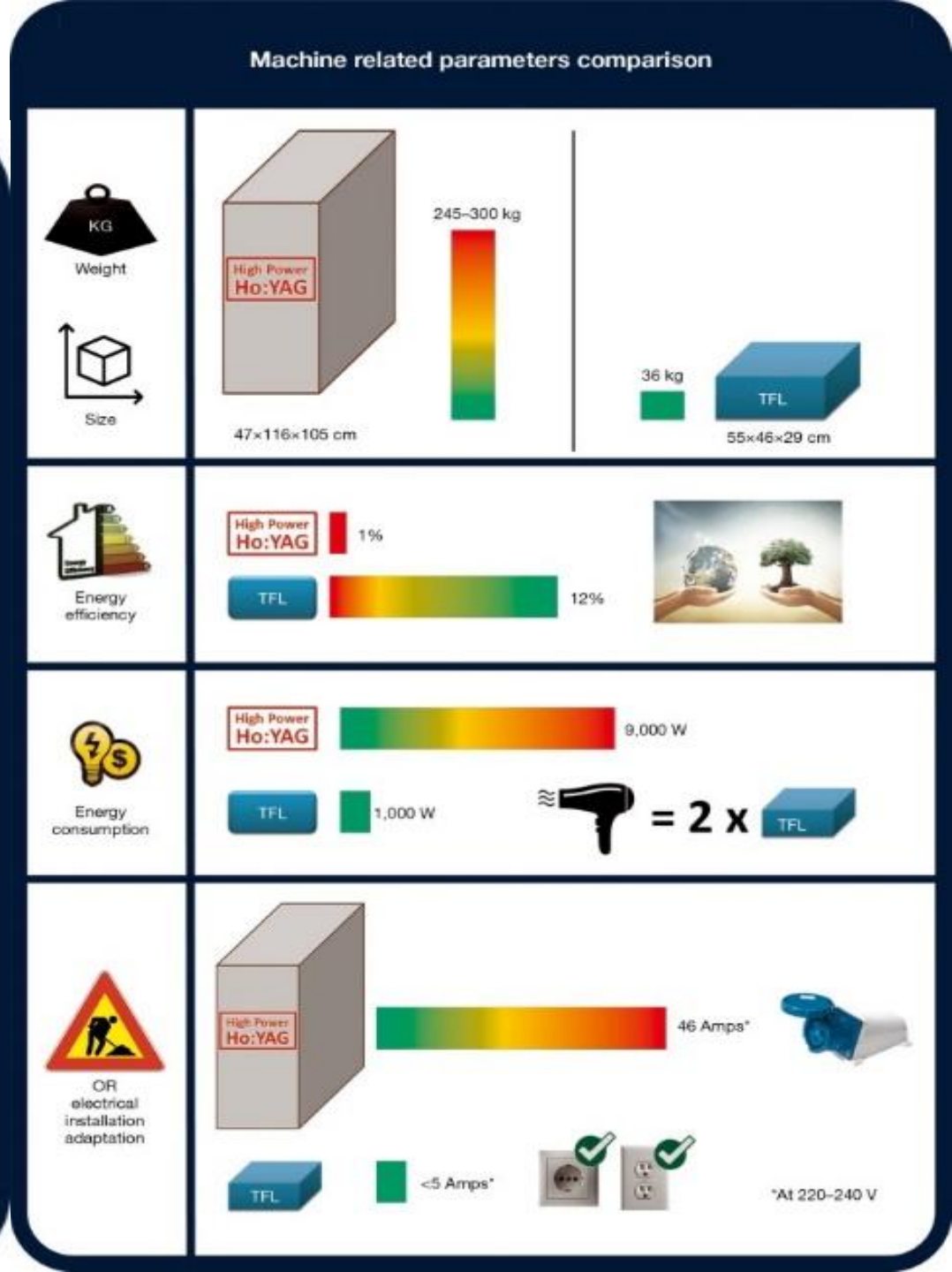
- Рекомендуется производить фрагментацию конкремента от центра, аргументируя такой подход минимальным термическим воздействием на стенку мочеточника. Негативной стороной такой модели является вероятность перфорации или повреждения мочеточника за камнем после удаления его ядра и отсутствия визуализации за ним.
- Еще одним из способов фрагментации камня может быть многочисленная перфорация конкремента с последующим их соединением, с помощью такого метода могут быть фрагментированы практически любые камни
- Нельзя не отметить выраженное повреждающее воздействие лазера на различные корзины и каменные повушки



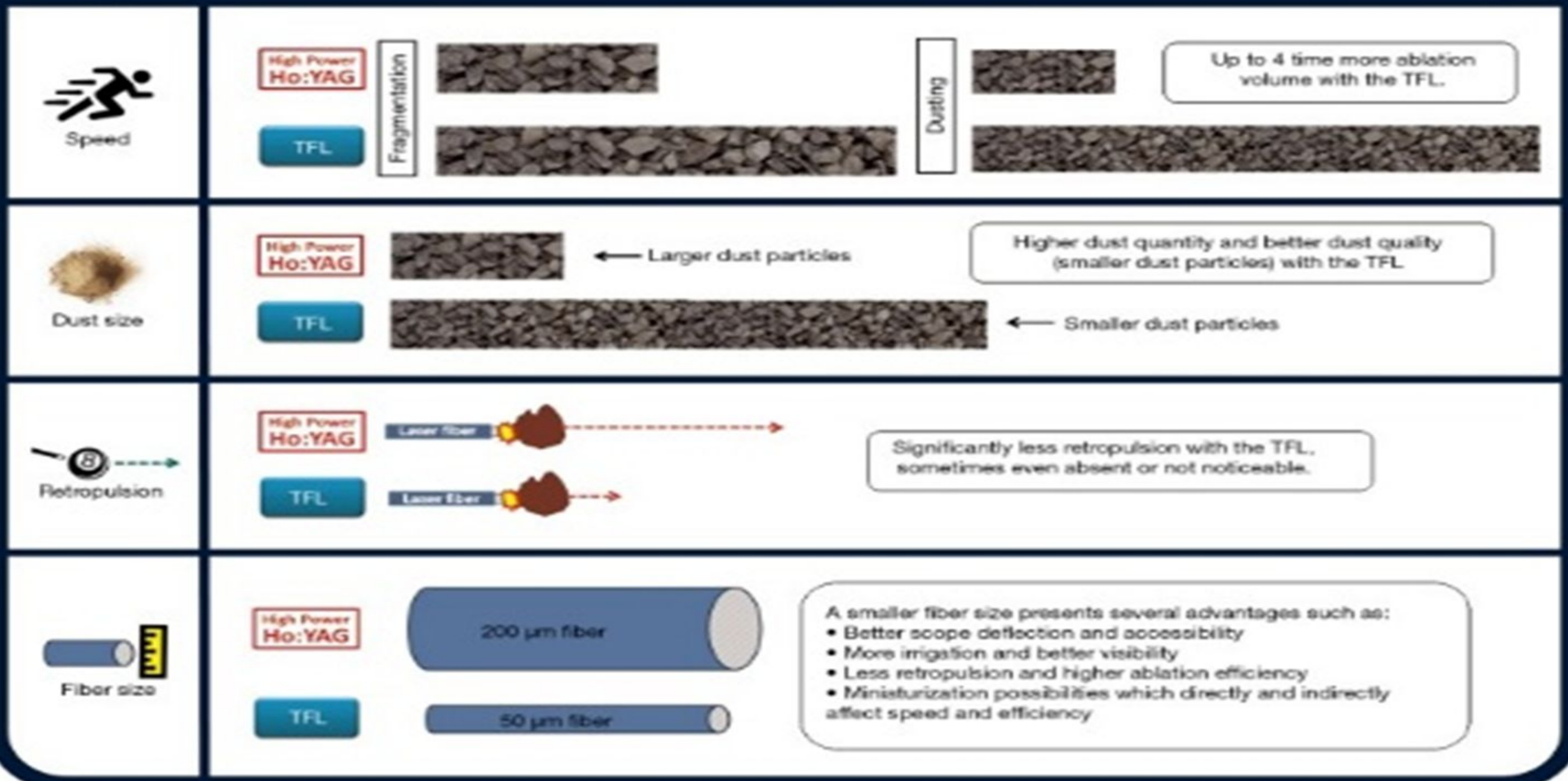
Преимущества	Недостатки
Энергоемкость воздействия	Вероятность повреждения мочеточника, вплоть до его перфорации и развития стриктуры
Высокая направленность	
Монохроматичность	
Маленький диаметр волокон	
Сильное поглощение лазерного излучения биологическими тканями	
Небольшая глубина проникновения отдельного импульса	
Простота метода в использовании и освоении	
↓Продолжительность процедуры составляет 15—45 мин	
Время готовности установки для проведения дезинтеграции конкремента всего 5 мин	
Во время процедуры не происходит ожоговой реакции тканей и карбонизации.	
Самоочищение волокна	

Сравнение Tm и Ho

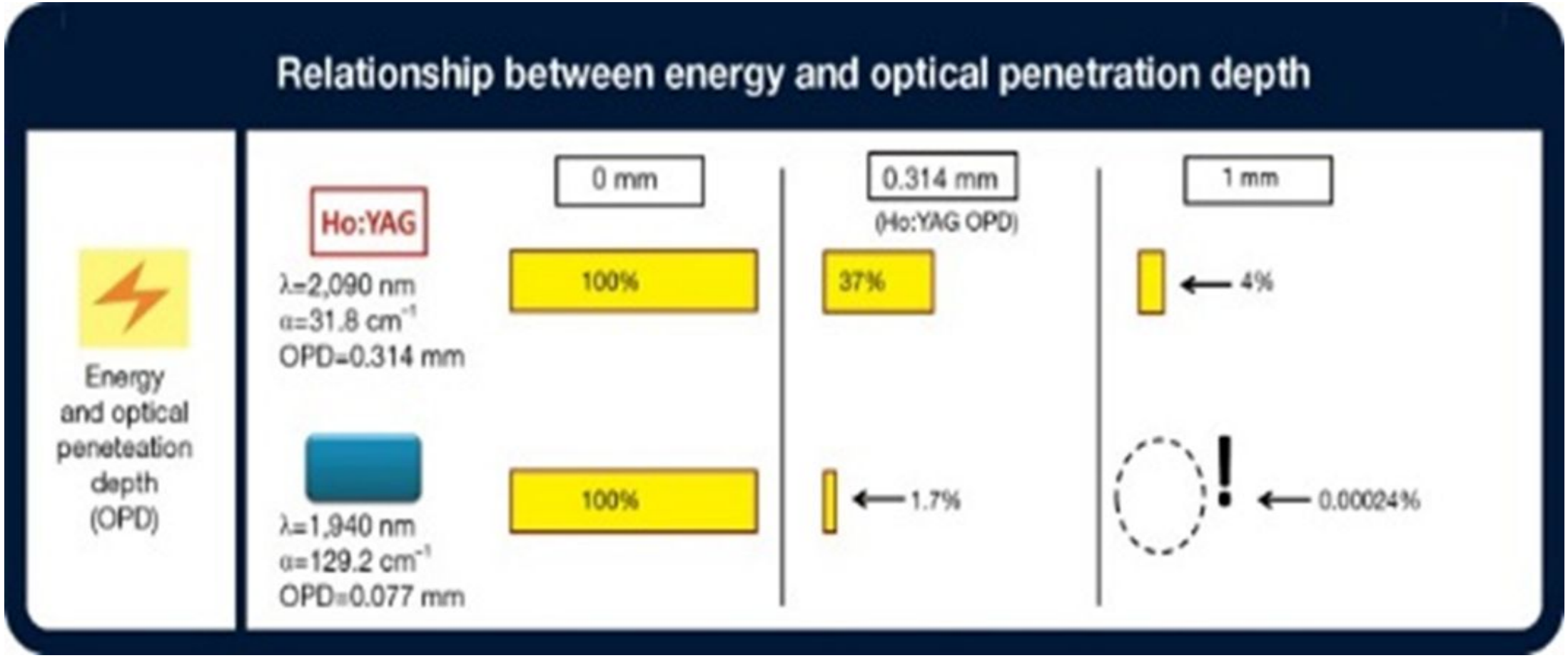




Ablation efficiency related parameters comparison



Сравнение Tm и Ho



Основные преимущества использования лазеров

- Сокращение времени хирургического вмешательства;
- Снижение количества травматических осложнений и кровотечений;
- Возрастание эффективности фрагментации камней (вплоть до вапоризации);
- Отсутствие или незначительная ретропульсия камня в процессе его фрагментации;
- Отсутствие повреждающего действия ударной волны;
- Возможность использования с хирургическими инструментами минимального диаметра;
- Возможность использования с гибкими хирургическими инструментами.

	EHL	PNM	USN	LSR
PROX	84	88.8	74	97
MID	66.6	92.5	76	100
DISTAL	94	98.4	89.4	100

	EHL	PNM	USN	LSR
UPPER	87	ND	–	100
MID	87	ND	–	95.8
LOWER	92	ND	–	90

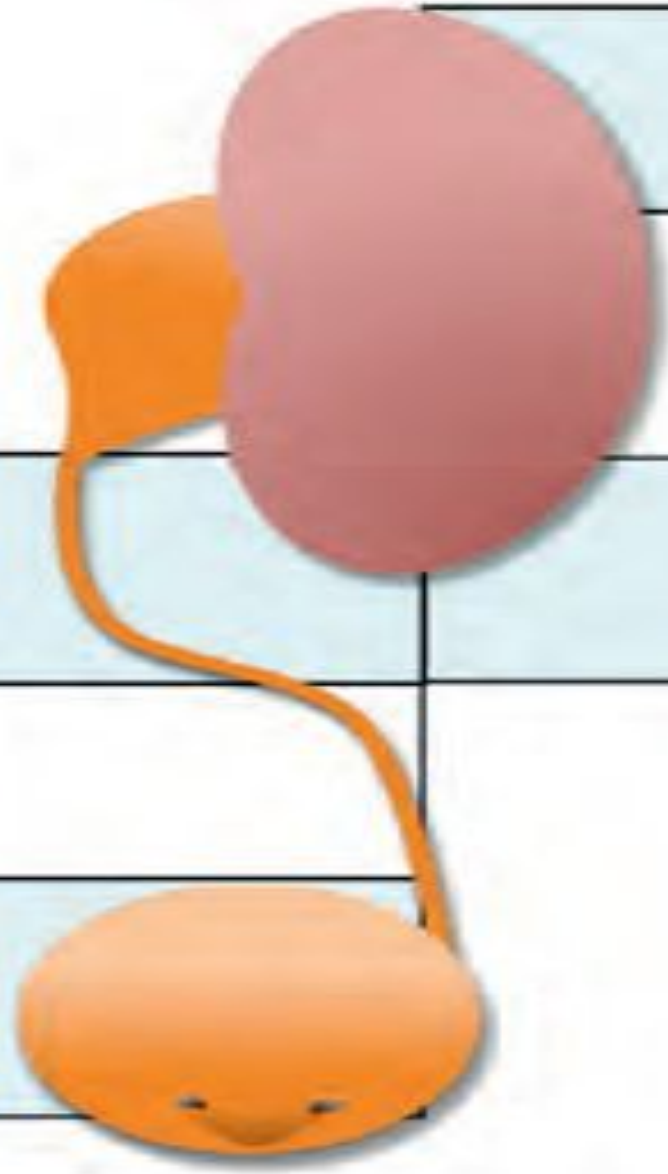


Figure 11-4. Stone-free rates (percentage) for intracorporeal lithotripters used in ureteroscopy by anatomic region. EHL, electrohydraulic lithotripsy; LSR, laser; ND, no data; PNM, pneumatic; PROX, proximal; USN, ultrasonic.

MODALITY	BLADDER	URETER	KIDNEY	FLEXIBLE	CONTACT	MECHANISM OF ACTION	TISSUE EFFECTS	ADVANTAGES	DISADVANTAGES	PROBE SIZES (FR)
EHL	✓	✓	✓	✓	1 mm from stone	Electrical spark produces vapor bubble and subsequent cavitation bubble creates shockwaves that fracture stones	>1 mm distance from mucosa <500 mJ—no injury	Able to reach lower pole	Significant tissue damage at higher energy	1.6, 1.9, 3.3, 9
							>1000 mJ—ureteric perforation	Inexpensive	Durability of probe tip	
Ultrasonic	✓	✓	✓	✓	Direct contact	Rapidly vibrating probe tip results in fragmentation, while simultaneous aspiration removes debris	Mucosal stripping	Most efficient single modality	Reduced efficiency in hard stones	2.5, 3, 4.5, 9
							No muscularis damage	In-line suction for simultaneous stone removal		
Pneumatic	✓	✓	✓		Direct contact	Ballistic tip repeatedly strikes stone similar to jackhammer	Focal areas of hemorrhage and mucosal erosions	Least traumatic	Least efficient	2.4, 3, 4.8, 6, 10.5
							Least traumatic of all intracorporeal lithotripters	Works well on harder stones	Significant retropulsion	
								Least expensive		
Ho:YAG laser	✓	✓	✓	✓	Direct contact	Photothermal energy transfer rapidly heats and disintegrates stone producing fine fragments	Thermal injury to depth of 0.5-1.0 mm	Flexible enough to reach lower pole	Mucosal injuries with 0.5-1 mm depth of penetration	200-μm, 365-μm, 550-μm, 1000-μm
								Smallest fragments	Fiber breakage can damage flexible scope	
								Works on all stone compositions	High initial cost	
								Can be used for nonstone indications		
Combination ultrasonic/pneumatic	✓		✓		Direct contact	Simultaneous pneumatic and ultrasonic lithotripsy	Subepithelial denudation, muscularis rupture	More efficient than pneumatic or ultrasonic alone	Only rigid probes available	9.9 (Swiss LithoClast Ultra)
								Works on all stone compositions	Requires large-diameter working channel	11.25 (CyberWand)

Список литературы

- При подготовке доклада были использованы материалы:

1.Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy: In Clinical Practice. Рольф Шмуц, 2019

2. CAMPBELL-WALSH UROLOGY, TWELFTH EDITION 2020

3. Материалы диссертации Орлова И.Н Выбор контактной литотрипсии при камнях мочеточника 2015 г.

4. Материалы CAU: Laser lithotripsy principles 2018

5. TAU VOL8, SUP 4 SEPT 2019 THE LASER OF THE FUTURE: REALITY AND EXPECTATIONS ABOUT THE NEW THULIUM FIBER LASER – A SYSTEMATIC REVIEW