

9



Твердотельный лазер LaserSoft

М. Piovella, I. Fabrizio, C. Kusa, B. Kusa

Лазерные технологии рефракционной хирургии динамично развиваются. Создание алгоритмов персонализированной абляции с учетом волнового фронта глаза позволило значительно повысить точность лазерной коррекции. Для рефракционной хирургии стали доступны твердотельные лазеры с ультрафиолетовым излучением, например LaserSoft и CustomVis [1, 2]. Твердотельные лазеры, используемые в офтальмохирургии, обладают большой энергетической эффективностью.

УСТРОЙСТВО

Твердотельный лазер LaserSoft — это лазер с непрерывным ультрафиолетовым излучением с диодной накачкой (фирма Katana Technologies) (рис. 9.1). Твердотельный лазер отличается от эксимерного лазера тем, что у первого активной средой являются кристаллы, а у второго — нестойкие смеси из инертных газов. В качестве источника диодной накачки активной среды твердотельного лазера используются диоды инфракрасного диапазона, а ультрафиолетовое излучение генерируется путем нелинейного преобразования частоты инфракрасного излучения, что изменяет длину волны лазерного излучения в диапазоне 208–210 нм. Структура резонатора и система подачи излучения к объекту воздействия обеспечивают лазерное излучение в поперечном режиме ТЕМ₀₀. Непрерывная диодная накачка поддерживает стабильность ультрафиолетового излучения.

Луч с гауссовым профилем и частичное перекрытие одиночных импульсов обеспечивают формирование гладкой поверхности абляции. Поскольку луч с гауссовым профилем сгенерирован резонатором инфракрасного лазера и при нелинейном преобразовании не изменяется, то нет необходимости в дополнительных действиях по формированию пучка лазерного излучения, которые нужны при использовании эксимерного лазера.

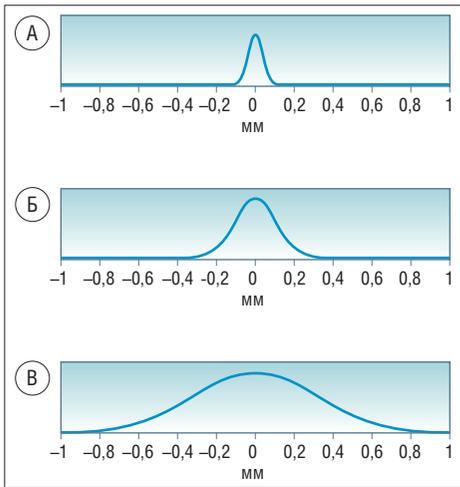
В твердотельном лазере одна и та же активная среда служит в течение всего срока его использования, что значительно упрощает эксплуатацию и снижает стоимость оборудования.



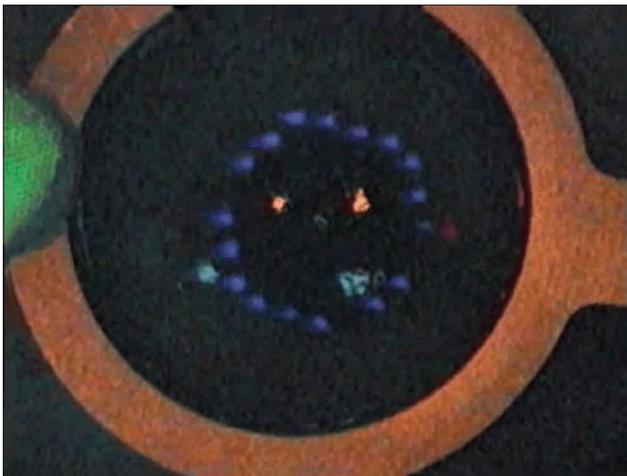
■ РИС. 9.1 Твердотельный лазер LaserSoft

Твердотельный лазер имеет сканирующую систему подачи лазерного луча типа «летающее пятно» (диаметр 0,2 мм) и частоту импульсов 1 кГц (рис. 9.2). Ввиду высокой репетиционной частоты энергия импульса твердотельного лазера ниже, чем эксимерного. В твердотельном лазере предусмотрено значительное сокращение ударной волны, что делает процедуру лазерной абляции бесшумной. Отсутствие дополнительных звуков, шумов в операционной создает более комфортную обстановку для пациента и снижает риск возможных движений больного в ответ на шумовой раздражитель.

В связи с высокой частотой импульсов в твердотельном лазере LaserSoft предусмотрена мощная автоматическая трекинговая система. Частота трекинга составляет 1 кГц, время реакции 1 мсек, что обуславливает надежную центрацию по осям x–y в процессе абляции, а также позволяет учитывать торсионные смещения глаза. Во время работы трекинговой системы на поверхность роговицы проецируется кольцо фиксационных мишеней, что обеспечивает правильную центрацию во время аб-



■ **РИС. 9.2** Сравнение диаметров «летающего пятна» разных лазеров. **(А)** Твердотельный лазер LaserSoft. **(Б)** Современная модель эксимерного лазера. **(В)** Старая модель эксимерного лазера



■ **РИС. 9.3** Работа автоматической трекинговой системы

ляции (рис. 9.3). Для работы трекинговой системы дилатация зрачков не нужна. Систему проецирования фиксационных мишеней на поверхность роговицы можно использовать как при лазерной абляции методом LASIK, так и ФРК. Технические характеристики твердотельного лазера позволяют считать его идеальным для выполнения персонализированной лазерной абляции.

Все алгоритмы коррекции твердотельного лазера направлены на сохранение асферичности роговицы с целью минимизации индуцирования сферических aberrаций. Также учтены отражение энергии лазерного излучения при взаимодействии с роговицей и разница угла падения лазерного луча при

абляции различных отделов роговицы (для снижения потери плотности энергии лазерного излучения при абляции периферии роговицы).

В табл. 9.1 представлены основные технические характеристики твердотельного и эксимерного лазеров.

В большинстве эксимерных лазеров диаметр «летающего пятна» составляет около 1 мм (нет ни одной модели лазера, где диаметр пятна был бы менее 0,65 мм), т.е. у эксимерного лазера пятно значительно шире, чем у твердотельного лазера (рис. 9.4). Если бы диаметр «летающего пятна» эксимерного лазера составлял 0,2 мм, то при его репети-

ТАБЛИЦА 9.1 СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОТЕЛЬНОГО И ЭКСИМЕРНОГО ЛАЗЕРОВ

Технические характеристики	Твердотельный лазер	Эксимерный лазер
Диаметр пятна (мм)	0,2	0,8–1,0
Характеристика луча	Одномодальный (луч с гауссовым профилем)	Мультимодальный (дополнительные оптики для четкости лазерного пятна)
Частота импульсов	1 кГц	50–500 Гц
Скорость трекинга	Более чем 1 кГц	Около 150 Гц

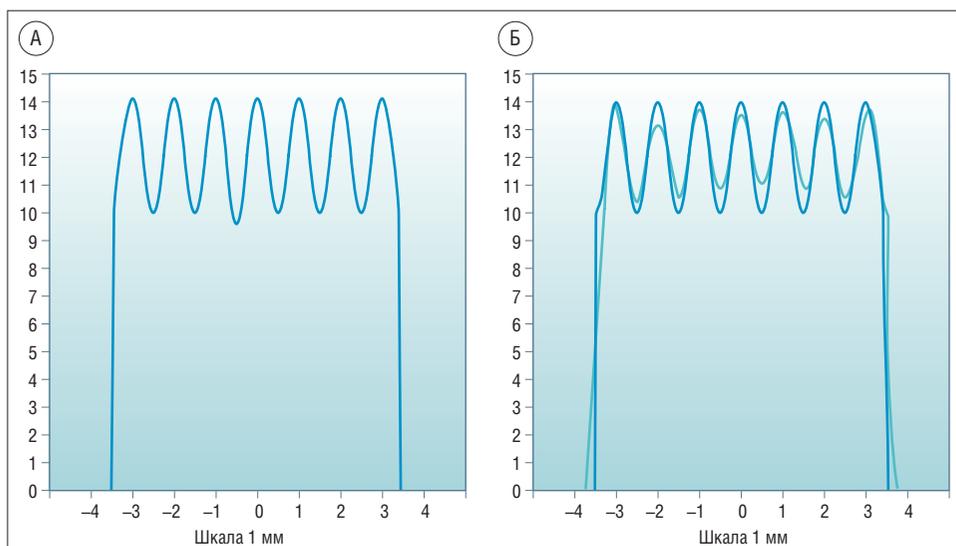


РИС. 9.4 Графический контур абляции при различном диаметре лазерного пятна: **(А)** диаметр пятна 0,2 мм; **(Б)** диаметр пятна 0,8 мм (слишком большой, чтобы воспроизвести должный алгоритм абляции)

ционной частоте это привело бы к значительному увеличению времени абляции и снижению качества лазерной коррекции. Благодаря высокой частоте импульсов (1 кГц) длительность лазерной коррекции, осуществляемой с помощью твердотельного лазера, сопоставима с аналогичным показателем эксимерного лазера.

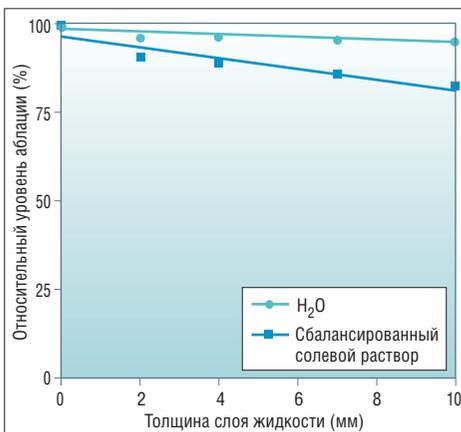
Твердотельные лазеры оказались более удобными в рефракционной хирургии в связи с простотой их обслуживания.

ПОКАЗАНИЯ И ПРОТИВПОКАЗАНИЯ

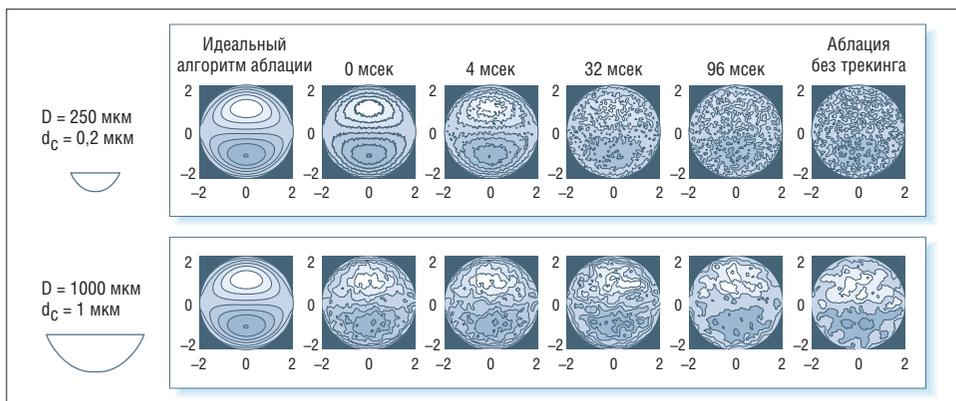
Твердотельный лазер LaserSoft успешно применяют для коррекции методами LASIK и ФПК. При планировании лазерной абляции у пациентов с миопией выше -7 дптр рекомендуется (это касается любых лазеров):

- внимательно проанализировать показатели пахиметрии;
- оценить кривизну передней и задней поверхностей роговицы;
- при планировании гиперметропической абляции учитывать, что максимальный эффект рефракционного вмешательства составляет $+3$ дптр.

Также необходимо учитывать, что жидкости (например, сбалансированный солевой раствор) не препятствуют распространению излучения (рис. 9.5), но, несмотря на это, не рекомендуют использовать твердотельный лазер LaserSoft для лазерной коррекции методом ФТК. В связи с малым диаметром «летающего пятна» лазерного излучения твердотельный лазер LaserSoft идеален для осуществления персонифицированной абляции (рис. 9.6).



■ **РИС. 9.5** В случае применения твердотельного лазера LaserSoft абляция не зависит от наличия воды или сбалансированного солевого раствора (относительный уровень абляции при 210 нм)



■ **РИС. 9.6** Аберрометрическая картина после гипотетической (идеальной) персонифицированной абляции с различным диаметром пятна (d_c) лазерного луча. D – толщина стромального ложа

ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

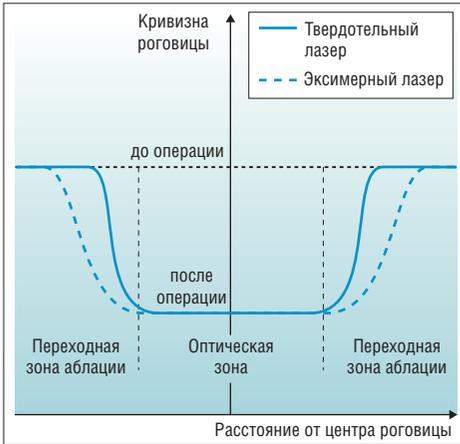
При лазерной коррекции методом LASIK формируют роговичный лоскут толщиной 160 мкм на ножке. Во время операции нет необходимости в удалении влаги с поверхности роговицы, поскольку высокая частота импульсов обеспечивает беспрепятственное распространение излучения через водную среду.

При сравнении с обычным эксимерным лазером твердотельный лазер LaserSoft с диаметром «летающего пятна» 0,2 мм продемонстрировал большую частоту импульсов на той же площади поверхности за то же время. Такой диаметр пятна позволяет повысить точность абляции в переходной зоне и контролировать абляцию по ширине, а также создает гладкую поверхность абляции, что способствует ранней реэпителизации после ФРК и уменьшает риск стромальных помутнений, т.е. обеспечивает удовлетворительный результат (рис. 9.7).

У следующего поколения твердотельных лазеров репетиционная частота — 2 кГц. Это даст возможность значительно улучшить точность и качество лазерной коррекции.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ

Хирургическую коррекцию методами ФРК и LASIK выполняли в двух центрах: Messina и Campobasso (Italy). Результаты лечения через год после операции проанализировали с помощью программного обеспечения Datagraph и с учетом рекомендаций Waring III [3, 4]. В исследование включены пациен-



■ **РИС. 9.7** Рефракционные результаты абляции твердотельным и эксимерным лазерами

ты с миопией различной степени (37 глаз). МКОЗ до операции у всех пациентов была в диапазоне 0,8–1,03 (табл. 9.2). При формировании роговичного лоскута (LASIK, 30 глаз) использовали микрокератом Hansatome. Толщина лоскута составила 180 мкм, диаметр оптической зоны варьировал от 6 до 7 мм, диаметр переходной зоны — от 8 до 9 мм.

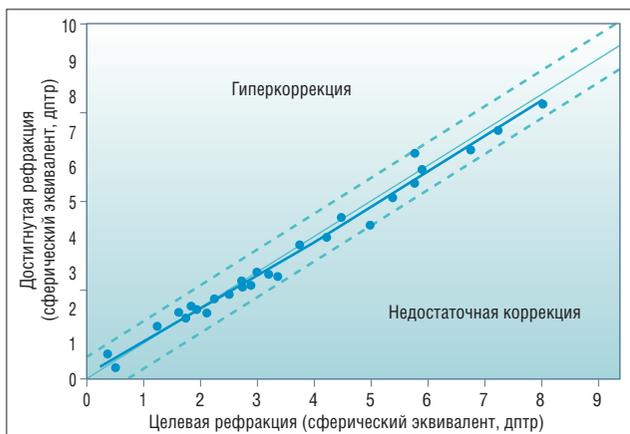
Анализ рефракционных результатов лазерной коррекции методом LASIK, выполненной с помощью твердотельного лазера, свидетельствует об их сопоставимости с аналогичными показателями после эксимерлазерной коррекции (рис. 9.8, 9.9; табл. 9.3, см. табл. 9.2). Сферический эквивалент ± 1 дптр получен в 100% случаев, $\pm 0,5$ дптр — в 94%, $\pm 0,25$ дптр — в 87% случаев (см. рис. 9.9). На рис. 9.10 представлена оценка стабильности достигнутого рефракционного результата.

Эффективность лечения оценивали по двум показателям — МКОЗ и НКОЗ. В нашем исследовании в 45% случаев послеоперационная НКОЗ была выше 1 во всей когорте, в то время как предоперационная МКОЗ составила 1 в 41% случаев.

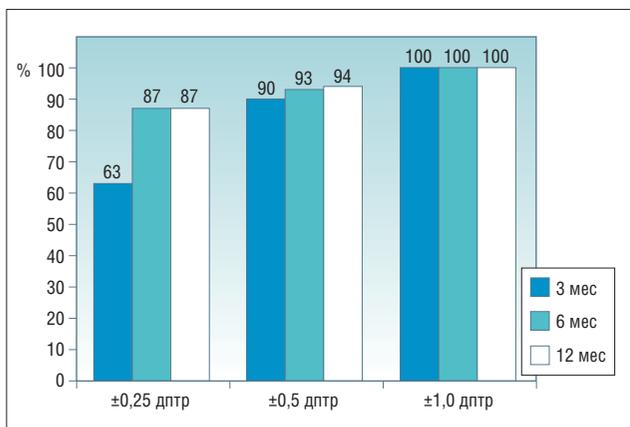
ТАБЛИЦА 9.2 Показатели клинической рефракции до и после операции

	Сферический эквивалент (среднее \pm SD, дптр)	Диапазон сферического эквивалента (дптр)	Сферический компонент (среднее \pm SD, дптр)	Цилиндрический компонент (среднее \pm SD, дптр)	МКОЗ (дптр)
До операции	$-1,71 \pm 3,71$	-8,00 до +6,75	$-1,46 \pm 3,32$	$-0,51 \pm 1,97$	$0,80 \pm 0,23$
Через год после операции	$-0,03 \pm 0,13$	-0,50 до +0,25	$-0,03 \pm 0,19$	$-0,01 \pm 0,19$	$0,83 \pm 0,23$

SD — стандартное отклонение.



■ **РИС. 9.8** Кривая средних значений через 1 год после LASIK, целевая и достигнутая рефракции (30 глаз). Пунктирные линии указывают диапазон значений



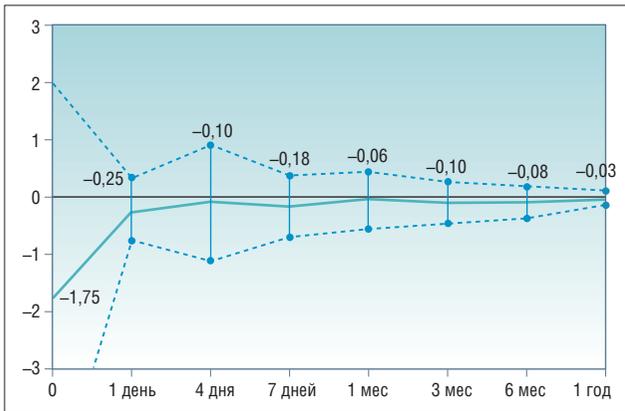
■ **РИС. 9.9** Сферический эквивалент через 3 мес, 6 мес и 1 год после операции (в % от прогнозируемого). Через 1 год в 100% случаев достигнута «счастливая зона» ±1 дптр, в 94% случаев ±0,5 дптр, в 87% случаев ±0,25 дптр

ТАБЛИЦА 9.3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ (ЧЕРЕЗ 1 ГОД)

Сферический эквивалент	МКОЗ
-0,03 ± 0,20	0 ± 0,02

Предоперационная МКОЗ во всех случаях находилась в пределах 1–0,3 дптр.

Твердотельные лазеры в рефракционной хирургии являются безопасными, надежными, стабильными и более компактными устройствами. Кроме того, они более экономичны по сравнению с эксимерными лазерами.



■ **РИС. 9.10** Стабильность достигнутого результата (степень изменения рефракции с течением времени). Период наблюдения 1 год

ЛИТЕРАТУРА

1. Meeting of the International Society of Refractive Surgery/American Academy of Ophthalmology, Anaheim, November 14–15, 2003:289.
2. Meeting of the International Society of Refractive Surgery/American Academy of Ophthalmology, New Orleans, October 22–23, 2004:10.
3. Datagraph Med (medical data analysis software). Ingenieurbüro Pieger, Germany.
4. Waring G. Standard graphs for reporting refractive surgery. J Refract Surg 2000; 16:459.

