УДК 616-072.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОЛЬМИЕВОГО ЛАЗЕРА
НА АЛЮМОИТТРИЕВОМ ГРАНАТЕ (НО: YAG) В МЕТОДЕ
ЗАБОРА ПРОБ КАПИЛЛЯРНОЙ КРОВИ**

Минаков Григорий Игоревич

Инженер-технолог производственно-
технологического отдела

Производственное унитарное предприятие «ФреБор»

Гиндеров Артемий Дмитриевич

студент

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

Научный руководитель: **Мороз Игорь Александрович**

заместитель директора по производству

Производственное унитарное предприятие «ФреБор»

Аннотация: В данной статье рассмотрены традиционные и инновационные методы перфорирования пальца для забора капиллярной крови. Рассмотрен принцип действия лазерного перфоратора кожи, основанный на принципе действия лазера. Произведен выбор оптимального материала лазерного кристалла.

Ключевые слова: Технические науки, медицинские науки, технологии, ланцет, скарификатор, перфоратор, лазер, кровь, анализ.

**HOLMIUM-YTTRIUM ALUMINUM GARNET LASER (HO: YAG)
IN CAPILLARY BLOOD SAMPLING METHOD**

Minakov Grigory Igorevich

Ginderov Artemi Dmitrievich

Moroz Igor Alexandrovich

Abstract: Traditional and innovation methods of finger punching for capillary blood sampling are considered in this article. The principle of operation of

a laser skin puncher based on the laser principle is considered. The optimal material for laser crystal was chosen.

Key words: Technical science, medical sciences, technology, bleeding pen, lancet, puncher, laser, blood, screen.

В настоящее время во всём мире при заборе крови у пациента используют ланцеты и скарификаторы. Данные инструменты осуществляют прокол кожи пациента при помощи острых металлических зубцов.

Скарификатор – это колющий металлический хирургический инструмент для вскрытия нарывов.

Ланцет – это скарификатор, спрятанный в пластиковый корпус. Суть работы инструмента заключается в том, что при контакте устройства с кожей из пластикового корпуса выходит тонкая металлическая игла (зубец), осуществляет прокол кожи и убирается внутрь корпуса. Весь этот процесс происходит моментально.

Особое значение имеет тот факт, что при использовании скарификатора медицинский работник осуществляет прокол своими руками. Это значит, что глубина прокола может быть различной, что может добавлять болезненных ощущений. При использовании ланцета прокол осуществляется автоматически, и глубина прокола уже зависит не от действий медицинского работника, а от конструктивных особенностей ланцета.

Однако применение таких инструментов имеет ряд недостатков. Во-первых, проколы кожи ланцетом или скарификатором причиняют боль пациенту. Во-вторых, есть вероятность заражения крови. В-третьих, проколы долго заживают.

Для того, чтобы устранить вышеперечисленные недостатки при использовании традиционных методов для забора крови, был разработан инновационный метод перфорирования пальца, который заключается в использовании лазерного перфоратора кожи.

Для того, чтобы понимать принцип действия такого устройства, необходимо обратиться к основному принципу действия лазера.

В современной науке под лазером понимают устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую или другую) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Физической основой работы лазера служит явление вынужденного (индуцированного) излучения [1]. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом (или другая квантовая система) способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения, в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу [2].

Вероятность того, что случайный фотон вызовет индуцированное излучение возбуждённого атома, в точности равняется вероятности поглощения этого фотона атомом, находящимся в невозбуждённом состоянии [3]. Поэтому для усиления света необходимо, чтобы возбуждённых атомов в среде было больше, чем невозбуждённых (так называемая инверсия населённостей). В состоянии термодинамического равновесия это условие не выполняется, поэтому используются различные системы накачки активной среды лазера (оптические, электрические, химические и другие) [4].

Первоисточником генерации является процесс спонтанного излучения, поэтому для обеспечения преемственности поколений фотонов необходимо существование положительной обратной связи, за счёт которой излучённые фотоны вызывают последующие акты индуцированного излучения. Для этого активная среда лазера помещается в оптический резонатор. В простейшем случае он представляет собой два зеркала, установленных друг напротив друга, одно из которых полупрозрачное – через него луч лазера частично выходит из резонатора. Отражаясь от зеркал, пучок излучения многократно проходит по резонатору, вызывая в нём индуцированные переходы. Излучение может быть как непрерывным, так и импульсным. При этом, используя различные приборы (вращающиеся призмы, ячейки Керра и другие) для быстрого выключения и включения обратной связи и уменьшения тем самым периода импульсов, возможно создать условия для генерации излучения очень большой мощности (так называемые гигантские импульсы) [2].

На рисунке 1 представлена схема работы рубинового лазера.

Рис. 1. Схема работы рубинового лазера

Основной принцип работы лазера и лежит в основе работы лазерного перфоратора кожи. Перфорация подушечки пальца пациента осуществляется сфокусированным лазерным излучением с длиной волны генерации от 2,9 до 3,0 мкм, на которой наблюдается интенсивное поглощение лазерного излучения молекулами воды, содержащимися в биологической ткани, в результате чего образуется микроканал, достаточный для забора образца крови пациента на анализ. Это значит, что длина волны излучения совпадает с максимум спектра поглощения воды (рис. 2).

Рис. 2. Спектр поглощения воды

Для создания лазерного перфоратора кожи одним из важных элементов является этап подбора лазерного кристалла, который будет соответствовать ряду требований:

- минимальный риск заражения крови пациента и (или) медицинского персонала при использовании данного лазера;
- минимальная травматизация участка перфорирования при проведении процедуры взятия капиллярной крови;
- лазерное излучение должно соответствовать максимуму спектра поглощения воды;
- данный метод забора крови при использовании такого лазера должен являться безопасным и безболезненным как для пациента, так и для медицинского персонала.

Существующие лазерные перфораторы работают на лазерном кристалле из алюмоиттриевого граната, легированного ионами эрбия. Длина волны излучения лазера на данном материале составляет 2,94 мкм.

Алюмоиттриевый гранат, легированный ионами эрбия имеет ряд недостатков:

- содержание эрбия в минералах ксенотиме и эксените не превышает 5%;
- имеет дорогостоящую технологию изготовления;
- эрбий является сильным раздражителем и влияет на метаболизм.

Альтернативным материалом является алюмоиттриевый гранат, легированный ионами гольмия. Данный материал не влияет на организм человека. Гольмий стимулирует обмен веществ. Технология изготовления алюмоитриевого граната, легированного ионами гольмия схожа с технологией изготовления алюмоитриевого граната, легированного ионами эрбия. Во избежание перегрева кристалла изнутри при его формировании в расплав граната добавляют хром (Cr), тулий (Tm) и гольмий (Ho). Структура кристаллической решетки на примере иттрий-алюминиевого граната представлена на рисунке 3 [5].

Рис. 3. Структура кристаллической решетки иттрий-алюминиевого граната (YAG)

Гольмий содержится в таких минералах как монацит и гадолинит и обычно извлекается из монацита с использованием методов ионного обмена. Вместе с другими редкоземельными элементами содержится также в минералах бастенезите, эксените и апатите. Гольмий входит в состав лантаноидов, которые часто встречаются в Китае, США, Казахстане, России, Украине, Шри-Ланке, Австралии, Бразилии, Индии, странах Скандинавии.

Длина волны излучения гольмиевого лазера составляет 2,1 мкм. Как видно из рисунка 2, на этой длине волны находится пик поглощения лазерного излучения водой. Это значит, что гольмиевый лазер также способен перфорировать палец пациента.

Один импульс излучения гольмиевого лазера имеет короткий путь полного поглощения в ткани (около 0,4 мм) в связи с сильным поглощением водой. Это значит, что поражение окружающих тканей при использовании такого лазера для перфорирования кожи будет минимальным.

Плотность поглощенной энергии в орошающей жидкости и (или) ткани очень высока и приводит к немедленному подъему температуры до уровня выше точки кипения, в результате чего и происходит прокол кожных покровов.

При работе лазера пузырьки испаряемой жидкости разделяют слои ткани, буквально ее разрывая. Вместе с этим лазерное излучение поглощается тканью, что говорит о том, что ткани не получают термотравмы.

При работе лазера в бесконтактном режиме работы имеет место коагуляция тканей, то есть заживление раны, причем рубцевание тканей в этом случае минимальное. Также при работе лазера наблюдается самоочищение тканей от различных микробов и вирусов.

Обычно энергия каждой вспышки гольмиевого лазера составляет до 2 Дж. Длительность вспышки составляет от 150 мкс до 1 мс. Для диффузии тепла из цилиндрического пространства, определяемого диаметром оптического волокна и длиной пути полного поглощения, необходимо около 100 мкс (время тепловой релаксации). Тепло, вырабатываемое в процессе поглощения энергии, накапливается в ходе длительности импульса лазера в точке воздействия до тех пор, пока теплопроводность не выровняет температурный профиль.

Как известно, толщина кожи на пальце человека может варьироваться от 220 до 726 мкм. Это значит, что для перфорирования кожи с максимальной энергией излучения будет достаточно двух импульсов. Если же использовать меньшую энергию излучения, то глубина прокола будет снижаться и, соответственно, количество импульсов будет возрастать, но вместе с этим будет уменьшаться температура, которую пациент будет чувствовать в месте перфорирования.

Исходя из вышеупомянутых фактов можно сделать вывод о том, что использование гольмиевого лазера для прокола кожи безопасно для кожи человека и не наносит вреда глазам. Перфорирование тканей проводится на небольшую глубину, которая определяется мощностью излучения и количеством импульсов. При работе такого лазера человек на долю секунды ощутит высокую температуру в месте перфорирования.

Список литературы

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Оптика / Д. В. Сивухин. – М.: Наука, 1985.
2. Ораевский, А. Н. Лазер / А. Н. Ораевский. – М.: Советская энциклопедия, 1969. – 216 с.
3. Einstein, A. Strahlungs-emission und -absorption nach der Quantentheorie / A. Einstein. – 1916.
4. Ораевский, А. Н. Лазер / А. Н. Ораевский. – М.: Советская энциклопедия, 1990.
5. Momma K., Izumi F. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data // J. Appl. Crystallogr. International Union of Crystallography, 2011. Vol. 44, № 6. P. 1272–1276.

© Г.И. Минаков, А.Д. Гиндеров, И.А. Мороз, 2021