

Láser en medicina

LASER es el acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Esto significa "Amplificación de ondas lumínicas por emisión estimulada de radiaciones".

El láser por lo tanto es un proceso de amplificación y no un aparato, que culmina en la producción de una "luz" (en términos prácticos la banda del espectro electromagnético que incluye las radiaciones ultravioleta, luz visible, infrarrojo). Esta luz no se encuentra normalmente en la naturaleza y es de extraordinaria intensidad. Para ejemplificarla, si enfocamos la luz solar con una lupa podemos obtener una intensidad o densidad de potencia máxima de 300 W/cm², mientras que con los láseres quirúrgicos que se encuentran en nuestro medio se obtienen intensidades de 25 millones de W/cm².

Esto se debe a que la radiación es emitida en ondas electromagnéticas paralelas de una longitud de onda determinada, que se forman en un sistema atómico o molecular apropiado, aprovechando procesos de óptica cuántica basados en los principios de emisión estimulada descritos por Einstein¹ y en los experimentos de Schallow y Townes en Estados Unidos² y Prokhorov y Basov en la Unión Soviética³.

ONDAS ELECTROMAGNETICAS

La luz es sólo una pequeñísima porción del espectro electromagnético. Aunque la naturaleza exacta de la luz no se

Dr. Hugo Fernández Juri
Cátedra de Física Biomédica. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, República Argentina.

conoce, presenta características de ondas y de partículas discretas o "cuantos" de energía llamados fotones.

Para entender el espectro electromagnético y el láser explicaremos la luz de acuerdo con sus características ondulatorias.

Una onda se caracteriza por tres variables.

1. Longitud de onda (λ)
2. Frecuencia (ν)
3. Velocidad de la luz (c): 300,000 km/seg

La longitud de la onda es la distancia entre dos crestas y es el parámetro utilizado para organizar el gráfico del espectro electromagnético.

Cuando se habla de la longitud de onda en láser se mide en nanómetros (nm) y algunas veces en micrones y angströms.

La relación es:

$$1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm} = 10^{-3} \mu = 10 \text{ \AA}$$

La luz visible varía entre 385 nm (violeta) a 760 nm (rojo).

La frecuencia, es la cantidad de ondas que pasan por un punto por segundo; siendo la velocidad de la luz constante, significa que la frecuencia, que se expresa en hertz o ciclos por segundo, es inversamente proporcional a la lon-

gitud de onda. A mayor frecuencia (o menor longitud de onda) mayor energía, por eso los rayos γ y X son ionizantes y de gran energía comparada con la luz visible.

ORIGEN DE LA LUZ

Toda luz proviene de materia. Para entender cómo trabaja un láser, y cómo su luz difiere de otra luz, debemos revisar las reglas básicas de mecánica cuántica.

En un átomo los electrones ocupan ciertos niveles definidos de órbitas. A mayor nivel de energía, más alejada la órbita del electrón.

Estos electrones no son libres de ocupar niveles intermedios entre las órbitas definidas de ese átomo; así, cuando el nivel energético de un átomo es cambiado, el electrón debe subir o bajar al próximo nivel orbitario. Un átomo debe absorber energía para realizar este movimiento hacia arriba y emite energía cuando la transición es hacia abajo.

En el caso de los láseres, la radiación es emitida en el espectro infrarrojo, ultravioleta o en luz visible.

Uno de los requerimientos de un medio para poseer acción láser es tener más átomos en estado excitado que en reposo. A esto se lo llama "inversión de población atómica".

EMISION ESPONTANEA VERSUS EMISION ESTIMULADA

Ordinariamente, un electrón excitado, va a decaer espontáneamente de la

órbita de mayor nivel energético, a su órbita de reposo, emitiendo en el proceso un fotón que es característico (misma longitud de onda-misma frecuencia) para cada elemento, ya que representa la diferencia energética entre la órbita de excitación a la órbita de reposo de ese elemento. Lo que significa que cada elemento: argón, kriptón, etc., emite luz de un determinado color.

Cuando en muchos átomos en un medio se produce emisión espontánea, se producen fotones "fuera de fase" y "luz incoherente". Esto es la luz común.

En determinados estados físico-químicos se pueden lograr átomos excitados más estables que no decaen espontáneamente, y en cambio decaen y emiten su fotón cuando otro fotón de su misma característica llega a ese átomo y lo "estimula" a emitir.

El resultado final son dos fotones de la misma longitud de onda, con la misma dirección, coordinados en tiempo y espacio ("en fase"). Este es el proceso de *emisión estimulada* descrito por Einstein tempranamente en 1900 y recién utilizado por Schallow y Townes en los años cincuenta.

CARACTERISTICAS DE LA LUZ LASER

Lo que hace única a esta luz comparada con la luz común es:

1. Coherencia: coordinación en tiempo y espacio.
2. Monocromaticidad: color purísimo no encontrado en la naturaleza.
3. Colimación: ondas en paralela mínima divergencia.

COMO TRABAJAR UN LASER

Un equipo productor de láser tiene cuatro componentes básicos:

1. Un medio activo: argón, kriptón, CO₂, Nd, etc.
2. Un mecanismo de excitación: electricidad, luz, radiofrecuencia, etc.
3. Un mecanismo de retroalimentación: cámara resonante - espejos reflectivos.
4. Un mecanismo emisor: lentes, fibras ópticas, etc.⁴

Los fotones van chocando en los espejos anteriores y posteriores y se van amplificando al seguirse sumando, hasta que se les permite su salida por el espejo anterior.

Los láseres son usualmente denominados por sus medios activos, que son

“En el rango visible la acción de la luz depende del color de los tejidos y sus pigmentos naturales”.

las sustancias que efectivamente tienen la capacidad laseante y pueden clasificarse en cuatro grupos:

Medios activos

1. Sólidos: a) rubí, b) neodimium-Yag.
2. Gaseosos: a) CO₂, b) argón, c) helio-neón.
3. Líquidos: a) láser de tinturas.
4. Electrónicos - semiconductores: a) arseniuro de galio.

El mecanismo de excitación varía con el láser. Por ejemplo: el láser de CO₂ es excitado eléctricamente y el Nd-Yag ópticamente con lámparas de kriptón.

CARACTERISTICAS DE LOS LASERS MEDICOS

Entendiendo la necesidad de una variedad de láseres, que de acuerdo con su longitud de onda darán diferentes efectos en los tejidos, se han desarrollado más de cien diferentes láseres de uso médico. Más adelante explicaremos algunos más comunes. Continuamente se está trabajando en obtener nuevas longitudes de onda. Actualmente se están desarrollando láseres en el ultravioleta lejano, incluso experimentando con láseres de rayos X.

Existen láseres de tinturas capaces de ofrecer una selección de longitudes dentro de la banda rojo naranja y existe un

láser altamente experimental: el láser de electrones libres, teóricamente capaz de producir láser en todo el espectro. Este láser ofrece grandes promesas en el futuro mediato. Actualmente los láseres más usados están en la banda visible: argón (azul-verde), Nd-Yag-KTP (verde), tintura-rodamina (amarillo-naranja-rojo), helio-neón (rojo), kriptón (rojo), etc., y en el infrarrojo cercano = Nd-Yag, holmio, erbio y lejano CO₂.

Los láseres se utilizan en forma continua si se desea aprovechar su capacidad de producir efectos térmicos al transformarse en calor al interactuar con los tejidos (para seccionar, coagular, evaporar, etc.) o en forma pulsada en tiempos menores a los milisegundos y produciendo megavatios de potencia, lo que produce una onda elástica o termoacústica transitoria que produce un fenómeno explosivo (para ruptura de cálculos, por ejemplo)⁵.

BIOFISICA DEL LASER. SU INTERACCION CON LOS TEJIDOS

El efecto de las radiaciones ópticas en los tejidos (que está dado por la transformación de la energía lumínica en otras formas de energía: calórica, mecánica, química, eléctrica) depende de la porción del espectro de la que proviene; así, la luz ultravioleta, tiene una acción principalmente fotoquímica (formación de vitamina D, por ejemplo). Esto es aprovechado en la utilización de láseres ultravioleta que producen divisiones de las uniones moleculares sin producir calor y se utilizan en destrucción de placas ateromatosas en coronarias por vía de fibras ópticas, por ejemplo (láser de Nd-Yag en la cuarta armónica = 265 nm; láser de fluoruro de xenón, etc.). Su desventaja es la posibilidad, por su ultravioleta, de producir cambios a nivel DNA-RNA, aunque no ha sido comprobado experimentalmente.

En el rango visible la acción de la luz depende del color de los tejidos y sus pigmentos naturales. Así el color verde de un láser de argón o de potasio-titanilfosfato (KTP), utilizado en el tratamiento de un angioma, penetrará sin afectar la piel y se absorberá en los glóbulos rojos del angioma, transformándose en calor y coagulándolo. El láser en sí no tiene temperatura, sino que se genera al ser absorbido por la materia y transformarse en calor. De la misma manera, en of-

talmología se fotocoagula la retina sin afectar las estructuras anteriores del ojo, que son transparentes a este color.

Básicamente la acción de los láseres visibles está siempre dada por la transformación de la luz en calor una vez absorbida por el pigmento. De acuerdo con la temperatura que se genere en el efecto que produce (cuadro 1).

El aumento de temperatura no sólo depende de los factores propios del láser: longitud de onda, potencia, tiempo de utilización, etc., sino de las características de los tejidos: densidad, color, conductividad térmica, etc., lo que hace necesario trabajar experimentalmente en la determinación de perfiles calóricos de tejidos con los diferentes láseres.

Hay ciertos efectos no calóricos en la utilización de láseres visibles. Se está trabajando inyectando pigmentos artificiales derivados de la hematoporfirina, que se fijan en tumores, y al ser irradiados con láser de color rojo producen un fenómeno citotóxico con muerte celular (tratamiento fotodinámico del cáncer) por liberación de singletes de oxígeno ($1 O_2$).

Otros fenómenos no térmicos descritos son: aumento de proliferación de fibroblastos, aumento de índice mitótico^{6,7} e interferencia en mecanismos inflamatorios producidos por láseres de He-Ne y arseniuro de galio^{8,9}.

La luz infrarroja, en cambio, genera calor por un fenómeno rotacional y vibracional de las moléculas y es independiente del calor de los tejidos; aquí se encuentran los láseres de neodimium-

electricidad. La cavidad resonante es de selenido de zinc y los espejos reflectivos, de oro y germanio¹⁰.

Efecto en los tejidos y aplicaciones

La emisión del CO_2 es altamente absorbida por el agua; siendo los tejidos mayoritariamente agua, 98% de la energía incidente es absorbida en aproximadamente 0.01 nm, lo que lo transforma en un elemento de altísima precisión. No se puede transmitir por fibra óptica, por lo que su aplicación es directa, por un brazo articulado o a través del microscopio. Es invisible al ojo humano, por lo que necesita una luz de guía (láser de He-Ne de muy baja potencia).

Este láser, por su gran precisión, tiene gran utilización en microcirugía, cirugía de la esterilidad, cirugía del cuello de útero, úlceras de decúbito, cirugía de cuerdas vocales, etc.^{11,12}.

Ventajas

Alta precisión de corte (10 veces superior al bisturí), eliminación de instrumental en el campo quirúrgico, cirugía sin contacto, etc.

Desventajas

Necesita visión directa de la lesión (no se transmite por fibra óptica). Poco poder hemostático comparado con otros láseres (coagula vasos hasta 0.2 mm de diámetro).

b) Láser de argón

El instrumento

Utiliza una bomba de muy alta corriente eléctrica que pasa a través del gas

“Todos los láseres son peligrosos cuando no son usados correctamente, no sólo para el paciente, sino para el personal operador...”

Yag en el infrarrojo cercano y de CO_2 en el infrarrojo lejano, que discutiremos en mayor profundidad.

CARACTERISTICAS DE LOS LASERS DE CO_2 , Ar, Nd-Yag

a) Láser de CO_2

El instrumento

Este láser tiene una emisión espectral de 10,600 nm (infrarrojo intermedio), siendo su medio activo el CO_2 , facilitando su activación una mezcla de nitrógeno y helio. La fuente de energía es

Cuadro 1
EFFECTOS DEL LASER DE ACUERDO CON LA TEMPERATURA GENERADA

Temperatura	37-60°C	60-65°C	90-100°C	Varios cientos de grados centígrados
Procesos	recalentamiento	desnaturalización de albúmina	deseccación	carbonización
Variación óptica	ninguna	coloración gris blanquecina: aumento de la dispersión	dispersión constante	coloración negra, absorción incrementada
Variación mecánica	ninguna	esponjamiento	encogimiento, pérdida de líquido	fuerte deterioro mecánico
				vaporización combustión
				formación de humo y gas
				supresión

argón, el que se ioniza y realiza transiciones que generan ondas electromagnéticas en la porción azul-verde del espectro. Se transmite por fibras ópticas.

Efecto en los tejidos y aplicaciones

El láser de argón es primariamente absorbido por la melanina y la hemoglobina, aunque virtualmente todos los tejidos lo absorben en cierto grado.

El uso más frecuente del láser es en el tratamiento de las retinopatías diabéticas por el láser de argón. Se utiliza, como explicamos, en dermatología y cirugía plástica. También se lo utiliza transmitiéndolo por fibras ópticas en la cirugía vascular.

c) Láser de neodimium-Yag

El instrumento

El productor del láser es un cristal de itrio y aluminio inyectado con 1 a 3% de iones de neodimium. La fuente de energía son lámparas en arco de xenón o kriptón que proveen de fotones al neodimium. Produce una onda electromagnética en el infrarrojo cercano (1,060 nm y 1,320 nm). Se transmite por fibras ópticas.

Efecto en los tejidos y aplicaciones

Este láser es menos absorbido en sangre que el argón y tiene una gran profundidad de acción. Graduando su potencia se pueden coagular grandes vasos y linfáticos (hasta 3.5 mm de diámetro)

o evaporar grandes tumores. Se lo utiliza en forma directa en tumores cerebrales (coeficiente de absorción 3/1 comparado con tejido cerebral normal)¹³, hepatectomías parciales, esplenectomías parciales, etc., y en forma endoscópica aprovechando su transmisión por fibras ópticas de 1/3 de mm en cirugía vascular coronaria, neurocirugía endoscópica¹⁴, cirugía conservadora de disco^{15,16}, tumores de vejiga¹⁷, recanalización de tumores de bronquios, esófago, recto, etc.

Contraindicaciones

Todos los láseres son peligrosos cuando no son usados correctamente, no sólo para el paciente, sino para el personal operador. Hay peligros oftálmicos, de piel, explosivos, etc.

No hay láseres inocuo. El más inocente láser de entretenimiento puede producir daños permanentes en retina. Nuestro país se encuentra atrasado en regulación de utilización de láseres, aunque ya existe un proyecto en la Cámara de Diputados de la Nación.

Lo importante es saber que existen ventajas que ya resistieron el test del tiempo, otras que son discutibles y otras sólo teóricas.

Existen conocidos efectos contraproducentes (formación de cataratas, etc.) y principalmente existe falta efectiva de beneficios en gran cantidad de procedimientos promocionados en medios masivos de comunicación, especialmente con los llamados "láseres blandos" (lá-

sers de muy baja potencia: 100.000 veces menor que los láseres quirúrgicos).

Creemos que la profundización del conocimiento de los efectos reales por parte del cuerpo médico, llevará a la necesaria decantación en la utilización de esta nueva tecnología.

Bibliografía

1. Fuller T.: Phd. The physics of surgical lasers. Laser in Surgery and Medicine 1:5-14, 1980.
2. Schallow AL, Townes CH.: Infrared and optical masers. Physical Rev 112:1940-49, 1958.
3. A review of Soviet technics in laser instrumentation for medicine and biology. "The Biomedical Laser" (Leon Goldman, ed.), 271-281, 1980.
4. Hofstetter A, Frank F.: The Nd:Yag Laser in Urology. Basilea, Suiza, 1980.
5. Fuller T.: Fundamentals of Lasers in Surgery. Surgical Applications of Lasers (Yearbook of Surgery), 11-28, 1983.
6. Juri H, Barioglio S, Lacuara J, Fiol M.: Effect of low energy laser radiation upon cellular cycle in a plant model. Laser in Surgery and Medicine 7:1 (73), 1987.
7. Barioglio S, Juri H, Lacuara J, Fiol M.: Efecto de la radiación láser en ciclo celular. Investigación y Clínica Láser. España IV:2 (69), 1987.
8. Juri H, Palma J, kBavotto A.: Efectos del láser He-Ne sobre las concentraciones de fibrinógeno en el plasma de ratas con lesiones tisulares. Revista del Centro de Documentación Láser de Barcelona, 10:11 5-6, 1986.
9. Lapin R, Palma J, Juri H.: Sodium-Potassium transport contraport and cell volume of rat erythrocytes submitted to He-Ne laser radiation. J Blood Med and Surg 5:3 42-45, 1985.
10. Juri H, Palma J, Lacuara J, Obeide A.: Laser beam in surgery. J Blood Med and Surg 3:2 65-66, 1985.
11. Juri H, Palma J, Obeide A.: The CO₂ in the treatment of decubitus ulcers. The Journal of Neurological and Zortopaedic Surgery 7:2 29-35, 1986.
12. Juri H, Palma A.: CO₂ laser in decubitus ulcers. Laser in Surgery and Medicine 7:4 296-299, 1987.
13. Fasano VA.: Effect of laser sources on the elastic resistance of Thevessel walls. Nd-Yag Laser Surgery, Joffe S ed., 266-270, NY Oxford 1983. ord.
14. Auer L, Ascher P.: Laser asisted neurosurgical endoscopy. Laser 3:2 114-119.
15. Lapin R, Juri H, Ferrer M, Spada J.: Feasibility of clinical use of YAG laser in treatment of lumbar disc disorders. J of Blood Med and Surg 5:3 5-6, 1987.

IMPORTANTE

Aquellos colegas o instituciones que no estén recibiendo en forma regular las ediciones de DIALOGO MEDICO, favor dirigirse a Productos ROCHE Q.F.S.A.: Prol. Javier Prado Este 2121, San Borja, Lima, o contactar al teléfono 35 66 30 - anexo 123.