

Cirurgia a Laser e Anestesia *

Laser Surgery and Anesthesia

Odilar Paiva Filho¹; José Reinaldo Cerqueira Braz, TSA²

RESUMO

Paiva Filho O, Braz JRC - Cirurgia a Laser e Anestesia

JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS: As cirurgias com a utilização do laser apresentam riscos para o paciente e para a equipe médica. O objetivo deste artigo é apresentar noções básicas sobre o laser e regras para aumentar a segurança dos procedimentos com sua utilização.

CONTEÚDO: O presente artigo contém noções de física aplicadas ao laser, regras de segurança e a conduta em caso de ocorrência de eventos adversos com a utilização do laser.

CONCLUSÕES: Concluimos que, quando manipulado por profissionais treinados, e respeitadas as normas de segurança, o laser é útil e seguro, tanto para o paciente quanto para a equipe médica.

Unitermos: ANESTESIA; EQUIPAMENTOS; laser

SUMMARY

Paiva Filho O, Braz JRC - Laser Surgery and Anesthesia

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Laser surgeries pose risks both to patients and the medical staff. This article aimed at presenting basic notions for laser usage and rules for improving laser procedures safety.

CONTENTS: Notions of physics applied to laser, safety rules and procedures in case of adverse events with laser application are presented.

CONCLUSIONS: When operated by trained professionals, and provided safety rules are followed, laser is useful and safe both for patients and the medical staff.

Key Words: ANESTHESIA; EQUIPMENTS; laser

INTRODUÇÃO

A palavra *Laser* é um acrônimo para "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*". O *laser* é, a princípio, de aplicação militar, como marcador para alvos em treinamentos. Possui aplicação também em comunicação, sistemas de navegação para aeronaves, "*scanners*", trabalhos em metal, fotografia, holografia e Medicina. Em Medicina o *laser* é utilizado para dissecar tecidos com maior precisão, permitir a coagulação de pequenos vasos, manter as condições de esterilidade e provocar menor resposta inflamatória. O *laser*, quando respeitadas as normas de segurança para sua utilização, reduz a morbidade pós-operatória comparado às técnicas operatórias convencionais, principalmente em cirurgias da laringe¹. O objetivo deste trabalho é auxiliar os profissionais de saúde na utilização do *laser* com segurança.

O DESENVOLVIMENTO DO LASER

Seu desenvolvimento só foi possível graças ao advento da Física Quântica, que possibilitou o trabalho com modelos de estrutura atômica e radiação eletromagnética.

Muitas fontes de luz são gases ou sólidos aquecidos, como os filamentos de tungstênio eletricamente aquecidos das lâmpadas comuns, que emitem um espectro de comprimento de ondas de intensidades relativas e dependentes da temperatura. Simplificando o estudo das diversas variáveis, físicos clássicos criaram um "radiador de cavidade". Um artefato sólido com um orifício lateral que, quando aquecido à determinada temperatura, tornava a luz, que emergia de dentro do orifício, mais brilhante que a luz de fora do orifício, independentemente do tipo de material do radiador, mas dependente da temperatura. Porém, muito ainda permanecia inexplicado.

Em 1900, Max Planck realizou importantes descobertas. Concluiu que os átomos podiam não irradiar continuamente, mas apenas em "quanta", e apenas quando saltasse de um estado de alta energia para um estado de baixa energia. Entretanto, o processo da luz era considerado ainda como uma onda.

Se a luz pode ser refletida por uma superfície de metal, então elétrons são liberados do metal - efeito fotoelétrico. Se o metal é posicionado em um tubo a vácuo com um circuito externo, uma corrente passível de medição irá fluir. Assim, conectando-se um suprimento de energia, é possível medir a voltagem pela qual cessa-se a corrente fotoelétrica e calcular a energia dos foto-elétrons. Observou-se que:

1. Foto-elétrons são emitidos assim que surge a luz;
2. O fluxo de corrente é proporcional à intensidade da luz;
3. A energia do foto-elétron é proporcional à frequência da luz;

* Recebido do (**Received from**) Departamento de Anestesiologia da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB - UNESP), Programa de Pós-Graduação em Anestesiologia

1. Pós-Graduando (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Anestesiologia da FMB - UNESP. Anestesiologista do Hospital Beneficência Portuguesa de São José do Rio Preto, SP

2. Professor Titular do CET/SBA do Departamento de Anestesiologia da FMB - UNESP

Apresentado (**Submitted**) em 18 de março de 2002

Aceito (**Accepted**) para publicação em 05 de maio de 2003

Endereço para correspondência (**Correspondence to**)

Prof. Dr. José Reinaldo Cerqueira Braz
Deptº de Anestesiologia da FMB - UNESP
18618-970 - Botucatu, SP

© Sociedade Brasileira de Anestesiologia, 2004

Houve uma tentativa mal sucedida de se explicar este fenômeno através da teoria de onda. Porém, Albert Einstein, em 1905, foi capaz de explicar o fenômeno. Einstein postulou que a luz não eram “ondas contínuas” mas “quanta”, que ele chamou fótons. Baseado na teoria de Planck em que os átomos se comportariam como “osciladores eletromagnéticos” podendo emitir ou absorver luz da cavidade, mas apenas em frequências características, Einstein utilizou a fórmula de Planck:

$$E = nh\nu$$

onde:

E = energia;

n = um número integral;

h = constante de Planck;

v = frequência (representada pela letra grega *epsilon*).

E postulou que os fótons possuíam energia “E” de acordo com a fórmula de Planck. Um único fóton pode interagir com um único elétron e a energia cedida a este elétron dependerá apenas da energia do fóton e da sua frequência. Aumentando-se a intensidade da luz, aumenta-se o número de fóton-elétrons lançados e, conseqüentemente, a corrente. A emissão se iniciará instantaneamente, desde que toda a energia necessária para a liberação de um fóton-elétron esteja contida em um único fóton.

Quando um fóton interage com um elétron, pode não haver energia necessária para desencadear o processo. Neste caso, o fóton é absorvido pelo elétron, mas o elétron não é liberado do átomo. Entretanto, ele salta para um nível de maior energia, forçando o átomo a passar de seu estado básico com energia E_1 para um estado de maior energia E_2 . Se o fóton absorvido possui energia $E = h\nu$, então o aumento de energia no elétron será $E_2 - E_1$, que será igual a $h\nu$.

Cerca de 10^{-8} segundos após, o elétron salta de volta ao estado anterior reemitindo o fóton, novamente com energia $h\nu$. O átomo excitado não possui direção preferencial no espaço e assim o fóton pode ser irradiado em qualquer direção enquanto o átomo recua em direção oposta. Este processo é chamado emissão espontânea. Se um grupo de átomos são excitados desta forma, eles irão irradiar fótons em várias direções aleatoriamente; assim, como átomos, retornarão ao seu estado básico.

Entretanto, se um fóton com energia $h\nu$ interage com outro elétron a um nível de energia E_2 , o elétron é forçado a baixar até o nível básico com a emissão de um segundo fóton. Este fenômeno é chamado de emissão estimulada e consiste na base da atividade do *laser*.

O mais importante ponto a respeito da emissão estimulada é que ambos os fótons deixam o átomo com a mesma fase, direção e comprimento de onda que o fóton que entra. Se eles fizessem diferentemente interfeririam e se cancelariam, violando a lei de conservação de energia. Os dois fótons são ditos coerentes. Se um grupo de átomos são excitados desta forma, o feixe inicial de fótons será aumentado pelos fótons adicionais e assim “amplificado”.

Se um material está em equilíbrio térmico a uma temperatura T, a distribuição de átomos em estado de baixa energia em relação aos de alta energia é acentuadamente maior. Se N_1 é a densidade de átomos em baixo estado e N_2 a densidade de átomos mais excitados, então a relação de N_2 para N_1 é dada por:

$$N_2/N_1 = e^{(kt/h\nu)}$$

onde:

t = temperatura em Kelvin;

k = constante de Boltzmann.

Se o material está a 10^3 K então $N_2/N_1 = 10^{-5}$. Assim apenas um átomo em 10^5 está em estado excitado.

A condição na qual o número de átomos excitados excede aqueles em estado básico é uma condição de não equilíbrio, chamada inversão de população. Esta condição é necessária para manter a atividade *laser*. Se uma grande quantidade de átomos está em estado básico, então apenas absorção e emissão espontâneas ocorrerão. Se a inversão de população puder se manter, a emissão estimulada ocorrerá. O processo usado para manter a inversão de população é chamado de bombeamento.

Assim, a física quântica produz o *laser* partindo, por exemplo, do hélio, do neônio e do argônio, que, acondicionados em um sistema próprio e submetidos à pressão que varia de 1 a 3 Torr, recebem uma corrente de alta voltagem, passando por todas as fases já descritas anteriormente, emitindo o *laser*.

Em resumo, o *laser* é radiação eletromagnética emitida por um dispositivo utilizando amplificação da luz por emissão de radiação estimulada a comprimentos de onda que variam de 180 nm a 1 mm. O espectro eletromagnético varia desde raios gama até a eletricidade. O comprimento de onda primário da radiação *laser*, tanto para aplicações militares como médicas, incluem o espectro ultravioleta, o visível e o infravermelho.

Diversos são os tipos de *laser*: *lasers* de estado sólido, semicondutores, líquidos e *lasers* de gás. O *laser* de dióxido de carbono, argônio e o de Nd-YAG, que pode ser transmitido por fibra óptica, possuem aplicação médica ².

APLICAÇÃO MÉDICA DO LASER

O *laser*, através do uso de fibra óptica, possibilita a realização de microcirurgias precisas, mesmo em áreas de difícil acesso. Útil em cirurgias superficiais, pode ser empregado também em laparoscopia, endoscopia, cirurgia torácica, oftalmologia, ginecologia, cirurgia plástica, urologia, neurocirurgia e otorrinolaringologia. Concentra em uma pequena e precisa área uma grande quantidade de energia, que vaporiza os tecidos, provocando cauterização instantânea de vasos sanguíneos e linfáticos ².

Como os tecidos vivos são compostos basicamente por água, o *laser* de dióxido de carbono, que é bem absorvido pela água, será absorvido rapidamente pelas primeiras ca-

mas de células, provocando a vaporização destas células sem causar lesão aos tecidos adjacentes. Os *lasers* de dióxido de carbono, que são invisíveis, possuem um feixe de *laser* de hélio-néon para tornarem-se visíveis ao olho humano e possibilitar a localização do alvo. Os *lasers* de argônio e Nd-YAG, com menor teor de absorção pela água, provocam menor grau de vaporização e maior grau de coagulação térmica, sendo utilizado em cirurgias oftalmológicas de retina e câmara anterior, em dermatologia para remoção de manchas e hemangiomas, e em cirurgias plásticas para a remoção de tatuagens, em virtude de sua absorção por diversos pigmentos, inclusive a hemoglobina. O *laser* Nd-YAG também tem sido utilizado em fotocoagulação de hemorragias do aparelho respiratório e digestivo. Assim, os diferentes tipos de *laser* possuem aplicações clínicas diferentes e específicas³⁻⁵.

A vaporização dos tecidos produz gases e fumaça que, além de reduzir a visibilidade no campo operatório, contém finas partículas de até 0,3 mm responsáveis pela contaminação atmosférica. Os gases produzidos podem acarretar embolia gasosa, principalmente em toracoscopias, laparoscopias e ressecções de tumores traqueais como consequência da perfuração de vasos sanguíneos e vísceras ocas⁶. A transferência inadvertida de calor também figura como desvantagem ao uso do *laser*, daí a recomendação de utilizá-lo intermitentemente e em moderada potência (15 W).

O *laser* de Nd-YAG penetra no olho e pode provocar queimaduras e cegueira, enquanto o de argônio e o de dióxido de carbono, absorvidos pela água dos tecidos, provocam lesão da córnea. Porém, entre os eventos adversos relativos ao uso do *laser*, o mais temido está relacionado à sua inflamabilidade⁴. Esta característica necessita o emprego de ventilação com frações inspiradas baixas de oxigênio e com tubos traqueais especificamente desenvolvidos para prevenir a combustão dentro das vias respiratórias. Os tubos traqueais são confeccionados a partir de uma espiral de alumínio ou cobre, para evitar que se incendeiem, e, às vezes, são dotados de balonete de espuma auto inflável para evitar a ruptura do balonete⁵.

Alguns tubos traqueais são desenvolvidos com metal fosco para reduzir a reflexão do *laser*, o que poderia causar lesão nos tecidos adjacentes. Outros são de metal revestidos com silicone que, segundo estudos, apresentam menor risco de combustão devido à maior resistência, mas ao incendiar produzem cinza tóxica contendo sílica⁶.

Os tubos de borracha vermelha e os de PVC apresentam risco de incêndio dentro das vias aéreas. O tubo de PVC pode se incendiar em apenas 3,7 segundos e o de borracha vermelha em 16,5 segundos quando submetidos à potência de 15 W⁶. O revestimento de tubos comuns com papel ou fita aluminizada para evitar a combustão deve ser evitado - embora seja a medida de menor custo, devido ao elevado preço dos tubos especialmente desenvolvidos - porque não previne eficazmente a combustão dos mesmos e pode deixar o balonete desprotegido do feixe de *laser*. Entretanto, o revestimento do tubo traqueal com fita aluminizada é aceito em nosso meio. A fita deve ser enrolada em torno do tubo a partir da porção imediatamente

te acima do balonete, sem deixar dobras que possam ferir a mucosa. O balonete deve ser protegido com gaze umedecida em solução fisiológica e preenchido com a mesma corada com azul de metileno. O corante permite a rápida e fácil detecção em caso de ruptura do balonete^{1,6,7}.

Dentre os tubos especiais para cirurgia a *laser* encontram-se disponíveis comercialmente o Norton, confeccionado em anéis metálicos espiralados e sem balonete, o Bivona Fome-Cuff, tubo aluminizado, revestido de silicone e com balonete com espuma de poliuretano, o Xomed Laser-Shield, composto de silicone e partículas metálicas não refletoras, o Malinckrodt Laser-Flex (Figura 1), confeccionado em anéis metálicos espiralados e flexíveis com dois balonetes plásticos distalmente e o Sheridan Laser-Trach, confeccionado em látex vermelho recoberto por uma tela atraumática de cobre e balonete distal em látex⁶.



Figura 1 - Tubo Traqueal Malinckrodt Laser-Flex

UTILIZAÇÃO DO LASER NA PRÁTICA CLÍNICA

O *laser* tem sido amplamente utilizado em cirurgias do trato respiratório alto, principalmente da laringe, e também em dermatologia, urologia, ginecologia, oftalmologia, cirurgia torácica e gastroenterológica⁸⁻¹¹.

Para a utilização segura do *laser* em cirurgias da laringe, recomenda-se a integração entre a equipe de cirurgiões e o anestesiológico. O anestesiológico deve garantir a patência das vias aéreas e a adequada ventilação; aos cirurgiões cabe o tratamento operatório adequado e seguro. Previamente à utilização do *laser*, a concentração de oxigênio inspirado deve ser reduzida a valores seguros, prevenindo a combustão. A fração inspirada de oxigênio não deve exceder 0,40, devendo ser a mais baixa possível para se manter a sa-

turação de oxigênio adequada¹. O compartilhamento do trato respiratório alto eleva o risco de obstrução e extubação acidental da traquéia, queimaduras e outras lesões das vias aéreas, da face e dos olhos, além do risco de contaminação da equipe pela fumaça gerada como consequência da vaporização dos tecidos.

Antes de se iniciar a anestesia, deve-se cateterizar veia de calibre adequado para a infusão de soluções de hidratação e drogas, e monitorizar o paciente com cardioscopia, oximetria de pulso, capnografia, monitor de pressão arterial e analisador de gases ou monitor capaz de determinar a fração inspirada de oxigênio, quando se dispõe deste equipamento.

Para as operações com *laser*, recomendam-se:

1. Usar opérculos ou óculos apropriados de proteção para os olhos de toda a equipe;
2. Presença na sala do mínimo de pessoas necessárias para a realização da operação;
3. Manipulação do equipamento de *laser* por profissional habilitado;
4. Manter as luzes da sala acesas. A pupila estando com seu diâmetro reduzido, devido a maior exposição a luz, reduz o risco de lesão da retina pelo *laser*;
5. Remover jóias. Objetos como colares, brincos ou anéis podem refletir o *laser* e provocar queimaduras em outros tecidos e locais;
6. Manter o disparador de *laser* na posição horizontal abaixo da altura da face, para proteção dos olhos e não executar outra tarefa enquanto estiver empunhando a caneta de *laser* e esta estiver emitindo raios. Assegurar que o banco ou cadeira onde está sentado o operador do emissor de *laser* esteja firme. Isto evita que disparos sejam feitos aleatoriamente podendo causar acidentes;
7. Usar protetores oculares apropriados (óculos de proteção) e estar atento para não provocar disparos acidentais e queimar outros tecidos e objetos com o *laser*;
8. Utilizar preferencialmente tubos traqueais especialmente desenvolvidos para operações com *laser* e proteger os tecidos adjacentes com gaze umidificada em solução fisiológica;
9. Não utilizar substâncias inflamáveis ou potencialmente inflamáveis, mesmo na limpeza e assepsia de qualquer material utilizado;
10. Reduzir a fração inspirada de oxigênio para 0,40 ou menos durante os momentos da utilização do *laser* para melhor prevenir a ocorrência de combustão; e a substituição do óxido nitroso por nitrogênio ou hélio, se possível. O óxido nitroso sustenta a combustão quando é decomposto originando átomos de oxigênio. A decomposição de 2 moles de óxido nitroso origina 1 mol de oxigênio, quantidade capaz de favorecer a combustão¹². O hélio, devido a baixa viscosidade e maior condutividade térmica permite o uso de tubos de menor diâmetro, o que melhora o campo operatório, e retarda a ignição^{5,6};
11. Proteger os olhos do paciente com gaze umidificada em solução fisiológica;

12. Preencher o balonete do tubo traqueal com solução fisiológica contendo azul de metileno para facilitar o diagnóstico de ruptura do balonete.

As concentrações mínimas de halotano, enflurano e isoflurano para combustão em 30% de oxigênio foram determinadas por Leonard (1975) e são de 4,75%, 5,75% e 7%, respectivamente¹³.

Não há restrições quanto ao uso de nenhum tipo de opióide, hipnótico ou bloqueador neuromuscular nas cirurgias a *laser*. Uma alternativa ao uso de tubos traqueais especiais ou revestidos com fita aluminizada é a realização da operação com *laser* sem a intubação da traquéia e com ventilação dos pulmões através de jatos Venturi que oferece melhor campo operatório para o cirurgião. Nesses casos, o procedimento deve ser curto, o jejum pré-operatório rigorosamente respeitado e o paciente deve receber medicação pré-anestésica com antieméticos. A ventilação por jato tipo Venturi é realizada com oxigênio a 100%, já que o carreamento de ar das vias aéreas reduzirá a fração de oxigênio inspirado. A ventilação por jato não é isenta de eventos adversos. Pode resultar em barotrauma, enfisema subcutâneo, pneumotórax ou pneumomediastino, distensão gástrica e carreamento de resíduos para a traquéia. Além disso, a ventilação por jato pode ser difícil ou mesmo impossível nos pacientes obesos ou com a complacência torácica ou pulmonar reduzida. Embora o uso de tubos traqueais comuns revestidos com fita aluminizada seja aceito, a recomendação será sempre para que se empregue tubo traqueal especialmente desenvolvido para as operações com *laser* como o Xomed Laser Shield, o Bivona Fome-Cuffed, o Norton ou o Malinckrodt Laser Flex¹⁴⁻¹⁷. A máscara laríngea é uma boa alternativa. Sua utilização nas uvulopalatoplastias para tratamento do ronco com o *laser* mostrou-se eficaz, já que sua inserção e remoção são fáceis e em alguns casos é possível utilizar o *laser* sem removê-la da laringe^{18,19}.

OCORRÊNCIA DE EVENTOS ADVERSOS COM O USO DO *LASER*

Dentre os eventos adversos decorrentes da utilização do *laser*, o mais temido é o incêndio das vias aéreas. A queima do tubo traqueal dentro das vias aéreas é grave e potencialmente fatal, podendo ainda acarretar várias seqüelas de difícil tratamento.

Em caso de incêndio nas vias aéreas, recomenda-se o seguinte:

1. Remover a fonte de fogo, no caso, o *laser*;
2. Parar a ventilação, desconectar o circuito ventilatório e extubar o paciente;
3. Apagar o fogo utilizando solução fisiológica em abundância;
4. Ventilar o paciente sob máscara facial com oxigênio a 100%;

5. Realizar laringoscopia e broncoscopia rígida para avaliar o grau de lesão, remover fragmentos do tubo traqueal incendiado e desbridar o tecido lesado se houver necessidade;
6. Reintubar o paciente e proceder à ventilação mecânica;
7. Avaliar o grau de comprometimento das vias aéreas e a necessidade de traqueostomia;
8. Caso ocorram queimaduras na face e orofaringe, estas também devem ser tratadas;
9. Realizar radiografia de tórax de controle;
10. Emprego de esteróides é controverso.

A utilização de material apropriado e a observância rigorosa das normas e recomendações de segurança são itens fundamentais para o sucesso na utilização do *laser* de aplicação médica¹⁰.

As ocorrências de eventos adversos com a utilização do *laser* descritas na literatura médica referem-se, na maioria das vezes, à não observância das regras de segurança. O desenvolvimento de materiais apropriados para o uso com o *laser* e o adequado treinamento dos profissionais aumentaram a segurança durante a sua utilização. Portanto, a simples observância das regras de segurança e a manipulação do *laser* por profissionais capacitados é o melhor método para se evitar a ocorrência de eventos adversos. Dentre os demais eventos adversos que podem ocorrer com a utilização do *laser* - tais como hemorragias, embolia gasosa, ruptura do balonete - o edema de partes moles é o que se manifesta mais tardiamente no pós-operatório. Assim, os pacientes que são submetidos a operações das vias aéreas com o *laser* devem permanecer sob observação por um período maior, mesmo que precocemente preencham os critérios de Aldrete-Kroulik para alta da sala de recuperação pós-anestésica. A ocorrência de insuficiência respiratória aguda após o uso com sucesso do *laser* para o tratamento de estenose traqueal subglótica quatro horas após a operação já foi relatada²⁰. Por outro lado, um estudo retrospectivo realizado com pacientes que foram submetidos a operações laringológicas demonstrou incidência de 1% de eventos adversos em operações com *laser*, sendo que destas 0,75% relacionaram-se ao uso do *laser* e 0,25% não se relacionaram ao uso do *laser*. Para a equipe médica, o maior risco refere-se a queimaduras oculares. Há uma classificação internacional para os *lasers* de funcionamento contínuo relacionada ao risco de queimaduras oculares (Quadro I)²¹.

Quadro I - Classificação Internacional para *Laser* de Funcionamento Contínuo

Classe I	Fontes não excedem a MPE para os olhos
Classe II	Lasers de feixes visíveis somente; fontes de mais de 1 mW; olhos protegidos pelo reflexo de piscar com tempo de 0,25 segundos
Classe IIIa	Relaxamento da classe II de 5 mW fazendo expansão do seu feixe de forma que o olho está protegido pelo reflexo de piscar
Classe IIIb	Fontes de até 0,5 W; visão direta é perigosa
Classe IV	Fontes de mais de 0,5 W; visão direta extremamente perigosa

Conclui-se, portanto, que embora os eventos adversos decorrentes do uso do *laser* possam ser graves, e até fatais, a ocorrência destes eventos pode ser evitada com a simples observância e aplicação das normas e recomendações de segurança, o que faz do *laser* um recurso útil e seguro em diversas especialidades cirúrgicas.

Laser Surgery and Anesthesia

Odilar Paiva Filho, M.D., José Reinaldo Cerqueira Braz, TSA, M.D.

INTRODUCTION

Laser is the acronym for "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". In principle, laser has military application as a marker for training targets. It is also used in communications, aircraft navigation systems, scanners, metal work, photography, holography and Medicine. In Medicine, laser is used to more precisely dissect tissues, coagulate small veins, maintain sterility conditions and promote less inflammatory response. Provided safety rules are followed, laser decreases postoperative morbidity as compared to conventional operating techniques, especially in laryngeal surgeries¹. This study aimed at helping health professionals to safely use laser beams.

LASER BEAM DEVELOPMENT

Laser beam development was only made possible by the advent of Quantum Physics, which has allowed the work with atomic structure models and electromagnetic radiation. Many light sources are heated gases or solids, such as electrically heated tungsten filaments of standard light bulbs, which emit wavelength spectra of relative and temperature-dependent intensities. Simplifying the study of different variables, classic physicists have created a "cavity radiator". This was a solid artifact with a lateral hole which, when heated to a certain temperature, would make light inside the hole brighter than light outside the hole, regardless of radiator's material, but temperature dependent. However, a lot had still to be explained.

In 1900, Max Planck made important discoveries. He has concluded that atoms could not continuously irradiate, but only in "quanta", and only when they jumped from a high energy to a low energy state. However, light process was still considered a wave.

If light is reflected by a metal surface, than electrons are released from the metal - photoelectric effect. If metal is positioned in a vacuum tube with an external circuit, it is possible to measure the voltage through which photoelectric current is interrupted and to calculate photoelectrons energy. It has been observed that:

1. Photoelectrons are emitted as soon as light appears;
2. Current flow is a function of light intensity;
3. Photoelectrons energy is a function of light frequency.

There has been a failed attempt to explain this phenomenon by the wave theory. However, Albert Einstein in 1905 was able to explain the phenomenon. Einstein has postulated that light was not "continuous waves" but rather "quanta", which he has called photons. Based on Planck's theory that atoms would behave like "electromagnetic oscillators" being able to emit or absorb light from the cavity, but only in characteristic frequencies, Einstein has used Planck's formula:

$$E = nh\nu$$

where:

E = energy;

n = an integer;

h = Planck's constant;

v = frequency (represented by the Greek letter *epsilon*).

And has postulated that atoms had "E" energy according to Planck's formula. A single photon may interact with a single electron and the energy conveyed to this electron would depend only on photon energy and frequency. By increasing light intensity, the number of launched photon-electrons is increased and, as a consequence, current is increased. Emission will instantaneously start, provided all energy needed for one photon-electron release is contained in a single photon.

When a photon interacts with an electron, there may be insufficient energy to trigger the process. In this case, the photon is absorbed by the electron, but the electron is not released from the atom. However, it jumps to a higher energy level forcing the atom to go from its basic state with E_1 energy to a higher E_2 energy state. If the absorbed photon has $E = h\nu$ energy, then electron's energy increase will be $E_2 - E_1$, which will be equal to $h\nu$.

Approximately 10^{-8} seconds later, the electron jumps back to its previous state re-emitting the photon with $h\nu$ energy. The excited atom has no preferential space direction so the photon may be irradiated in any direction while the atom goes in the opposite direction. This process is called spontaneous emission. If a group of atoms is excited this way, it will irradiate photons in different randomized directions; so, as atoms, they will return to their basic state.

However, if a photon with $h\nu$ energy interacts with an electron at a level of E_2 energy, the electron is forced to lower to its basic level with the emission of a second photon. This phenomenon is called stimulated emission and is the basis for laser beams activity.

The most important point about stimulated emission is that both photons leave the atom with the same wave phase, direction and length of the entering photon. If this would be done differently, they would interfere with themselves and be cancelled, violating the energy conservation rule. Both are called coherent photons. If a group of atoms is excited this

way, initial photon beam will be increased by additional photons and will be "amplified".

If a material is in thermal balance at a T temperature, low energy atoms distribution will be markedly higher as compared to high-energy atoms distribution. If N_1 is atoms density in low state and N_2 is more excited atoms density, then N_2/N_1 ratio is given by:

$$N_2/N_1 = e^{(kt/h\nu)}$$

where:

t = temperature in Kelvin;

k = Boltzmann's constant.

If the material is at 10^3 K, then $N_2/N_1 = 10^{-5}$. So, only one atom in 10^5 is in excited state.

The condition in which the number of excited atoms exceeds those in basic state is a non-balance condition, called population reversal. This condition is necessary to maintain laser activity. If a large amount of atoms is in basic state, there will be only spontaneous absorption and emission. If population reversal is maintained, there will be stimulated emission. The process used to maintain population reversal is called pumping.

So, quantic physics produces laser beams starting for example from helium, neon and argon which, arranged in an adequate system and submitted to pressure varying 1 to 3 Torr, receive a high voltage current, going through all previously described phases and emitting laser beams.

In summary, laser is the electromagnetic irradiation emitted by a device using light amplification by stimulated emission radiation at wavelengths varying from 180 nm to 1 mm. Electromagnetic spectrum varies from gamma rays to electricity. Primary laser radiation wavelength, both for military and medical applications, includes ultraviolet, visible and infrared spectra.

There are several types of laser: solid state, semiconductors, liquid and gas lasers. Carbon dioxide, argon and Nd-YAG lasers, which may be transmitted by fiber optics, have medical applications².

LASER BEAMS MEDICAL APPLICATIONS

Fiber optics laser allows for precise microsurgeries even in difficult to access areas. Useful in superficial surgeries, it may also be used in laparoscopies, endoscopies, chest surgeries, ophthalmology, gynecology, plastic surgery, urology, neurosurgery and ENT. It concentrates in a small and precise area a large amount of energy which vaporizes tissues causing instantaneous blood vessels and lymphatics cauterization².

As live tissues are basically made up of water, carbon dioxide laser, which is well absorbed by water, will be rapidly absorbed by the first cell layers, vaporizing these cells without injuring adjacent tissues. Carbon dioxide laser beams are invisible and have a helium-neon laser beam to become visible to human eyes and to allow target location. Argon and

Nd-YAG lasers, with less water absorption content, lead to less vaporization and more thermal coagulation, being used in ENT, retina and anterior chamber ophthalmic surgeries, in dermatology to remove spots and hemangiomas, and in plastic surgeries to remove tattoos, due to its absorption by several pigments, including hemoglobin. Nd-YAG laser has also been used in photocoagulation of respiratory and digestive tract hemorrhages. So, different lasers have different and specific clinical applications³⁻⁵.

Tissue vaporization produces gases and smoke which, in addition to decreasing operating field visibility, have fine particles of up to 0.3 mm responsible for atmosphere contamination. Gases produced may trigger gas embolism, especially during thoracoscopies, laparoscopies and tracheal tumor resection as a consequence of blood vessels and hollow organs perforation⁶. Inadvertent heat transfer is also a disadvantage of laser and the recommendation is to use it intermittently and in moderate power (15 W).

Nd-YAG laser penetrates the eye and may promote burns and blindness, while argon and carbon dioxide laser, absorbed by tissue water, cause corneal injuries. However, the most feared laser-related adverse event is inflammability⁴. This requires ventilation with low oxygen inspired fractions and tracheal tubes especially developed to prevent combustion within respiratory ways. Tracheal tubes are manufactured as from an aluminum or copper coil to prevent fire and, sometimes, they are equipped with auto-inflated foam cuffs to prevent cuff rupture⁵.

Some tracheal tubes are developed with dim material to decrease laser reflection which could damage adjacent tissues. Others are made of silicone-coated material which, according to studies, has lower combustion risk due to higher resistance, but if burned, they produce toxic silica-containing ashes⁶.

Red rubber and PVC tubes are at risk of burning inside airways. When submitted to 15 W power, PVC tubes may burn in just 3.7 seconds and red rubber tubes in 16.5 seconds⁶. Standard tubes coating with paper or aluminum tape to prevent combustion should be avoided - although being the lowest cost alternative due to the high cost of especially developed tubes - because they do not effectively prevent combustion and may leave the cuff unprotected against laser beams. However, aluminum tape-coated tracheal tube is accepted in Brazil. Tape should be wrapped around the tube as from the portion immediately above the cuff, without leaving folds which may damage the mucosa. Cuff should be protected with gauze moistened with saline and should be filled with gauze stained with methylene blue. The staining allows for fast and easy detection in case of cuff rupture^{1,6,7}.

Among special tubes for laser surgeries there are: Norton, made of coiled metal rings without cuff; Bivona Fome-Cuff, aluminum tube coated with silicone with polyurethane foam cuff; Xomed Laser-Shield, made of silicone and non-reflecting metal particles; Malinckrodt Laser-Flex (Figure 1) made of coiled and flexible metal rings with two distal plastic cuffs; and Sheridan Laser-Trach, made of red latex covered with atraumatic screen with latex distal cuff⁶.



Figure 1 - Malinckrodt Laser-Flex Tracheal Tube

LASER IN CLINICAL PRACTICE

Laser has been widely used in upper respiratory tract surgeries, especially larynx, and also in dermatology, urology, gynecology, ophthalmology, chest and GI tract surgeries⁸⁻¹¹. The integration between the surgical team and the anesthesiologist is recommended for the safe use of laser in laryngeal surgeries. The anesthesiologist shall ensure airways patency and adequate ventilation; surgeons should adequately and safely operate. Before using the laser, oxygen inspired concentration should be decreased to safe values, thus preventing combustion. Oxygen inspired fraction shall not exceed 0.40 and should be as low as possible to maintain adequate oxygen saturation¹. Upper respiratory tract sharing increases the risk for obstruction and accidental tracheal extubation, burning and other airway, face and eye injuries, in addition to contaminating the team with the smoke generated from tissue vaporization.

Before inducing anesthesia, an adequate vein should be catheterized for hydration and drugs infusion, and patient should be monitored with cardioscopy, pulse oximetry, capnography, blood pressure monitor and gases analyzer or monitor able to determine oxygen inspired fraction, when available.

Recommendations for laser surgeries are:

1. Use adequate cover or goggles for team's eyes protection;
2. Presence in the room of the minimum number of people needed for the surgery;
3. Laser equipment operation by qualified professional;
4. Keep room lights on. Pupil with decreased diameter due to higher exposure to light minimizes laser-induced retinal injury;

5. Remove jewels. Objects like necklaces, earrings or rings may reflect laser beams and burn other tissues or sites;
6. Maintain laser trigger in the horizontal position below the face level to protect eyes and avoid doing any other task while handling beam-emitting laser pen. Be sure that the stool or chair where the laser operator is sitting is firm. This prevents randomized shots which could cause accidents;
7. Use adequate eye protection (goggles) and be alert not to cause accidental shots and burn other tissues or objects with the laser;
8. Prefer tracheal tubes especially designed for laser surgeries and protect adjacent tissues with gauze moistened with saline solution;
9. Do not use inflammable or potentially inflammable substances, even for cleaning and disinfecting any material used;
10. Decrease oxygen inspired fraction to 0.40 or less during laser use to better prevent combustion; and replace nitrous oxide by nitrogen or helium whenever possible. Nitrous oxide feeds combustion when decomposed, originating oxygen atoms. The decomposition of 2 moles nitrous oxide generates 1 mol oxygen, enough to favor combustion¹². Helium, due to low viscosity and better thermal conductivity allows for the use of smaller tubes, which improves operating field and delays ignition^{5,6};
11. Protect patient's eyes with gauze moistened with saline solution;
12. Fill tracheal tube cuff with methylene blue-containing saline solution to help diagnose cuff rupture.

Minimum halothane, enflurane and isoflurane concentrations for combustion in 30% oxygen were determined by Leonard (1975) and are: 4.75%, 5.75% and 7%, respectively¹³.

There are no restrictions to the use of opioids, hypnotics or neuromuscular blockers during laser surgeries. One alternative to special or aluminum-coated tracheal tubes is to perform laser surgeries without tracheal intubation ventilating lungs through Venturi jets and providing a better operating field for the surgeon. In these cases, the procedure shall be short, preoperative fast strictly respected and patients should be premedicated with antiemetics. Venturi-type jets ventilation is achieved with 100% oxygen since air carried from airways will decrease oxygen inspired fraction. Jet ventilation is not free from adverse events and may result in barotraumas, subcutaneous emphysema, pneumothorax or pneumomediastinum, gastric distention and residues carried to the trachea. In addition, jet ventilation may be difficult or even impossible in obese patients or patients with decreased chest or lungs compliance. Although the use of aluminum tape coated tubes is accepted, the recommendation is to always use tracheal tubes especially designed for laser surgeries, such as Xomed laser Shield, Bivona Fome-Cuffed, Norton or Malinckrodt Laser Flex¹⁴⁻¹⁷. La-

ryngeal mask is a good alternative and has been shown to be effective in uvulopalatoplasties to treat snoring with laser, since it is easy to insert and remove and in some cases it is possible to use the laser without removing the mask from the larynx^{18,19}.

LASER AND ADVERSE EVENTS

Among laser-induced adverse events the most feared is airways fire. Tracheal tube burning inside airways is severe and potentially lethal, in addition to causing several difficult to treat sequelae.

In case of airways fire, the recommendations are:

1. Remove fire source, in this case, the laser;
2. Stop ventilation, disconnect ventilatory circuit and extubate patient;
3. Fight fire with abundant saline solution;
4. Ventilate patient under facial mask with 100% oxygen;
5. Perform rigid laryngoscopy and bronchoscopy to evaluate injury, remove burnt tracheal tube fragments and debride injured tissue if needed;
6. Reintubate patient and start mechanical ventilation;
7. Evaluate the degree of airways involvement and the need for tracheostomy;
8. If there are face and oropharynx burns, these should also be treated;
9. Perform control chest X-rays;
10. Steroids are controversial.

Adequate material and strict adherence to safety rules and recommendations are critical for the success of medical laser¹⁰.

Adverse events with laser described in the literature are mostly related to the non-adherence to safety rules. The development of adequate materials to be used with laser and the adequate training of professionals have increased its safety. So, the simple adherence to safety rules and laser manipulation by qualified professionals are the best method to prevent adverse events. Among other possible laser-induced adverse events - such as hemorrhages, gas embolism, cuff rupture - soft tissue edema is the latest postoperative event. So, patients submitted to airway surgeries with laser should remain in observation for a longer period, even if they early meet Aldrete-Kroulik criteria for PACU discharge. Acute respiratory failure after successful use of laser to treat subglottic tracheal stenosis four hours after surgery has already been reported²⁰. On the other hand, a retrospective study with patients submitted to laryngological surgeries has shown 1% incidence of adverse events in laser surgeries and from these, 0.75% were related to the use of laser and 0.25% were unrelated to it. For the medical team, the highest risk is eye burning. There is an international classification for continuous operation lasers related to eye burns (Chart I)²¹.

Chart I - International Classification for Continuous Operation Laser

Class I	Sources do not exceed MPE for eyes
Class II	Visible beams laser only; sources with more than 1 mW; eyes protected by 0.25 seconds blinking reflex
Class IIIa	Class II relaxation of 5 mW expanding the beam in a way that the eye is protected by the blinking reflex
Class IIIb	Sources up to 0.5 W; direct view is dangerous
Class IV	Sources above 0.5 W; direct view is extremely dangerous

The conclusion is that although laser-induced adverse events may be severe and even lethal, these events may be prevented by the simple adherence to safety rules and recommendations, which makes laser a useful and safe tool for several surgical specialties.

REFERÊNCIAS - REFERENCES

01. Ferreira MA, Nakashima ER - Anestesia em cirurgia otorrinolaringológica. Rev Bras Anesthesiol, 2000;50:167-177.
02. Fuller TA - The physics of surgical lasers. Lasers Surg Med, 1980;1:5-14.
03. Council on Scientific Affairs: Lasers in Medicine and Surgery. JAMA, 1986;256:900-907.
04. Joffe SN, Schröder T - Lasers in general surgery. Adv Surg, 1987;20:125-154.
05. Rampil IJ - Anesthetic considerations for laser surgery. Anesth Analg, 1992;74:424-435.
06. Mitchel BS - Anesthesia for Laser Surgery, em: The Difficult Airway II. Anesthesiology Clinics of North America, 1995;3:725-745.
07. Padfield A, Stamp JM - Anaesthesia for laser surgery. Eur J Anaesthesiol, 1992;9:353-366.
08. Bing J, McAuliffe MS, Lupton JR - Regional anesthesia with monitored anesthesia care for dermatologic laser surgery. Dermatologic Clinics, 2002;20:123-134.
09. Penna C, Fallani MG, Fambrini M et al - Cervical myomectomy by laser CO₂. Minerva Gynecologic, 2002;54:435-438.
10. Rodrigo AM, Moreno JLP, Jabaloyas JMM et al - The treatment of ureteral lithiasis with a pulsed dye laser. Actas Urol Españolas, 1999;23:28-34.
11. Liu HC, Ang SB, Chen FG - Anaesthesia for transmyocardial laser revascularization - initial experience with seven patients. Anaesth Intensive Care, 1998;26:654-657.
12. Wolf GI, Simpson JI - Flammability of endotracheal tubes in oxygen and nitrous oxide enriched atmosphere. Anesthesiology, 1987;67:236-239.
13. Leonard PF - The lower limits of flammability of halothane, enflurane and isoflurane. Anesth Analg, 1975;54:238-239.
14. Norton ML, Strong MS, Vaughan CW et al - Endotracheal intubation and Venturi (jet) Ventilation for laser microsurgery of the larynx. Ann Otol Rhinol Laryngol, 1976;85:656-663.
15. Williams SR, Van Hasselt CA, Aun CS et al - Tubeless anesthetic technique for optimal carbon dioxide laser surgery of the larynx. Am J Otolaryngol, 1993;14:271-274.
16. Patel KF, Hicks JN - Prevention of fire hazards associated with use of carbon dioxide lasers. Anesth Analg, 1981;60:885-888.
17. Padfield A, Stamp JM - Anaesthesia for laser surgery. Eur J Anaesthesiol, 1992;9:353-366.
18. Sher M, Brimacombe J, Laing D - Anaesthesia for laser pharyngoplasty - a comparison of the tracheal tube with the reinforced laryngeal mask airway. Anaesth Intensive Care, 1995;23:149-153.
19. Yamaguchi S, Miyamoto H, Matsumoto T et al - Anesthetic management of Nd-YAG laser surgery in the airway using a laryngeal mask. Japan J Anesthesiol, 1995;44:1685-1688.
20. Abdelmalak B, Ryckman JV, AlHaddad S et al - Respiratory arrest after successful Nd-YAG laser treatment of subglottic tracheal stenosis. Anesth Analg, 2002;95:485-486.
21. Moyle JTB, Davey A - Lasers, em: Crispian Ward - Equipamentos em Anestesia, 4ª Ed, Porto Alegre, Editora Artmed, 2000;449-452.

RESUMEN

Paiva Filho O, Braz JRC - Cirugía a Láser y Anestesia

JUSTIFICATIVA Y OBJETIVOS: Las cirugías con la utilización del láser presentan riesgos para el paciente y para el grupo médico. El objetivo de este artículo es mostrar nociones básicas sobre el láser y reglas para aumentar la seguridad de los procedimientos con su utilización.

CONTENIDO: El presente artículo contiene nociones de física aplicadas al láser, reglas de seguridad y la conducta en caso de ocurrencia de eventos adversos con la utilización del láser.

CONCLUSIONES: Concluimos que, cuando manipulado por profesionales entrenados, y respetadas las normas de seguridad, el láser es útil y seguro, tanto para el paciente cuanto para el equipo médico.