第 1 章

激光医学基础

第一节　　激光原理

激光对眼科的促进作用远大于任何其他医学专业，主要由于光线能进入眼球的绝大部分结构，而不引起损伤，因而在现代眼科学中，激光有着广泛而不同的治疗及诊断用途。

一、激光机制

激光原文称为 laser，laser 是受激发射引起光放大（light amplification by stimulation emission of radiation）的缩略语。激光一词由 Gordon Gourd 提出，爱因斯坦于 1917 年在理论上预测的受激发射是激光成为可能的基本物理过程。然而很多年来，一直认为基于受激发射的光源是不现实的。

20 世纪 50 年代，Charles Townes 第一个用受激发射产生微波（无线电波），并证明了用受激发射产生电磁辐射的可能性。这一事实肯定以后，有许多研究组开始寻找用受激发射产生较短波长的电磁辐射，如可见光，1960 年 Theordore Maiman 制作了第一台激光器——红宝石激光器。

根据量子力学，光具有粒子（光子）光波的二重性，每一光子有一个特征频率，其能量与频率成正比，因而，蓝光光子比红光光子能量大。

浅近地说，原子就像一个小型的太阳系，负电荷绕正电荷的核进行轨道运转。然而，在太阳系中每一个停留都在一个稳定的轨道中；在原子中，电子可以在不同轨道间跳跃，称为跃迁。不仅如此，太阳系中的停留在理论上可以有任何能量，但是电子轨道的能量是严格地限定于个别能级。

光子和原子之间的相互作用有 3 种基本方式，电子可以吸收一个路过的光子到一个

需要全本请访问 www.ertongbook.com

较高能级的轨道，然而吸收只能在光子能量恰好等于 2 个电子轨道之间的能量差，光子被低能量电子所吸收后，光子消失，产生一个较高能量的电子。

在自发发射过程中，一个高能态的电子自发地进入较低能态产生一个光子，产生的光子能量等于 2 个电子轨道的能量差。自发发射中，从一个高能量电子开始产生一个光子及低能量电子。

自发发射是一个随机过程，在任何时刻，高能状态电子会跌入低能态，发射一个光子。一般地说，在高能态的电子只能维持几纳秒（ ns）时间即产生发射；某些状态是暂时稳定的，称暂稳态，在这种状态中的电子平均可维持几毫秒（ms）时间然后产生发射。

在受激发射中，有一个光子经过高能电子附近，光子激励了这一电子，使之发放光子并跌入较低状态，该激励光子的能量必须为 2 个电子轨道之间的能差，因此受激发射开始时是一个光子及一个高能电子，后来分为 2 个光子及低能电子。

受激发射是随机过程。路过光子激励电子跌落并发射一个光子，最为重要的是，激励光子与发放出的光子的频率与相位完全相同。换言之， 2 个光子是相干的。图 1-1 说明了这 3 个过程，即吸收、自发发射及受激发射。

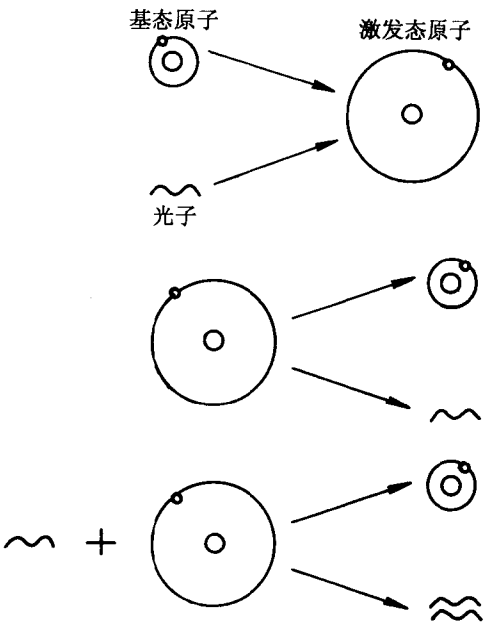


图 1-1 激光物理学

基态原子吸收光子后生成激发态原子（上）；激发态原子返回到基态原子时，释放一个光子（中）；一个光子与一个激发态原子相互作用可产生一个基态原子和两个光子(下)(摘自 Sigeman J. Retinal disease: pathogenesis, laser therapy and surgery. Boston: Little Brown, 1984)

产生光有许多方法，但受激发射是惟一产生相干光的方法；所有其他方法产生的是非相干光。然而，仅仅 1mW 的输出就需要至少 $10^{16}/s$ 次的受激发射，必须克服许多技术问题以使数以万亿计电子同时进入受激发射。理论上预测受激发射到现实可行的激光光源花了大半个世纪。

二、气体激光

临床眼科中最广泛应用的是气体激光，工作气体的原子如氩或氪被封在圆柱形管中称为激光腔。在任何高于绝对零度的温度，有些气体原子内含高能态电子，然而，在任何自然情况下，低能态电子数量总是超过较高能级轨道中电子的数量。结果是，某一高能电子产生自发发射，产生一个标准频率的光子引起受激发射，如果这个光子遇上了另一个高能电子，受激发射就产生，但是更为可能的是，光子先遇到低能电子而被吸收掉。

要维持大量受激发射，高能状态的电子数目必须多于低能态电子的数目，这一条件称为粒子数反转。要产生气体激光的粒子数反转，气体由腔外的强大光源或放电所泵浦，将电子泵入高能状态。

一旦达到了粒子数反转，这一状态还必须维持下去，仅仅电子上升到高能轨道是不够的，绝大部分高能态在几纳秒内由于自发发射而减少，产生的光是非相干性的，然而，当电子被泵入暂稳态时，粒子数反转状态可维持较长时间，大多数电子在高级暂稳态时，自发发射产生光子就可能产生受激发射而不被吸收掉，受激发射产生的 2 个相干光子就以连锁反应的方式继续产生更多的受激发射。

为了维持受激发射的连锁反应，在腔的两端放置反射镜。一面镜子是全反射，另一面是不完全反射，从腔中出去的绝大部分相干光被返回以产生更多的受激发射，从不完全反射镜中透过的比较少量的光即是激光光束，如此排列的反射镜称为共振（谐振）腔（图 1-2）.

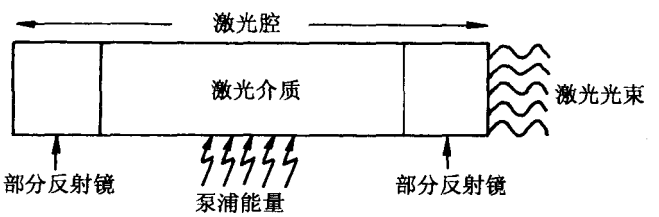


图 1-2 激光器基本结构

激光介质吸收泵浦源能量后产生粒子数反转及受激发射，这种连锁反应通过激光腔内的反射镜得以放大，所产生的电子由激光腔右侧以激光光束的形式发出（摘自 Sigeman J. Retinal disease: pathogenesis, laser therapy and surgery. Boston: Little Brown, 1984）

三、光的反射与光波长

激光器发光可以是连续的，也可以是脉冲的。脉冲激光产生少量能量，但能量集中在一个非常短促的时间内，因此每一个脉冲有很大的功率（功率是单位时间内的能量）。连续操作的可将较多能量送到靶组织，但需要相当长的时间，因此功率较低。连续激光器可以对输出到靶组织的能量较多地加以控制，可以用一个遮光器设置一个特定的曝光时间，也可以由手术医师直接控制照光时间，绝大部分的临床应用不需要高功率（＜1W），因此绝大部分临床激光器都是连续操作的，但 Nd：YAG 激光及准分子激光例外，它们是脉冲的。

激光器能产生的光波波长数目相当有限，所产生的波长决定于工作物质，例如，氪离子有一个暂稳态在电子下降到较低能量时，产生 647.1nm 的光（相当于红光），使用不同的状态，氪离子可以产生几个其他的波长，但是功率低。

氩离子产生 488nm 及 514.5nm 的波长，分别相当于蓝-绿及绿光，大部分市场上的氩激光器可让医师选择绿色或者蓝-绿的混合光。

有 2 种方法可增加可用波长的数目，在谐波发生中，将激光穿过一个光学非线性晶体，光穿过任何介质时，有少量的光被吸收，线性吸收的意义是指光强加倍时，被吸收的能量也加倍，在非线性介质中，强度加倍，吸收并不加倍，而可能增加，也许是 4 倍或更多。

激光使这种晶体不但在激光频率上振动，也在较高频率，正好是激光器整倍数上振动，这些较高频率称为谐波。现已经找到一个非线性晶体可有效地将 Nd：YAG 激光器的 1 064nm 输出倍频为 532nm 光。另一个方法是用有机染料产生更多的波长。由于有机染料的化学结构可提供很多能量相差不多的轨道，于是可提供很多不同的波长，染料激光可调谐到所要求的波长，因而临床医师可以选择操作所需的最佳波长，然而染料激光器的效率是最低的，并且价格昂贵，不易被临床所采纳。

第二节　激光生物效应

所用激光的波长以及功率不同，对靶组织产生的效应也不同（表 1-1）。

表 1-1　激光生物效应的类型

类　型	反　　应
光 化 学	吸收紫外线及可见光导致化学键的形成或破坏
热	吸收激光能量，使温度上升 10℃～20℃，致吸收的组织光凝（变性）
气　　化	吸收可见光或红外线能量后，当水温上升超过沸点，造成微爆炸
光学击穿	Q 开关 Nd：YAG 激光的红外线由于等离子体产生的冲击波造成物理性的瓦解组织

一、光化学效应

当组织吸收紫外线或可见光后，可引起化学键的形成或破坏发生光化学效应。吸收

的分子被转换成一个或多个分子，这些分子可能对细胞有毒性如目由基的形成。

正常生理性光化学反应包括光的合成作用及视紫质的漂白。利用有光敏作用的血卟啉衍生物产生光化学反应可治疗脉络膜新生血管。准分子激光，利用光化学能量通过直接打破组织分子键以达到切割组织的作用。

二、 热 效 应

热效应最常见于视网膜光凝，当可见光或红外线被组织色素吸收后发生。激光能量的吸收，造成吸收的组织温度升高 10～20℃，产生光凝或变性。眼底温度的升高则具有高度局限性，只限于烧灼中心 1mm 范围内。光凝的强度与温度升高的量和时间直接相关。蛋白质变性在临床上看到是组织变白。眼底有几种色素可吸收激光能量。叶黄素，吸收蓝光最多，叶黄素位于视网膜内、外丛状层，尤其是黄斑部为多，此外还存在于晶状体核中。血红蛋白，吸收蓝、绿及黄波长，黄波长吸收最多。黑色素，吸收绝大部分可见波长，黑色素是位于视网膜色素上皮的黑色素颗粒及脉络膜内的黑色素细胞。在眼后节光凝造成热损伤，是由于视网膜色素上皮及脉络膜的黑色素吸收激光能量所致。光凝后使温度上升传递到周围组织（光感受器及脉络膜）(表 1-2)。

表 1-2 眼底色素对激光的吸收

波 长	黄色素	血红蛋白	黑色素
氩蓝-绿(488nm)	++++	−−+	+++
氩绿(514nm)	−	+++	+++−
Nd：YAG 绿(532nm)	−	++++	−+++
染料黄，氪黄(577nm)	−	−+++	−+++−
染料红，氪红(630nm，647nm)	−	+	+++
半导体(810nm)	−	−	++

三、 气 化

气化可由可见或红外激光所造成。当温度上升高于沸点，气化可引起微爆炸，如用 CO_2 激光或过强的氩激光后可产生气化。

四、光学击穿

光学击穿发生于红外线的 Q 开关 Nd：YAG 激光，极高的功率密度造成等离子体形成，该处电子从原子及分子电离。这种导致的冲击波造成物理性的瓦解组织，组织的瓦解并不依赖于组织的色素。用 Q 开关 Nd：YAG 激光造成的光学击穿，通常用于作周边虹膜切除术或晶状体后囊膜切开术和人工晶体前纤维蛋白膜切除术。

（秦家楠　王康孙）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

参 考 文 献

1 Yanoff M, Duker JS. Ophthalmology: principles of laser. London: Mosby, 1999; (2) ; 5. 1—5. 6

2 Halliday D. Resnick R, Walker J. Fundamentals of physics. 5th ed. New York: Wiley, 1997: 1042—1044

3 Lopson SG, Lipson H, Tannhauser DS. Optical physics. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 423—425

4 Bloom SM, Brucker AJ. Laser surgery of the posterior segment: laser tissue effects. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997: 6

第 2 章

眼后节的激光应用

第一节　近代临床应用的激光光凝固器类型

理想的波长是仅被靶组织吸收，而不被眼球中间质吸收或散射。

一、历史回顾

1946年 Meyer-Schwickerath 利用日光造成视网膜灼伤，后又产生高强度炭弧灯作为人工光源，但寿命太短，无法应用。

1958年氙弧光出现，其光波与日光相似，灯寿命长，具有相当高且均匀的功率输出。

1960年 Maiman 创造了红宝石激光，波长为 694nm ，能较好透过眼球中间质，较精确聚焦于视网膜进行光凝，但脉宽极短，且循环时间较长，至少需 1s。为红色波长，封闭异常视网膜血管极困难。

20 世纪 60 年代后期，氩激光问世，氩激光的波长为 488nm 和 514nm 的蓝绿光，被黑色素与血红蛋白大量吸收，可直接封闭视网膜异常血管与视网膜前新生血管。其缺点是：通过混浊中间质其穿透力差，光凝黄斑部由于叶黄素吸收，易造成内层视网膜损伤。氩绿光对黄斑光凝安全，由于叶黄素几乎不吸收。

80年代早期，氪红激光问世，由于红光能穿透较混浊的白内障及出血的玻璃体和视网膜，而黄斑叶黄素不吸收。

80 年代中期，染料激光问世，其波长于 560～640nm 可调谐。黄(577nm)，红(630～640nm)。黄及红波长为临床大多所用，染料黄光对封闭血管病损是理想的波长，染料红光的优点与氪红激光相同。

80 年代后期，半导体激光产生，其优点是结构紧凑、轻便、空气冷却，不需水冷却，波

长 805～810nm，对封闭异常的血管病损不理想，初步研究显示对治疗视网膜血管病变及脉络膜病变还是有效的。

90 年代早期，固体倍频 Nd：YAG 激光出现，波长 532nm 的吸收特点与染料黄光非常接近。

二、氩 激 光

（一）氩蓝-绿（488nm，514nm）

氩蓝-绿激光为 70%蓝光（488nm）和 30% 绿光（514nm）所组成，氩蓝-绿被叶黄素、血红蛋白和黑色素所吸收。由于在眼内散射强，以致不能在视网膜上精确聚焦，为此要增加功率，例如平均年龄 50 岁以上的人大多有白内障改变，要形成氩绿在视网膜相等的灼伤，氩蓝-绿需用 3 倍功率。由于眼内散射强，可造成邻近视网膜损伤。此外，由于叶黄素的吸收，使黄斑内层视网膜损伤，可引起神经纤维层损伤，视网膜前膜形成，甚至引起黄斑囊肿或裂孔。因此氩蓝-绿禁忌用于黄斑光凝。

（二）氩绿（514nm）

氩绿被黑色素及血红蛋白吸收很多，而叶黄素则几乎不吸收，因此它是近来视网膜光凝最普遍应用的波长。

三、倍频 Nd：YAG 激光

倍频 Nd：YAG 激光（532nm）可连续输出或脉冲输出。脉冲单元产生快速程序低峰值功率的脉冲，以致产生的热凝固效应与连续波的氩绿激光相似。它的眼底吸收特征与临床应用与染料黄相似，然而倍频 Nd：YAG 激光的光激射介质是固体，因此比以染料为基础的器械更为可靠。

四、染 料 激 光

染料激光可调谐波长范围为 560～640nm。

（一）黄色光谱（560～580nm）

黄波长能被血红蛋白及黑色素吸收很多。黄色光谱由于光散射小，叶黄素几乎不吸收，故对黄斑光凝是安全的；由于在血红蛋白吸收非常好，因此对破坏异常的视网膜、脉络膜血管是一个理想的波长；也可在色泽苍白的眼底进行全视网膜光凝。所以，要通过玻璃体出血、视网膜前出血，或上面有视网膜下出血的脉络膜新生血管进行光凝是无效的，因为血可将激光能量几乎全部吸收，引起不必要的视网膜损伤。氪黄激光与其作用相似。

（二）橙色光谱（580～610nm）

橙色激光可通过玻璃体出血作全网膜光凝，因为它可穿过血液，且引起疼痛比红光轻，但橙光不能用于治疗邻近中心凹的脉络膜新生血管，因为它可造成强的灼伤，使视网膜内层损伤。

（三）红色光谱（610～640nm）

其应用与作用与氪红激光相似。

五、氪红激光

氪红激光(647nm)，氪红只被黑色素很好吸收，导致较深的外层视网膜及脉络膜灼伤，因此激光的光凝斑不易看到，因为它们发生在视网膜色素上皮和脉络膜。其在眼内散射小，氪红激光可穿透混浊中间质及水肿视网膜。由于被血红蛋白吸收很少，可有效地通过出血的玻璃体和视网膜进行治疗。对黄斑部治疗它是非常好的波长，如治疗邻近中心凹的脉络膜新生血管或脉络膜新生血管上有薄的视网膜下出血，因为血红蛋白及叶黄素吸收很小。然而氪红激光不能穿透中等厚度的出血（100～500μm)。氪红激光的缺点是血红蛋白对其吸收很少，治疗血管异常无效；因为缺乏黑色素对其吸收，治疗苍白眼底亦无效。该波长由于穿透到比较深部的脉络膜，使疼痛的发生率增加。

六、半导体二极管激光

半导体二极管激光(805～810nm)是近红外，价格相当便宜，体积小，结构紧凑，携带方便，空气冷却。它只被黑色素吸收，导致深部外层视网膜及脉络膜灼伤，与氪红激光相似。

半导体激光由于眼内散射小，对混浊的中间质及水肿的视网膜有好的穿透力，因为是近红外不可见光束，治疗时病人不会感到闪光，比较舒服，然而治疗周边部常引起疼痛，由于穿透到较深的脉络膜，半导体激光穿透视网膜下出血的能力较氪红稍高，虽然不能直接被血红蛋白吸收，但治疗视网膜血管病变及脉络膜新生血管仍为有效。

吲哚菁绿(indocyanine green，ICG）染料有一峰值吸收光谱，类同于半导体激光输出。ICG可起到发色团的作用，可增强半导体激光的吸收。

半导体激光可经巩膜光凝视网膜。用半导体激光经巩膜光凝视网膜是近年来新发展的一种安全而有效的封闭视网膜裂孔的方法。

半导体激光经巩膜光凝的优点：

(1)体积小，重量轻，携带方便。

(2)可以获得满意的视网膜脉络膜粘连而对巩膜无明显损伤。

(3)不产生色素上皮细胞游离，对血-视网膜屏障的破坏明显小于冷冻术。

(4)可以穿透眼外肌、巩膜表面及巩膜层间的加压物达到光凝效果。

(5)光凝斑不立即消失，可防止重复曝光。

(6)参数易调控。

缺点：

(1)光斑直径比冷冻斑小，治疗视网膜裂孔要多次曝光，花费时间长。

(2)视网膜下液多的球形脱离，不易看到光凝斑。

电凝术因对巩膜组织损伤大已被冷冻术取代。冷冻是公认的有效而较为安全的方法，但对血-视网膜屏障破坏大而有促使增殖性玻璃体视网膜病变（proliferative vitreoretinopathy，PVR)发展的危险，且不能通过巩膜外加压物(硅胶、硅海绵)施行，经瞳孔光凝如屈光间质不清，视网膜明显脱离的裂孔则无法进行。半导体激光经巩膜光凝，能量的

6%被巩膜吸收，35%透巩膜，30%被眼底的黑色素吸收，其中色素上皮层吸收约 8%，脉络膜吸收 20%，局部组织产生光热作用，红细胞不吸收能量。

第二节　光凝程序

一、术前谈话

术前与病人谈话是非常重要的，使病人了解自己眼病的情况，激光治疗的目的，激光治疗的效果及可能产生的并发症，激光治疗过程中病人会产生什么感觉，如何与医师配合，激光治疗后还需配合哪些其他治疗，病人应注意些什么，以及随访的重要性。病人了解了治疗就会采取积极态度配合，从而保证激光的疗效。

二、麻　醉

通常治疗眼底病经充分扩瞳后，只需滴 1%丁卡因表面麻醉，然后放置接触镜在裂隙灯下进行光凝，通常用氩绿、Nd：YAG 绿、氪黄激光照射，病人仅有一闪闪的光感，有时照射在周边部 3 点及 9 点睫状神经分布的部位，有的病人有针尖样刺痛感，但完全能忍受。至于氪红、半导体激光，由于波长较长，穿透深，可以刺激脉络膜睫状神经感觉支而产生疼痛，绝大部分病人还是能忍受，有个别人因不能耐受而跳起来拒绝继续治疗。在这种情况下，如有条件改用氩绿或 Nd：YAG绿激光治疗。如仅有半导体激光，则应考虑术前作球后麻醉。

三、光凝器传递系统

(一)裂隙灯传递系统

1. 接触镜　用于眼后节光凝有多种接触镜，选择接触镜要考虑多种因素，包括治疗的部位，病眼的解剖情况，治疗时医师需要看到的范围，要求像放大多少，与病人角膜间的工作距离以及医师的使用习惯。

(1)全效用眼底接触镜 Goldmann 三面接触镜是一种可治疗从黄斑到视网膜周边部的全效用接触镜。它的中央区可提供后极部虚的直像，其他三面镜分别为 59°，67°及 75°。由于角度不同，可看到从锯齿缘到后极部的视网膜。

(2)黄斑光凝接触镜 有 Volk 超黄斑(Super Macular) 2.0，Mainster 高放大(high magnification)，Volk 中央区(area centralis)及 Mainster标准镜。这些接触镜可供看到眼底真实的倒像，对黄斑的检查与治疗非常有用，比 Goldmann 镜看到的视野宽，比全视网膜镜放大的倍数高。

(3)周边光凝的接触镜 有 Rodenstock 全视网膜镜，Volk Trans Equator，Mainster Wild Field 等，这些接触镜提供宽角度，眼底像缩小而倒置。可用于全视网膜光凝，对于小瞳孔或通过眼内气体光凝特别有帮助。

2. 非接触镜　对周边光凝亦可通过 60D，78D或 90D的透镜传递。这些透镜使光斑

分别放大 0.92,1.15 及 1.39。对于有复发性角膜上皮脱落，手术后角膜有创面或眼睑缝合术后的病人可用这种技术检查或治疗。然而其不足之处是治疗赤道前部病变常有困难，因眼球不能固定，不能正确定位进行光凝，且有增加对角膜损伤的危险或灼伤晶体，眼睑亦可能发生灼伤。

(二)间接检眼镜传递系统

激光间接检眼镜于 1981 年由 Mizuno 提倡，用于全视网膜光凝。激光间接检眼镜可用于有局限性晶体混浊或眼内有气体或不能坐于裂隙灯前的病人。用它治疗周边部视网膜较通过三面镜容易。

(三)眼内光凝

眼内光凝最常用于玻璃体手术时，作散射光凝，或光凝裂孔或视网膜切开周围。

第三节　　光凝固的应用

一、观 察 者

观察者在激光治疗时距接触镜 1m 内必须戴保护性激光眼镜，以减少对视网膜损伤的危险。对治疗医师来说，激光器内有滤光片可遮蔽激光反射，极少报道有关快门的机械装置发生故障，但一旦发生，激光医师必须警惕反射出来的激光强度显著高于正常情况的强度。

二、摄影及荧光

激光治疗前荧光血管造影有助于光凝治疗，可对渗漏、无灌注区和新生血管定位，并决定激光治疗方案。

荧光素钠的吸收峰发生在 490nm 左右。氩激光（特别是氩蓝-绿）不能在荧光造影后立即进行光凝，并且有难度，因为病变的视网膜血管渗漏荧光到周围视网膜及上面的玻璃体内，荧光染料可摄取激光能量，并增加眼内散射。因此，这时要想在视网膜上得到合适的光凝斑必须加大功率，可引起不必要的视网膜损伤，玻璃体内荧光又可使医师眼睛接受到的激光反射能量增加。如果采用激光间接检眼镜，并且不用氩蓝-绿可以改善这种情况。

三、激光设置

(一)裂隙灯设置

1.放大　对于比较周边部的治疗，如作全视网膜光凝，裂隙灯用低倍放大。对黄斑部光凝则需用高的放大倍数。

2. 无赤光滤片　　要了解视网膜微血管详细情况，包括正常的邻近中心凹的毛细血管及微血管瘤，用生物显微镜检查很难看到，这时由于红的视网膜血管掺杂在橘红色的视网膜色素上皮和脉络膜的背景上，反差不明显。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

裂隙灯无赤光滤片可增加医师对所有荧光造影有渗漏微血管瘤的定位能力，以便作局灶性光凝。也有助于对脉络膜新生血管的定位，可以较好地与上面的视网膜血管及出血区分出界限。此外，还可增强对红色瞄准光的能见度。

（二）波长的选择

1. 一般介绍　波长的选择主要根据靶组织的吸收性质、光凝灼伤的程度取决于其激光的强度，强的灼伤将使视网膜损伤的厚度增加，而与波长无关，眼球中间质也影响到波长的选择。一般说，较长的波长如染料红、氪红及半导体激光能比较好地穿透白内障及玻璃体出血，在治疗有水肿的视网膜，由于它们在视网膜内散射亦少，因此用较低的功率密度即可。

2. 视网膜血管病损　用氩绿，Nd：YAG 绿或染料黄、氪黄凝固视网膜异常血管效果最好。

3. 脉络膜新生血管　治疗脉络膜新生血管选择合适的部位、合适的光凝强度可能比波长更为重要。然而，在一定的临床情况下，于特定的部位用特定的波长可能更为有利。

治疗中心凹邻近的脉络膜新生血管、氩蓝-绿激光是禁忌证，因为它可被视网膜内层叶黄素吸收。氩绿、Nd：YAG 绿、染料黄、染料红、氪黄、氪红及半导体的波长，叶黄素吸收很少，眼内散射亦少，故适合治疗中心凹邻近的病损，氩绿、Nd：YAG 绿及染料黄、氪黄对治疗红的（视网膜色素上皮前）脉络膜新生血管膜比红光及半导体波长更有用，因为它们能被血红素较多地吸收。

但治疗在萎缩的视网膜色素上皮区域内的脉络膜新生血管，绿及黄波长直接被膜吸收，因此比红及半导体波长更有用，黄、红及半导体波长对于脉络膜新生血管上面有混浊的视网膜下积液者治疗更有用，因光散射少。

4. 散射光凝（全视网膜光凝）虽然任何波长都可用，但氩绿是用得最普遍。假使有白内障、玻璃体出血或视网膜出血，红及半导体波长是可取的。

（三）光斑大小

光斑大小的选择取决于治疗部位，是黄斑区还是周边部。一般掌握好烧灼强度（burning intensity），烧灼斑大小是不会有变化的。

对黄斑部光凝一般视网膜光斑大小为 50～200μm，对周边部视网膜光斑大小掌握在 200～500μm。

波长比较短的激光在眼内散射大，因此在视网膜上所产生的光凝斑因聚焦差而比较大。在角膜上 500μm 氩蓝-绿激光在视网膜上产生的光凝斑比 500μm 的氪红激光为大。

（四）功率及曝光时间

功率及曝光时间是根据所想得到的烧灼强度而设置的。

（五）瞄准光强度

瞄准光强度应设置在能看到的最低水平，强的氩蓝-绿瞄准光可使做了几小时全视网膜光凝的医师降低蓝色的对比敏感度，是由于氩蓝绿瞄准光从接触镜表面反射出来进入治疗医师的眼内，近来氩激光的瞄准光已改为红光。

四、烧灼强度、功率设置、曝光时间与视网膜光凝斑大小的相互关系

过强的视网膜烧灼可引起很多由激光所造成的并发症。因此灼伤的强度应从低功率开始，逐渐增加直至达到所要求的强度。治疗黄斑部病变要想得到适当的烧灼强度，可先在黄斑外区试验。

表 2-1 脉络膜视网膜烧灼强度分级

分级	视网膜反应
淡	刚能看到视网膜变白
轻度	微白色视网膜光凝
中度	混浊、污白色视网膜光凝
重度	浓白色视网膜光凝

脉络膜视网膜烧灼强度分级见表 2-1。

在光凝过程中由于外层视网膜蛋白变性造成视网膜灼伤或混浊。但激光能量不能穿透深至视网膜变白部位，要想治疗一个病损深于外层视网膜烧灼部位，结果可引起不必要的内层视网膜损伤。

所需的烧灼强度要根据所要治疗的病种而定，淡的烧灼强度用于特发性中心性浆液性脉络膜视网膜病变或黄斑部格子状光凝。轻度烧灼用于黄斑裂孔。中度烧灼用于散射光凝，血管异常及周边部视网膜裂孔。重度烧灼用于需要破坏组织如消灭脉络膜新生血管或脉络膜恶性黑色素瘤。要想用半导体激光造成像氩激光那样比较强的视网膜烧灼需要用明显高得多的能量设置，但是这是太过量了。即使治疗脉络膜新生血管膜用半导体激光，只要求产生带灰色的外层视网膜变色，这与氩激光光凝所得到的粉笔白完全不同。因为半导体激光波长为 810nm，穿透深，只被黑色素吸收，激光照射视网膜出现光凝反应较可见光为慢，且呈灰黑色。由于手术者的调节，接触镜的散光以及观察系统的聚焦深度可使视网膜上的功率密度有很大的变化。如果希望在病损的功率密度为 $30W/cm^2$ 可变化的范围为 $15\sim60W/cm^2$。此外，在视网膜上造成的烧灼强度亦可因眼底的色素多少、视网膜水肿及视网膜下液的程度使局部变化很大。因此在治疗少色素区域前，先治疗色素最浓的部位，然后再增加功率。同样，应先对视网膜厚度较薄，视网膜下积液少的部位进行光凝。

烧灼强度决定于功率密度，功率密度与曝光时间和功率大小成正比，与视网膜光斑大小成反比。

$$\text{烧灼强度} \propto \frac{(\text{烧灼持续时间})(\text{功率设置})}{\text{光斑大小}}$$

将瞄准光精确聚焦在所要治疗的部位是非常重要的，借以保持每个烧灼点的大小及强度均等，要得到一个边界清楚，集中的烧灼点，需用较短的曝光时间、较小的光斑直径。要得到比较强的烧灼点，延长曝光时间而不是增加功率，可避免 Bruch 膜破裂、脉络膜出血及医源性脉络膜新生血管形成，这对较长的红及半导体波长特别关键，要造成比较强的视网膜烧灼点用较长的曝光时间，较低功率的烧灼点是最安全的方法，烧灼点大小定量对半导体激光特别困难，因其在激光应用后几秒内烧灼点持续性扩散。

当改变视网膜光斑大小，要保持等值烧灼强度，当 2 倍（或减半）的光斑直径，功率需

加倍（或减半）。虽然理论上认为 2 倍光斑大小，功率必须增加 4 倍才能保持恒定的功率密度及烧灼强度。而实际上不这么做，为什么？因为这差异是由于热散射，激光束所产生的热，其热量是从光斑中央扩散出去。小的烧灼点散热出去快，冷却亦快。大的烧灼点由于邻近组织亦是热的，故中央保持热量时间比较长。因此，如需要单位面积较低的能量（功率密度）用较大的光斑，可以得到相同的温度上升。

治疗周边部视网膜，由于许多接触镜所造成散光，以致给予任何大小的光斑，在视网膜上的烧灼点总是变得比较小，因此治疗周边部视网膜要想得到等同大小视网膜烧灼点，常需要增加光斑大小。

五、通过眼内气体光凝

要想直接通过液-气界面或有多量‘鱼子’样气泡的玻璃体看到眼底是有困难的。这界面也可起到镜子的作用，反射了激光束，结果使激光烧灼在不想要照射的部位，这个问题可通过改变病人的体位来避免。这样，气泡可以完全在或完全跑出视野，假使治疗必须通过气泡的弯液面，则激光束的入射角必须很小，尽可能与气液界面相互垂直。

六、激光间接检眼镜光凝

要长时间对周边视网膜用激光间接检眼镜光凝，为控制疼痛必须要多用些局麻，虽然球后麻醉可制止病人不适，但光凝时常需要病人眼球活动，而球后麻醉后眼球活动能力大为减少。如果必须要球后阻滞，可用棉签机械地活动眼球使周边视网膜能较好地看到。要保持眼球能较好地活动，可用结膜下麻醉，常可解除病人的疼痛。

要想增加烧灼强度在增加输出功率前先增加曝光时间，这非常重要，绝对不能通过减少视网膜光斑大小企图增加烧灼强度。这样做的结果可引起过强的视网膜灼伤，激光间接检眼镜光凝的曝光时间，一般至少 0.2s。

对于黄斑部病损，禁忌用激光间接检眼镜光凝，因为光束不能精确定位，易造成误伤。

第四节　　眼后节光凝的作用机制

视网膜裂孔及视网膜脱离

光凝或冷凝可造成视网膜脉络膜粘连，裂孔周围瘢痕形成，封闭了从玻璃体腔通向视网膜下间隙的通道，由此可预防视网膜脱离。虽然在激光光凝最初 24h 无论在体外或在体内表现为视网膜神经感光层与视网膜色素上皮层之间的粘力增加，但一定要于术后数周激光瘢痕才能达到其充分的力量。激光光凝所引起的血一视网膜屏障损伤轻于冷冻治疗，因此其所带来的增殖性玻璃体视网膜病变从理论上讲危险性较低。

激光光凝还可置于邻近视网膜裂孔浅脱离的视网膜上，产生白色的视网膜灼伤，随之视网膜下液可被吸收。这种现象可能的理论是：①视网膜色素上皮泵的刺激；②视网膜色素上皮与视网膜之间的纤维蛋白反应，可暂时性填塞裂孔。

二、黄斑水肿

直接封闭渗漏的异常血管，如微血管瘤，是由于激光造成血管内栓塞或者热引起血管壁收缩。

对于格子状光凝的机制：①光感受器破坏使内层视网膜的含氧量增加，致使血管收缩，视网膜血流减少并减少血管渗漏;②视网膜色素上皮损伤引起视网膜毛细血管及小静脉内皮增殖，这可能有助于修复内层血-视网膜屏障；③无功能的视网膜色素上皮细胞通过光凝清创，可能促进增强外层的血-视网膜屏障，选择性的热损伤视网膜色素上皮，可以增强外层血-视网膜屏障，有利于液体从视网膜流向脉络膜。

总之，格子状光凝通过减少渗漏视网膜血管的总表面积，以减少视网膜渗漏量。

三、对新生血管的散射光凝（全视网膜光凝）

视网膜新生血管的形成是非常复杂的，关系到许多因子的平衡问题。

光凝缺血的视网膜可以改变细胞外调节因子（extracellular modulating factors），以控制眼内新生血管形成，促使视网膜新生血管消退。此外，耗氧的光感受器及视网膜色素上皮的破坏可改善视网膜内层的氧合作用，减少刺激新生血管生长因子的产生。

四、脉络膜新生血管

热的激光能量可以直接为脉络膜新生血管膜及周围的黑色素所吸收，新生血管膜的闭塞是由于激光造成血管内栓塞以及热致使血管壁收缩，中心凹外营养血管的凝固及闭塞也可以抑制或消灭脉络膜新生血管。

增殖的视网膜色素上皮常围绕着光凝的脉络膜新生血管膜周围，它对膜的退化发挥作用。组织病理学研究发现曾在临床表现为开放的脉络膜新生血管经光凝变为摧毁病灶，视网膜色素上皮围绕脉络膜新生血管的生长可以改变视网膜下新生血管的生长与渗漏。

五、特发性中心性浆液性脉络膜视网膜病变

为什么激光光凝能加速浆液性视网膜脱离的消退还不十分清楚。一般认为光凝直接照射在荧光渗漏部位，即病变的视网膜色素上皮破碎处，于是邻近健康的色素上皮细胞就增殖,封闭缺损,外层血-视网膜屏障重新建立。其他可能的机制包括高渗透性的脉络膜毛细血管局灶性闭塞，改变了脉络膜与视网膜之间液体与分子的运输，由于光凝造成的凝固，塞住了视网膜色素上皮渗漏部位。

六、视网膜血管异常

视网膜血管瘤直接吸收了激光能量，由于热使邻近血管壁收缩及血管内栓塞，致使血管瘤萎缩。

（王康孙）

参 考 文 献

1 Bloom SM, Brucker AJ. Laser surgery of the posterior segment: principles of photocoagulation. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997: 6—27

2 Pournaras CJ. Retinal oxygen distribution: its role in the physiopathology of vasoproliferative microangiopathies. Retina, 1995; 15: 332—347

3 Peyman GA. Choroidal hyperpermeability in central serous choroidopathy: a new concept? Arch Ophthalmol, 1995; 113: 701—702

4 Arrindell EI, Wu JC, Wolf MD, *et al*. High-resolution magnetic resonance imaging evaluation of blood-retinal barrier integrity following transscleral diode laser treatment. Arch Ophthalmol, 1995; 113: 96—102

5 Arden GB, Hall MJ. Does occupational exposure to argon laser radiation decrease color contrast sensitivity in UK ophthalmologists? Eye, 1995; 9: 686—696

6 Koenekoop RK. Gomolin JES. The management of age-related macular degeneration: patterns of referral and compliance in seeking low-vision aids. Can J Ophthalmol, 1995; 30: 208—210

7 McHugh DA. Schwartz S, Dowler JG, *et al*. Diode laser retinal photocoagulation: a clinical study. Br J Ophthalmol, 1995; 79: 1083—1087

8 Nanda SK. Han DP. Experimental transconjunctival diode laser retinal photocoagulation through silicone scleral exoplants. Arch Ophthalmol, 1995; 113: 926—931

9 Sasoh M, Smiddy WE. Diode laser endophotocoagulation. Retina, 1995; 15: 388—393

10 Friberg TR. Novak KD. Rehkopf PG, Bower KS. Recent fluorescein angiography increases the risk of harmful light exposure during retinal laser photocoagulation. Lasers Light Ophthalmol, 1995; 7: 31—35

第 3 章

眼后节的光凝治疗

第一节　视网膜裂孔、变性及脱离

一、视网膜裂孔、变性

预防性光凝视网膜裂孔的目的是封闭裂孔周围的视网膜，形成脉络膜视网膜瘢痕。由此，可预防液化的玻璃体通过视网膜裂孔进入视网膜下间隙，形成视网膜脱离。

光凝与冷冻治疗视网膜裂孔的疗效可能是相同的。然而光凝能较迅速地形成脉络膜视网膜粘连，对血-视网膜屏障的破坏较轻，治疗简便，不需切开球结膜，这些方面胜于冷冻治疗。而对于裂孔伴有眼球中间质浑浊者则激光治疗受到限制，需用冷冻治疗。

（一）发生视网膜裂孔和视网膜脱离的危险因素

1. 发生视网膜裂孔的危险因素

(1)病史：有眼部外伤史；视网膜裂孔或脱离史或家族史；白内障手术史，尤其是无晶体眼或经后囊膜切开术。

(2)检查：有高度近视眼；玻璃体视网膜有异常倾向，如格子样变性；急性玻璃体后脱离：急性玻璃体后脱离并出现玻璃体色素，玻璃体出血或视网膜出血。

有视网膜脱离病史及家族史者，约 1/5～1/3 病人另一眼发生视网膜裂孔将发生视网膜脱离,约 10％ 的病人发生双侧视网膜脱离。

2. 视网膜裂孔发展为孔源性视网膜脱离的危险因素

(1)病史：有视网膜脱离病史或家族史；白内障手术史，尤其是无晶体眼或后囊膜切开术后出现闪光或漂浮的急性症状。

(2)检查：有高度近视；急性马蹄形视网膜裂孔；伴有局限性视网膜脱离。

需要全本请访问 www.ertongbook.com