

激光在眼科治疗上的应用(上)

上海市激光技术试验站激光眼科应用研究组

在毛主席革命路线的指引下，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，近几年来，我国激光在眼科治疗上的应用发展很快。各地都出现了工人、技术人员、干部三结合和研究、生产、使用三结合搞激光的生动局面，使激光在眼科上的应用不断扩大和提高，取得了可喜的成果。过去有许多眼科疾病只能用开刀来解决，手术麻烦，病人痛苦。而现在用激光治疗，操作简便，治疗迅速，病人无痛苦，疗效又好。例如，上海市第六人民医院眼科已用红宝石激光治疗了九百多位病人。上海第二医学院附属瑞金医院眼科用氩激光治疗了三百多个病人，其他许多医院也用激光治疗了不少眼科病人。本文准备根据国内的实际情况，对激光在眼科治疗上应用的有关问题作些介绍和讨论。

激光治疗眼病的基本原理及特点

目前激光已经治疗了二十多种眼病，主要有四方面：1. 视网膜凝固；2. 虹膜切除；3. 闭塞血管；4. 松解眼内血块。

激光对生物体的作用有光化学作用、热作用、机械作用(包括冲击波)、电磁作用。目前在激光治疗眼病中主要是利用热作用和机械作用。

激光视网膜凝固的基本原理是：激光通过眼球透明屈光间质(角膜、房水、晶状体、玻璃体)到达视网膜上，被视网膜色素上皮和脉络膜色素吸收而转化为热，引起组织反应，造成蛋白凝固，继而发生机化、结疤等变化，从而使网膜与脉络膜牢固地粘连起来。通俗地说，就象是在“点焊”，把即将脱离的网膜色素上皮与邻近组织“焊接”起来，把已经出现的裂孔封闭起来。

用激光进行虹膜切除的基本原理是：聚焦的脉冲激光被虹膜色素吸收，在热和冲击波的同时作用下，该处局部虹膜组织瞬时汽化，形成穿孔。以此代替过去开刀的办法把一小块虹膜切除掉。

激光闭塞血管的基本原理是：由于蓝绿色的激光不但能被视网膜和脉络膜色素很好地吸收，还能被血红蛋白很好地吸收，吸收率约为75%，因此可以在血管中产生凝块以阻止血液流通，加上对血管壁本身的作用，可以使血管变细，以至中断(永久性阻塞)，从而使血管瘤或异常血管逐渐缩小以至消除。

激光松解眼内血块的基本原理是：激光照射在玻璃体内的积血块上，可引起红血球细胞膜破裂，使血色素释入血浆，易于被吞噬细胞所吸收。血块受激光照射后产生气泡以及激光电磁波振荡，使蛋白分解酶渗透到血块内，增加其作用的有效表面，这些都是血块松解的主要原理。

用激光进行治疗的最大特点就是大大减轻病人的痛苦，故又被称为“无痛手术”，不需麻醉，不用开刀，操作简便，疗效良好。这些是与激光本身的许多可贵特点分不开的：

1. 由于激光能量集中，脉冲作用时间极短，一般仅几毫秒，调Q为微秒级，治疗所需时间短。且因激光照射之迅速使病人来不及眨眼或转动眼球，故在治疗过程中可允许病人正常眨眼，以维持角膜湿润，这对于避免角膜干燥而影响视力是有好处的。

2. 由于激光单色性好，在治疗时可根据需要选择适当波长的激光器，便能既达到治疗的效果，又不损害眼内其他组织。而用氩弧光凝法则由于光谱不纯而易引起眼内屈光间质的损伤。

3. 激光方向性好，在视网膜上可聚焦成很小的光斑（0.2毫米以下），因而适宜于近黄斑区的治疗。而电凝或氩弧光凝均造成较大面积的视网膜灼伤。所以，用激光治疗对保护视功能是有好处的。

4. 激光治疗副作用小，可重复治疗，且无手术感染的危险。当患者的健康状况不允许作手术治疗时，激光治疗也能安全地进行。

5. 激光器操作简便，门诊、住院均可使用。

此外，激光治疗还可以对用手术或其他方法无法解决的某些眼病取得较好的效果，如去除残留于晶状体前表面的色素组织，作一特定位置的光学虹膜切除等。

眼科临床应用对激光器的要求

从眼科治疗来说，对激光器有以下一些要求：

1. 要有合适的波长。即要求激光起作用的部位对这一波长的吸收率高，而对激光通过的其他部位则要求透过率高。例如，要进行视网膜凝固，则要求选用的激光波长对视网膜的色素吸收率高，而对眼内屈光间质（角膜、房水、晶状体、玻璃体）透过率高。若要进行虹膜切除，则需选用对虹膜色素吸收率高，而对角膜、房水透过率高的激光。又如，要进行血管阻塞，就需选用对血红蛋白吸收率高，而其他部位透过率高的激光。

各种波长对眼内中间质的透过率曲线如图1所示。网膜色素上皮和脉络膜的光谱吸收率曲线如图2所示。

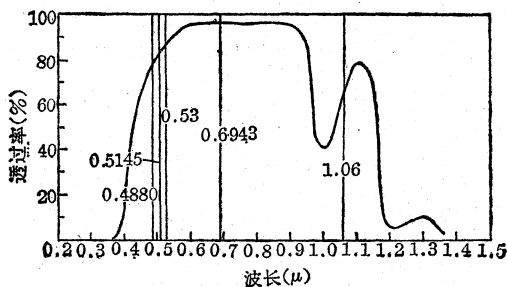


图1 眼内中间质的光谱透过率曲线

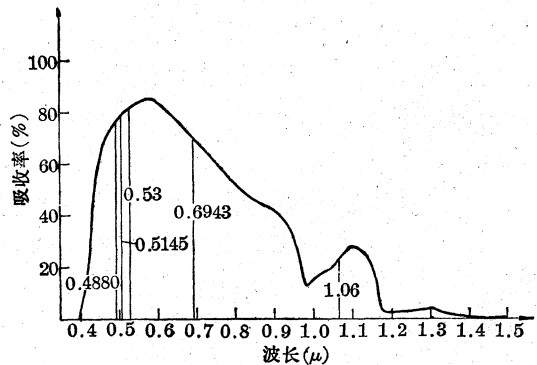


图2 网膜色素上皮和脉络膜的光谱吸收率曲线

紫外或红外波长的激光器一般不宜作眼科治疗，因为这种波长均会造成眼内中间质的损伤。例如，波长为1.06微米的钕玻璃激光虽可以造成视网膜脉络膜的凝结，也可形成虹膜穿

孔, 但因其波长对角膜吸收 7%, 晶状体吸收 15%, 对角膜和晶状体的损伤率较高, 故目前未作眼科治疗。同样, 掺钕钇铝石榴石(Nd:YAG)激光器(波长也为 1.06 微米)也不适宜。二氧化碳激光对角膜透过率极低, 会严重损伤角膜, 故也不宜作眼内治疗。

2. 要有一定的能量或功率水平。

首先, 激光器输出的最小激光能量应远小于引起组织反应的阈限。其次, 激光输出最大和最小能量的范围应符合治疗的需要。目前在治疗视网膜病变时一般所需能量为 0.03~0.1 焦耳, 治疗虹膜病变时需 1~1.5 焦耳, 治疗血管瘤需 0.03~0.5 焦耳。脉冲宽度红宝石激光为 1 毫秒左右, 氩离子脉冲激光为 1/50~1/2 秒。

调 Q 的激光器, 功率高, 对虹膜穿孔是适宜的, 但对于视网膜凝固以及血管的凝固, 作用不大。过高的功率(即使总能量很低)反而会使网膜大出血或在玻璃体里打出大量气泡来。

氩-氦激光器的波长虽在可见光范围, 但因目前功率水平太低, 故未能用作眼科治疗。

3. 发散角要小。由于激光聚焦后的光斑大小由激光的发散角 θ 与聚焦系统的焦距 f 的乘积所决定, 即激光光斑直径 $d=f\cdot\theta$ 。当焦距 f 一定时, 发散角 θ 越大, 光斑就越大。在进行眼底治疗时, 一般要求激光经眼内屈光间质自行聚焦后的光斑要小, 以免损伤周围正常组织。从目前的情况看, 气体激光器的方向性一般要比固体激光器好, 故氩激光的聚焦光斑可比红宝石、钕玻璃激光小一半。

当然, 从临床使用的方便来讲, 激光的发散角最好是可调节的。因为在治疗微细区域时要求激光凝固点越小越好, 在治疗较大范围的病变时, 希望凝固点适当大一些。

4. 激光输出能量要稳定可靠, 适于治疗的能量区域要宽, 还要能微细调节。尤其不能在治疗过程中激光能量突然增大而造成意外。激光电路中最好有电压失控时的保护装置。

激光输出能量的变化一般通过调节输入能量来达到。因而要求激光器的输入-输出能量曲线的斜率不要太大, 以便在临床应用时可通过改变输入能量而精细地调节输出能量。不然, 输入能量稍小些, 激光就太弱, 达不到治疗要求, 稍一增加输入能量, 激光又太强, 引起不良后果。

对于固体激光器, 可以改变电容量或电压来改变输入能量。为使用方便, 一般用改变电压来调节输入能量。应当注意, 输入能量与电压是成平方关系的: $E = \frac{1}{2} CV^2$ 。故更需要提高充电的精度和注意电压的微调。

激光器工作在阈值附近时是不大稳定的, 在临床应用时应将激光器的工作点选择在远离阈值的区域。

5. 激光器的重复频率和照射时间应合乎临床需要。

在眼科治疗中, 一般都采用脉冲式激光。这是因为, 如果用连续激光, 则病人眼球一动, 激光就照射到别的部位上去而损伤正常组织了。为要将病人的眼球固定, 就必须施行球后麻醉, 使用开睑器, 并不断滴入生理盐水湿润角膜等, 这都给病人增加许多痛苦。所以, 通常在眼科治疗中用的激光不采用连续输出, 而是采用脉冲输出的。即使是可以连续输出的激光器(如氩离子激光器等), 在治疗时也改成脉冲式。为的是使激光照射时间缩短, 在病人的眼睛还来不及转动时, 激光已经迅速地射入病人眼内患处。临床实践证明, 脉冲宽度为几毫秒至几百毫秒, 作为眼底凝固是适宜的。

另一方面, 临床应用要求两次脉冲之间的间歇时间不能过长。因为在进行激光视网膜凝固、阻塞血管和治疗玻璃体积血时, 往往需要多次照射, 如果两次激光脉冲之间的间隔时间太

长,病人和医生就得等候好久,在发射下一次激光时,医生还得重新瞄准,十分不便。从目前实际使用的情况来看,能有每分钟3次以上的重复率,对眼科治疗来说是满意的。

以上是眼科治疗对激光器本身的一些要求。

当然,作为激光眼科医疗器械来说,还有许多附加的要求,例如:

1. 要有足够的光源照亮病人眼内需治疗的部位,以便于医生观察检查。
2. 要有激光发射的瞄准系统,而且瞄准的准确性要高。
3. 要适应患者近视和远视的不同屈光情况,激光焦点位置应能调节。
4. 应操作简便、使用可靠、工作寿命长、维修方便。
5. 要考虑到医生眼睛的激光防护。
6. 应事先测出激光输出能量的大小,最好能有激光输出能量读数的直接显示。
7. 在治疗每个病人时,最好能自动记录激光脉冲数,便于医生记录和分析。在激光治疗中,根据患者的不同病情,照射的次数也多少不等。例如封闭小的视网膜裂孔只需照射3~4下,而治疗血管瘤时,一次就要照射一百至二百下,这时靠医生计数是很麻烦的,而且还很容易搞错。
8. 一台机器应能同时兼有多种用途。为适应眼科上常用的两种器械:裂隙灯和检眼镜,激光器最好既能配在裂隙灯上,又能配在检眼镜上,应用范围更广。

眼科治疗常用的几种激光器

随着激光技术应用的研究和发展,作为眼科治疗的激光器种类在不断增多,但是目前真正能供临床使用的激光器还非常有限。现分别介绍如下:

一、红宝石激光器

这是在眼科使用最早、也最广泛的一种固体激光器。

在眼科治疗中可选用小型的红宝石激光器,波长为6943埃的红色可见光,在常温下的持续时间很短,仅为1毫秒左右,故为脉冲方式工作。考虑到人眼的瞳孔在充分扩大的情况下为8毫米左右,故在不加光阑或压缩光束的光学装置下,红宝石棒的直径应选用6毫米以下,棒的长短则可以根据器件的大小和所需的能量大小而选定。在激光视网膜凝固器和虹膜切除器中,一般选用60~80毫米长。脉冲氙灯的尺寸则应与红宝石棒相匹配。

红宝石激光器的转换效率是比较低的,大约在千分之一到千分之五左右,即为了获得5焦耳的激光输出,至少需要输入一千焦耳的电能。

眼睛屈光间质对红宝石激光的吸收率很低,而眼底色素及虹膜色素对它的吸收率又较高,因而适宜进行视网膜凝固和虹膜切除等。而且,红宝石激光器装置小巧轻便,除可配置在眼科裂隙灯上,还可以直接装在眼底镜上做成手握式的器械,便于临床使用。

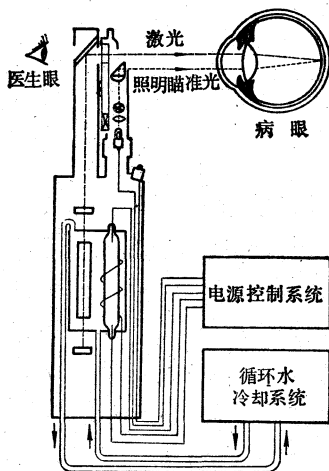


图3 手握式激光视网膜凝固器的结构简图

图3 为手握式激光视网膜凝固器的结构简图。

二、氩离子激光器

这是一种离子气体激光器,近年来在眼科中获得了较广泛的应用。

氩离子激光器可以产生出 10 种波长的激光,它们是 4545 埃、4579 埃、4658 埃、4727 埃、4765 埃、4880 埃、4965 埃、5017 埃、5145 埃和 5287 埃,其中最强的是 4880 埃(蓝色光)和 5145 埃(绿色光)。

如果连续不断地向放电管输入电功率,则激光将连续不断地发射出来,这种激光器就是连续式激光器。连续工作的氩离子激光器的转换效率也是很低的,一般为千分之一。所以,要得到 1 瓦的激光,输入电功率则需上千瓦。由于输入的电功率很高,管壁要能忍受高温和离子轰击,所以单由石英制成的放电管寿命不长,工作几十小时就容易遭到破坏,必须在石英管内加上一块块间隔开的石墨片衬垫,或用氧化铍作放电管,寿命可大大延长。氩离子激光器也可以做成脉冲式的。

作为眼科治疗器械的氩离子激光器,一般做成既能低功率连续输出,又能高功率脉冲输出的器件。这样便可以用低功率连续激光作为治疗前的瞄准光源,一旦瞄准好以后,再用高功率的脉冲激光作治疗光源。由于瞄准光就是激光本身,大大提高了激光治疗的准确度。治疗时还可以根据不同病情的需要,选用不同的激光脉冲宽度和不同的脉冲幅度,进行适当的搭配,以选择恰当的激光照射强度。

图 4 为氩离子激光眼科治疗器的结构简图。在氩离子激光器和观察系统(裂隙灯角膜显微镜)之间有一个导光系统,它是由六块直角棱镜组成的导光“关节”,能在三维空间方向上自由活动,将激光导入病人眼内。

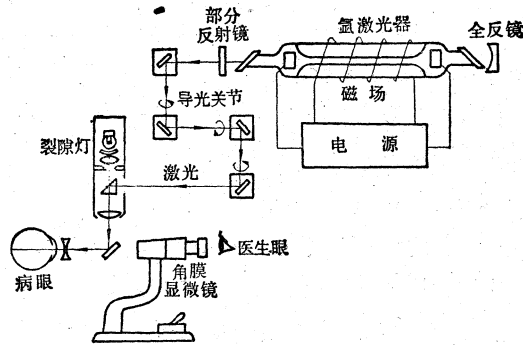


图 4 氩离子激光眼科治疗器的示意图

氩激光的发散角很小,聚焦在视网膜上的光斑可以小至 40~50 微米,约为红宝石激光聚焦光斑的 1/2,故适用于黄斑中心附近的治疗。而且由于氩离子激光器产生的蓝绿色激光(波长为 4880 埃和 5145 埃)在 100 微米厚的含氧血红蛋白中的吸收率为 72~74%,因此可以用来治疗某些血管病变。

但由于目前氩离子激光器的功率不及红宝石激光器大,加上虹膜色素对氩激光的吸收率比红宝石激光低,故目前尚未用氩激光进行虹膜切除。

上述两种激光器是目前已在眼科临床应用的激光器。其中广泛使用的仍是红宝石激光器。由表 1 可见,这两种激光器各有所长,也各有其短,尚不能以一种完全替代另一种,认为红宝石激光器已经过时的看法是不妥当的。

表1 目前用于眼科临床的红宝石与氩离子激光器的比较

	红 宝 石 激 光	氩 离 子 激 光
激光器特点	波长为 6943 埃, 深红色光。脉冲发射。一般只改变脉冲幅度来调节激光强弱。装置轻便, 易于维护。	蓝绿色光, 波长为 4880 埃、5145 埃等。连续输出, 治疗时用脉冲输出。可改变脉冲宽度和幅度来调节激光的强度。装置较复杂, 不易维护。
器械特点	需另加光学系统作为瞄准指示。可分别装在手握式检眼镜和裂隙灯上。	可用微弱的连续激光作瞄准指示, 准确度高。目前只能装在裂隙灯上, 需导光系统。
在眼内的情况	眼内中间质透过率高(约 96%), 视网膜脉络膜吸收率高(约 72%) 不易被含氧血红蛋白吸收(吸收率约 11%) 眼底最小凝固点约为 70~100 微米	眼内中间质透过率高(约 78~83%), 视网膜脉络膜吸收率高(约 75~80%) 对含氧血红蛋白吸收率高(72~74%) 眼底最小凝固点约 40~50 微米
目前主要用途	① 封闭视网膜裂孔, 治疗黄斑中心区色素上皮层病变; ② 靠视网膜色素的吸收而封闭视网膜深层的新生血管及小的血管瘤; ③ 虹膜局部切除; ④ 治疗玻璃体出血。	① 封闭视网膜裂孔, 治疗黄斑中心区色素上皮层病变; ② 直接封闭血管瘤及有病变的、新生的血管, 治疗后极部出血性疾病。氩激光对血管病变, 尤其是对血管瘤的治疗显示出很大的优越性; ③ 治疗玻璃体出血。
操作情况	(1) 眼底镜式: 可手持, 灵巧方便, 不需附加任何装置即可治疗眼底疾病。对坐、卧病入均适用。可结合手术进行。 (2) 裂隙灯式: 同右。	配合裂隙灯可获得放大倍数高、双目观察、照明亮、观察范围广等优点。但由于治疗时必须病人在眼前放上前置镜或接触镜, 要病人密切配合, 小孩及手术后不能起床的病人就不适宜。目前只有裂隙灯式。

三、掺钕钇铝石榴石与钕玻璃倍频激光器

掺钕钇铝石榴石 (Nd:YAG) 激光器与钕玻璃激光器都是固体激光器, 这两种激光器产生的激光都是波长为 1.06 微米的红外光。前已讲过, 这种红外光是不适宜作眼科治疗的。但是, 这种红外激光再经过一种非线性晶体倍频转换后, 可得到波长为 0.53 微米的绿色激光。这种绿色激光, 对眼科治疗来说是特别适宜的。它不仅在眼内屈光间质中的透过率高, 而且视网膜、脉络膜色素以及含氧血红蛋白对它都有较高的吸收率, 因而这是很有前途的眼科激光器。

目前倍频激光器还存在不少问题, 如: 倍频效率较低(从能量器件来说还不到 5%), 倍频激光能量太弱(一次脉冲还不到 500 毫焦耳), 发散角较大, 以及还需要将输出激光中的 1.06 微米红外成分分离掉而获得纯净的 0.53 微米的绿光, 等等。因此尚未在临床上获得应用。但正在进行动物实验。上海合力电机厂等单位研制的倍频激光器通过棱镜分光后曾有 30 毫焦耳的纯绿光输出。各地研制倍频激光都有不少进展。预期在不久的将来可以进入临床应用, 这将为眼科治疗新添一种在某些方面比红宝石或氩离子激光器更为优越的激光器件。

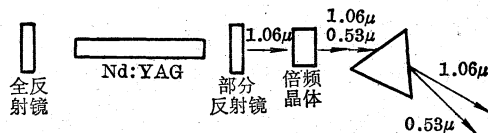


图5 YAG:Nd³⁺ 倍频激光器示意图

图5是一个倍频激光器的示意图。在这个装置中,钇铝石榴石激光器输出的1.06微米激光经过倍频晶体后透射出来的光不仅包含原有的1.06微米激光,而且还包含着另一个新的波长为0.53微米的激光,再经过棱镜分光或滤光片分离后,可以得到单纯的0.53微米的绿色激光。

倍频的类型可按倍频晶体放在谐振腔内或腔外而分为腔内倍频和腔外倍频,还可按匹配方式分为角度匹配与温度匹配两种。

可以作为倍频晶体的有:磷酸二氢钾(KDP)、磷酸二氢铵(ADP)、碘酸锂(LiIO_3)、铌酸锂(LiNbO_3)、铌酸钡钠($\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$)、铌酸钾(KNbO_3)等。前三种均易潮解,后三种不潮解,但目前尚未广泛使用。

四、其他激光器

氩离子气体激光器发射的激光从近红外到紫外有许多波长。其中可见光范围较强的有:4762埃(蓝色)、5208埃(绿色)、5682埃(黄色)、6471埃(红色),最强的是6471埃(红色)。由于氩离子激光器输出功率低,目前国内尚未在临床应用。

二氧化碳气体激光器发射的激光是10.6微米的红外光,这种波长的激光不能被角膜透过,超过38.5毫瓦/平方毫米的功率密度即可造成角膜溃疡乃至穿孔,故不能用作视网膜凝固或虹膜切除,而只能作手术刀进行角膜的板层切除,也有试验切除赘肉的,这些目前尚在进行实验研究。

* * ~~~~~ * * *

(上接第48页)

减小同位素粒子碰撞机会,也是克服共振能量转移的一个有效方法。

液态体系的情况不大相同^[10]。一个液体分子的运动可以粗略地看作是它在其四周的分子的包围圈中振动。如稀溶液的情况,只有偶然地,一个溶质分子才能逃出包围圈与另一个溶质分子碰撞。因此,液体中的扩散比气体中慢。一个大气压下,气体分子的每次碰撞的时间间隔是约 10^{-10} 秒,而这种有效碰撞在液体中的时间间隔是 $10^{-10} \sim 10^{-8}$ 秒。并且,液体分子在扩散前的振动周期是 10^{-13} 到 10^{-12} 秒,即两个溶质分子碰撞前,它们已与四周的溶剂分子发生了 10^3 到 10^4 次碰撞。这意味着,在稀溶液中,相同化合物的不同同位素种类之间共振能量转移的机会是很少的。而且,如果溶剂分子能与受激的溶质分子反应,则其化学反应速度就易于超过共振能量转移速度。