

# 上篇 基础篇

## 第一章 概 述

### 一、激光穴位照射治疗的发展史

激光穴位照射治疗,是采用激光的先进技术,以祖国医学中的经络理论为指导,进行辨证论治,选取穴位照射,以治疗各种疾病。激光穴位治疗俗称激光针灸,它的发展和经络腧穴理论的发展、针灸学的发展及激光技术的发展有关。激光穴位治疗只有遵循经络脏腑腧穴理论,辨证论治,取穴处方,才会取得更好效果。

经络学说是古人和疾病斗争的经验总结,是在长期的医疗实践过程中逐步形成和发展起来的。

《黄帝内经》(简称内经)是在秦汉之际写成的,是第一部关于经络学说的书,它包括《灵枢》和《素问》两部,共 162 篇,其中不少篇章对经络理论都有详细记录,但相应的腧穴内容记载不多。汉代编出我国第一部腧穴专著《黄帝明堂经》,该书共记有 349 个腧穴的部位、主治等内容。以后,西汉《难经》和东汉张仲景的《伤寒杂病论》又对经络学说加以发展。到了晋代皇甫谧撰的《黄帝针灸甲乙经》更加发展了经络学说。宋代王唯一编撰《铜人腧穴针灸图经》是我国最早的针灸经穴图谱,并首次铸成铜人针灸经穴模型两具,这是我国针灸学发展上的创举。到了明代,针灸经络学说蓬勃发展,杨继洲编《针灸大成》一书,集明代以前针灸医学之大成。自新中国成立以来,大力开展了经络学说的研究,并用现代科学方法进行探讨,如用放射性同位素的方法、红外热像仪、穴位声发射信号

的检测、体表超弱冷光的记录等等,均取得了有意义的观察结果,在针法上也发展了耳针疗法、头针疗法、刺络疗法、电针疗法、火针疗法、皮下埋针法、穴位注射、穴位埋线、穴位磁疗、割治疗法、挑治疗法、电兴奋疗法、药物离子穴位透入疗法和紫外线穴位照射疗法等等,极大地丰富了穴位治疗方法。自1960年美国的 Maiman 研制出第一台红宝石激光器、1961年 Gavan 研制出氩氛激光器以来,激光穴位治疗就开始为古老的针灸医学增添了现代新方法。1966年匈牙利的 Mester 提出弱激光具有生物刺激作用,在70年代初,由原苏联和东欧国家开始应用于临床。1970年 Утемура-това 等人报道,用氩氛激光照射穴位或反射区治疗高血压患者118例,其中有108例血压恢复到正常。1971年 Букговский 报道用氩氛激光照射穴位和反射区治疗子宫附件炎68例,结果其中54例痊愈。1972年 Воронина 报道用氩氛激光照射有关穴位治疗支气管炎21例,21例均有较好的即时疗效,肺活量增加30%。1976年 Plog 首先提出以“光针”代替传统的针灸针,并研制出 Akuplas 氩氛激光针刺仪,其输出功率为1毫瓦,波长为6328埃,工作方式是连续的,也可以是脉冲的,脉冲频率为0.2—200赫之间,作用时间可精确控制在10—30秒之间,该机还配有仪表,可以显示皮肤电阻,以确定准确的穴位,用这种机器可治疗传统毫针常治的急性和慢性病。

我国是针灸的故乡,从1973年开始把激光针灸应用于临床,主要是应用氩氛激光,治疗内、外、妇、小兒、耳鼻喉、口腔、眼、皮肤和神经科等约有200多种疾病,取得了较好的疗效。由于激光穴位治疗无痛、无感染、无明显禁穴,非常适用于年老体弱、儿童和晕针的患者,如对急慢性支气管炎、哮喘、高血压、三叉神经痛、面神经麻痹、肩周炎、风湿性关节炎、胎位不正、产后尿潴留等,均为适应症。

国内还用激光穴位照射代替常规的麻醉,用于拔牙、扁桃体摘除、甲状腺手术、疝修补、胃大部切除等,并在国外引起非常大的兴趣。

激光穴位照射治疗疾病的机理研究,也是国内外比较关注的问题,如激光对生物机体的作用到底有哪些方面;激光穴位照射是否和针刺一样可以激发经络之气,温通经脉,调整脏腑功能,活血散瘀,行气消肿,恢复脏腑经络的功能,以达到治疗疾病的目的。在80年代,我国刘德傅、田道正等人对上述问题均进行了研究,证明氦氖激光照射以后,可以循经传导,Kroetlinger在1980年也报道用氦氖激光照射穴位引起机体生化指标的改变,如钙、镁、钠、钾、磷离子,以及17酮、17羟,均和银针引起机体效应相符。

激光用于穴位治疗的激光器的选择也从单一的氦氖激光器,发展到二氧化碳激光器、半导体激光器、氩离子激光器,氦镭激光器,Nd-YAG激光器和氮分子激光器等。由于激光的波长不同,其产生的生物效应也不同,如二氧化碳激光的热效应明显,据刘国寻的观察认为,对虚证、寒证、湿证具有较好的疗效,其作用类似灸的作用,它能温通腧穴、经络;氦氖激光是光化学作用,对机体作用是红光的强烈刺激作用,如对细胞的线粒体作用明显,对眼球内的锥体细胞作用明显等;Calder和Head等比较了应用半导体激光和Nd-YAG激光对机体的镇痛作用,认为半导体激光对表浅疼痛效果好,而Nd-YAG激光对深部疼痛止痛效果好。

激光的工作方式由单一的连续激光发展到脉冲激光、用音乐调制的激光,这样可以加强激光的刺激效果。

激光的治疗方法,由简单的穴位照射发展到和磁疗、电疗、毫针刺入等结合到一起的联合作用,起到事半功倍的效果。

从以上激光穴位照射治疗的发展史可以看出,弱激光对人体的作用,特别是穴位的作用效应研究,正处于发展阶段,近年来研究更为活跃,弱激光的研究受到极大的重视,有的学者声称“只有弱激光的生物效应研究才有科学价值。”1990年9月在日本东京专门召开了低功率激光医学专题讨论会,对激光穴位治疗的机理,对伤口愈合、疼痛解除、抗炎效应等各方面进行了广泛的研究。弱激光穴位治疗效果良好的许多理论问题,尚未完全搞清楚,需要我们进一步深入地探讨。

## 二、激光穴位照射与传统针刺的异同点

激光穴位照射治疗,是利用激光光束刺激经络、腧穴或患部、痛点以治疗疾病的方法,激光光束俗称“光针”,但它不能完全代替传统针刺。

### (一)激光穴位照射与针刺的相同点

#### 1. 穿透深度

试验者用波长 632.8 纳米的氦氖激光器,输出功率 1.6 毫瓦,照射人正常组织的双手虎口部位,用照相底片感光法测定氦氖激光照射穴位的轴射穿透深度,可测出透过手虎口部位 25 毫米厚的活体双层皮肤、皮下组织和肌肉层。可见激光照射完全可以达到和传统针刺的类似深度,对经穴起到刺激作用。

#### 2. 作用机理

试验者用输出 2.7 毫瓦的氦氖激光光针仪照射,激发经络隐性感传实验。其结果是对 30 例 106 条经次穴位照射,感传阳性率为 60.38%。基本上与针刺阳性率类同。另外,试验者还做了光束照射经络测定,从定量方面比较和分析了 15 例病人 1404 穴次不同情况下的原穴导电量 5 分钟前后变动率,发现照射穴位与照射非穴位或不照射时相比,均有非常显著的差异。以上这些试验结果,均为激光光束照射经穴起作用的机理提供了具有客观指标的实验根据。

#### 3. 免疫功能

彭氏曾用波长 632.8 纳米的氦氖激光器,输出功率 2 毫瓦,照射 20 例 60 岁以上正常人的双侧足三里穴,每日每穴 10 分钟,照射 10 次后检查其细胞免疫功能,结果较照射前明显提高。与前人报道的针刺足三里提高免疫功能的结果类同,和其条件相同的 20

例未照射激光的空白对照组相比,也有显著性差异。还有报道说,观察“光针”治疗复发性口腔溃疡的体液免疫和白细胞减少症、炎症性白细胞增高等病人的细胞免疫状况,均证明“光针”有类同于针刺对免疫功能的影响。

## (二)激光穴位照射与针刺的不同点

(1) 激光和毫针都是以外部能量对机体刺激,但毫针输入的是机械能,激光输入的是光能,光能能转化为热能。在氦氖激光照射升温试验报道中有照射穴位 2—5—10 分钟以后,局部皮温平均上升 0.8—2℃,这种热效应,可以在使用氦氖激光照射的同时起到类似弱灸的作用,比单纯针刺优越。

(2) 激光照射穴位刺激强度较小,酸、麻、胀、痛等显性针感也较小,病人易于接受治疗,尤其对老人、体弱者、小儿和惧怕针刺者更为适宜。但刺激强度大小不能调节,也是不便之处。

(3) 激光照射穴位是非接触性治疗,对皮肤无损伤,也无须消毒,不会交叉感染,较针刺安全。

(4) 激光照射无禁穴,有些禁针穴位也可以用激光照射,对破溃的皮肤、粘膜也可用激光照射,因其光束不仅可以刺激穴位起作用,同时它的光能又可以在人体内产生消炎、消肿、镇静、止痛、脱敏、促进伤口愈合和毛发生长等作用。

(5) 激光需要电源,不如针刺简便。激光器价格昂贵、治疗费用较高,不如针刺价格低廉。

总之,激光穴位照射类似我国传统的针刺,但它们之间又有差别。激光穴位照射虽有许多优点,但它不能完全代替针刺。

## 第二章 激光医学基础

### 一、激光的概念和发生原理

激光是 30 年来才迅速发展起来的新型光源,激光又称“莱塞”,是英文 laser 的译音。laser 是 light amplification by stimulated emission of radiation 的字头的缩写,意思是“受激辐射所产生的光放大”。1964 年由钱学森同志建议称莱塞为“激光”,但香港、澳门、台湾等地区译成“镭射”。

为了了解发光现象和激光产生原理,我们将从光的基本知识讲起,然后对原子结构及其能级作基本介绍,最后从原子受激发射过程和受激吸收过程以及粒子数反转分布和光放大的理论,阐明发光现象和激光产生原理。

#### (一)光的基本知识

光的一个基本性质就是具有波粒二象性,也就是说光一方面是电磁波,具有波的性质,有一定的波长和频率;另一方面光又是光子流,而光子又是具有一定能量的粒子,所以波动性和粒子性就是光的客观属性,二者总是同时存在,但在不同条件下,二者表现的明显性确有差异。例如光在传播中的干涉、衍射等现象,波动性较为明显,当光和实物相互作用时,如光的吸收、光的发射、光电效应等,光的粒子性较明显。

##### 1. 光波

光波就是电场和磁场的振动在空间的传播。由于光波是电磁的振动,所以我们把光波也叫电磁波。光波既是电场振动的传播,同时也是磁场振动的传播。电场振动的方向与磁场振动的方向互

相垂直,而且电场和磁场振动的方向又同时垂直于光的传播方向,它们三者的关系如图 2-1-1所示。

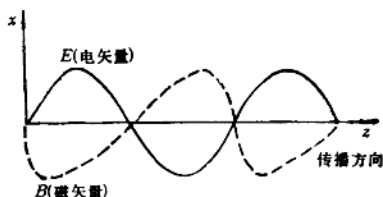


图 2-1-1 电磁波示意图

实验证明,电磁波中起主要作用的是电场,所以讨论光波时我们只着重考虑电场的振动。

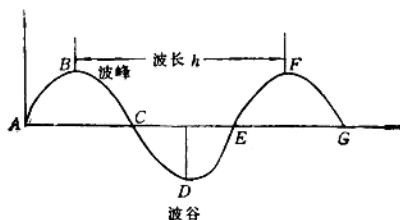


图 2-1-2 光波振动示意图

## 2. 光速、频率和波长

光速就是光在介质中的传播速度,实验测得光在真空中传播速度为每秒钟 30 万公里,即  $3 \times 10^{10}$  厘米/秒,通常以  $c$  表示。

光的频率就是光波的电场每秒钟振动的次数,以字母  $\nu$  表示,单位是赫。完成一次振动所需要的时间叫周期,以字母  $T$  表示。

频率  $\nu$  和周期  $T$  的关系互为倒数,即  $\nu = \frac{1}{T}$

振动在一个周期时间内传播的距离称为波长,以  $\lambda$  表示。

光速、频率、波长有如下的关系  $c = \lambda \nu$

图 2-1-2 中, 最高点为波峰, 最低点为波谷, 两个相邻的波峰或波谷之间的距离就是一个波长, 波长一般用微米表示, 也常用埃( $\text{\AA}$ )表示。

### 3. 振幅和位相

光波中振动着电场最大的值为振幅( $B, D$ ), 振幅的大小决定了光的强弱, 也就是光波能量大小。

光波的位相是在一个波长范围内决定各点电场大小的物理量, 位相以角度表示, 如图 2-1-2 中,  $A$  点的位相角为零,  $B$  点的位相角是  $90^\circ$ ,  $C$  点的位相角是  $180^\circ$ ,  $D$  点的位相角是  $270^\circ$ ,  $E$  点的位相角是  $360^\circ$ , 知道某一点位相角, 就可以算出那一点的电场大小, 更重要的意义却反映在光的干涉效应上。

### 4. 光的干涉现象

两个光波, 它们频率和振幅相同, 振动方向也相同。如两束光波同位相时, 叠加后一束光的波峰和波谷与另一束光的波峰和波谷一一对应, 光的合成波的振幅为原来波振幅的两倍。如两束光波相差  $180^\circ$ , 则两束光叠加后, 一个波的波峰与另一个波的波谷相对应, 两个波的振动互相抵消, 它们的合成波消失了, 这种合成后的光波得到加强或消失, 就叫光的干涉现象。一般情况下, 两束光波频率相同, 振动方向相同, 而且位相保持恒定, 就可以产生干涉, 我们把这种光叫做相干光。

## (二) 光的产生

物质都是由原子或分子所组成, 所以无论是普通光还是激光都是物质发光, 是原子和分子的发光, 所以要了解发光现象, 必须对原子结构有一个初步了解。

### 1. 原子结构和原子能级

物质是由分子、原子等微粒子组成, 原子又是由原子核和电子

组成,原子核带正电,电子带负电,电子围绕原子核永不停止地运动,同时自身又作自旋运动。不论是哪一种原子,电子所带的负电荷与原子核所带的正电荷在数值上是相等的,因此作为整体的原子是呈中性的,但如果某种原因原子丢失一个或几个电子,则变成正离子,如氩原子少一个电子而变成氩离子( $\text{Ar}^+$ ),当原子从外界俘获到电子时,则变成负离子。

电子在原子中的分布可以分为若干层,最靠近原子核的电子与原子核的结合力最强,越靠外层,电子与原子核之间的结合力就越小。因此用较小的能量就可以使它逸出原子的范围而使原子变成离子,这些最外层的电子在化学反应中就参与反应,所以在化学中把这些最外层的电子叫价电子,光学中最外层电子参与光学过程,例如光的吸收、光的发射等,所以最外层的电子又叫做光学电子。

电子只能在原子中某些轨道上运动,每一运动轨道都相应于一定的电子能量,由于电子绕原子核运动的轨道是分立的、不连续的。电子在原子中的运动从一个所允许的轨道变到另一个所允许的轨道时,电子的能量就发生变化,这个能量的变化反映为整个原子的能量变化。所以当讨论电子在原子中的运动时,通常都不说电子的能量,而只说原子的能量。表示原子能量的方法,一般都是按照能量的大小有比例地画出一些横线条来,如图 2-1-3。

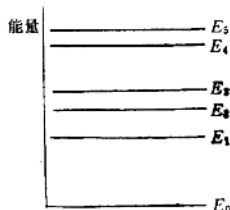


图 2-1-3 原子的能级图

在图中每一条横线的位置就代表一个能量,叫做原子的一个能级, $E_0$ 。

表示能量最低的能级,叫基能级,处于这个能级上的原子的能量状态叫做原子的基态, $E_0$ 。以上各能级  $E_1, E_2, \dots$  都叫激发能级,处于这些能级上的原子能量状态叫激发态。

在正常条件下,大多数原子处于基态,只有极少数原子处于激发态,能级越高,这个能级上的原子数目就越少,这种分布叫粒子

数的“正常分布”，如果在特殊条件下，用某种方法使原子在能级上的分布倒过来，就是使处于高能级的原子数目多于处于低能级上的数目，这种分布叫做粒子数的“反转分布”，这种反转分布是产生激光的必要条件之一。应当指出，不是任何物质都能实现粒子数的反转分布，而是要有一定条件，这主要决定于物质的内部结构。我们把两个能级间能实现粒子数反转分布的物质叫做激活介质或叫增益介质，这种介质可以是气体、固体或液体。

基态的原子，由于受到外界的刺激，例如受到别的原子或电子的撞击，或者吸收了光子，从而它的能量增多了，就可以从基态变为激发态。反之，激发态的原子由于某种原因把它的能量释放出一部分，从而它的能量减少了，原子可以变为基态或者其他较低的激发态，原子的这种能态的变化称为跃迁过程。不论原子从基态跃迁到激发态，还是从激发态返回到基态，原子所得到的能量或所失掉的能量都必须等于有关两个能级之间的能量差。当原子从高能级跃迁到低能级上时，便以辐射光波的形式释放出能量，形成发光现象。原子跃迁的能级差别越大，发射出光波的频率就越高，能级差别越小，频率就越低。

## 2. 激发态的平均寿命和亚稳态

处于激发态的原子是不稳定的，总是要通过各种辐射跃迁到比它低的能级上去，所以，原子在激发态只能停留有限的时间，原子在激发态停留时间的平均值称为激发态的平均寿命，原子激发态的平均寿命一般为  $10^{-7}$ — $10^{-8}$  秒。

如果原子的某些激发态比它低的能级之间只有很弱的辐射跃迁，而且它的平均寿命很长（例如可达  $10^{-3}$  秒或更长），我们称这种激发态为亚稳态，亚稳态很重要，因为许多激光输出都是亚稳态的辐射跃迁产生的。

## 3. 光和原子之间作用

光和原子之间的作用，可以有三种不同的过程，即吸收过程。

自发发射过程与受激发射过程，每一过程又分两个阶段。

(1) 吸收过程：处于低能级的原子受到外来光的照射，吸收光子，低能级原子能量增大并跃迁到高能级上，如图 2-1-4。

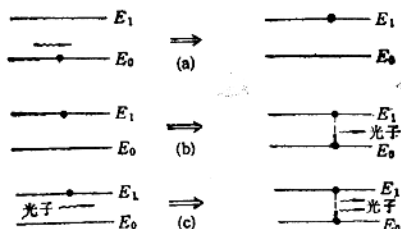


图 2-1-4 原子的受激吸收、自发辐射和受激辐射

吸收第一阶段是原子处于基能级  $E_0$  上，这时有一光子趋近它。第二阶段是原子吸收光子，光子不见了，原子能量增加，并由基能级跃迁到高能级成为激发态〔图 2-1-4(a)〕。

(2) 自发发射过程：在不受外界影响的情况下，原子自发的由高能级向低能级进行辐射跃迁并发出光子的现象称为自发发射。图 2-1-4 (b) 第一阶段原子处于激发能级  $E_1$  上，也就是说原子处于激发态，第二阶段在没有外来因素影响下，原子自发由高能级跃迁到低能级，并发射出一个光子，在发生这种辐射时，每个原子的跃迁都是自发地、独立地进行，相同能级间的跃迁，发射出的光子的频率可以相同，但其位相、振动方向、传播方向、发光时间都不相同，属于非相干光，如白炽灯、日光灯等均属于这种光源。

(3) 受激发射过程：处于高能级  $E_1$  的原子受到能量为  $h\nu = E_1 - E_0$  的光子照射而由高能级  $E_1$  跃迁到低能级  $E_0$ ，同时发射一个光子的过程叫受激发射。图 2-1-4 (c) 示出，第一阶段原子处于  $E_1$  激发态上，有一光子趋进于它。第二阶段激发态的原子，受到光子的刺激又发射出一个光子来。同时激发态的原子由于丢失了能量而跃迁到基能级  $E_0$  上，这样一来，就有两个光子，光被加强了。由受激发射产生的光子与引起这种过程的原子的方向、频率、

位相、偏振都是相同的。

一个处于热平衡的粒子体系,这三种过程是同时存在的,在白炽灯泡中,自发辐射发光和受激辐射发光也同时存在,但普通白炽灯不能产生激光,这是因为钨原子激发态的能级寿命短,受到电能激发跃迁到高能级的钨原子还来不及等到另外的光子来激发它,就立即跃迁到基态,发生自发辐射发光,故普通白炽灯不能发出激光。要得到宏观可见的激光,必须使受激辐射占优势才行,这就要求处于高能级的粒子数多于处于低能级的粒子数(粒子数反转分布),为了实现粒子数反转分布的物质叫活性物质,这些物质都具有亚稳态能级,即存在能级寿命比较长的高能态,例如三氧化二铬中铬离子的能级图,见图 2-1-5。

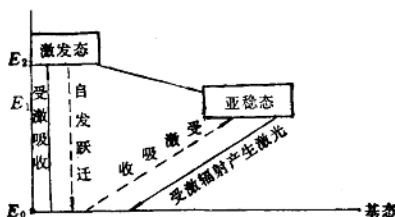


图 2-1-5  $\text{Cr}^{3+}$  离子能级示意图(---→表示概率很小)

图中  $E_0$  表示基态,  $E_1$ 、 $E_2$  表示激发态, 其中  $E_1$  的寿命比较长, 约为  $10^{-3}$  秒, 就是亚稳态。相反的  $E_2$  的寿命很短, 远远小于  $E_1$  的寿命, 如果有一外来的能源, 能迅速使处于基态的铬离子吸收一定的能量, 跃迁到激发态  $E_2$ , 则粒子迅速由  $E_2$  跃迁到  $E_1$ , 而在  $E_1$  能级停留时间较长, 就可以实现  $E_1$  对  $E_0$  的粒子数反转, 要使铬离子大量迅速从能级  $E_0$  跃迁到能级  $E_2$ , 就要向粒子系统输入能量, 而且每份能量恰为  $E_2$  和  $E_0$  的差值, 波长 5 600 埃的蓝绿光的光子能量恰好与  $E_2 - E_0$  的值相等, 故可以实现粒子数反转。

被激发的铬离子只有极少一部分从  $E_2$  跃迁到  $E_0$ , 绝大多数由  $E_2$  跃迁到  $E_1$  这个亚稳态上, 使  $E_1$  对  $E_0$  实现粒子数反转。如有一

光子,其能量为  $E_1$  和  $E_0$  之差,刺激一个处于  $E_1$  的铬离子,则发生受激辐射,放出完全相同的光子,一个变二个,二个变四个,发生雪崩式的受激辐射而产生激光。

### (三) 激光的形成

活性物质中,实现粒子数反转分布以后只是提供了产生激光的条件,为了获得有实用价值的激光束,必须使活性物质中发生受激辐射,在光学谐振腔中形成振荡,获得光放大,然后集中输出来,这就是激光。

一般激光器必须具备有三个部分:工作物质、激发能源、谐振腔。

工作物质就是形成粒子数反转分布,提供产生激光的条件。

激发能源的作用是供给工作物质的能量,使之激发到高能级,得以实现粒子数反转。

谐振腔是由两个平面镜或球面镜(一面镀膜)构成的,一端反射镜为 100% 的反射率,另一端是部分反射(反射率为 97—98%),激光就是从这一端输出。

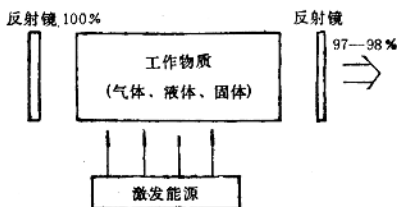


图 2-1-6 激光器示意图

谐振腔的作用是受激辐射的光在腔内不断地来回反射,每经过一次工作物质光就得到一次放大,当光放大超过光损耗时(如衍射、吸收、散射等损失)就产生光振荡,并在半反射镜一端产生了激光输出。

在谐振腔中,起始的光辐射,是来自自发辐射,这光射向四面八方,不是激光,沿着轴线方向的光子在传播过程中不断产生受激辐射,并通过谐振腔的来回反射使光多次通过激活介质,发生光放大而产生激光,那些不沿着轴线方向传播的光子经过几次反射很快逸出腔外,因此不能继续放大。

在谐振腔内只有特定波长的光才能被放大,也就是说谐振腔起到“选频”作用,可以证明当腔长为半波长的整数倍时才有激光输出。实际上由于受到线宽的限制,只有几个频率落在线宽范围内,这些频率才可能有激光输出。

## 二、激光的物理特性

由于受激发射的过程和谐振腔的结构,决定了输出的激光束具有下列的特征:高方向性(沿轴向的定向发射,其他方向的光子都跑到腔外去了)、高亮度(能量高度集中)、高单色性(单一频率,频率仅在百分之几纳米)及高度的相干性。以上的四大特性普通光不具备,而是激光所特有的。

### (一)激光的方向性好

激光是方向性最好的光,光束的发散角的大小标志着光束方向性好坏,激光器发出的激光发散角小,平行度就高,几乎是一束平行光。

我们常见的光源,如蜡烛、白炽电灯、日光灯等,它们的光线是向四面八方发射的,所以没有确定的方向。又如探照灯,采用了定向聚光装置,使发散角大大减少,但也比激光大地多,假如能使探照灯灯光照射到离地球 38 万公里以外的月球上去,其光斑直径要扩大到 1 000 多公里,而激光无需任何装置,射到月球上的光斑直径也只有 1 公里左右。

激光之所以有如此好的方向性,是由于激光器的谐振腔对光束方向的选择作用,它只允许沿着谐振腔轴线方向传播的光在腔

内谐振,所以从部分反射镜一端输出的激光束,基本上是沿着镜面垂直方向传播的,因此激光束的发散角很小。除半导体激光器外,一般激光器输出的激光束,发散角的数量级为毫弧度(mrad),采取特殊措施后,可使发射角小于0.1毫弧度。例如红宝石激光器的光束发散角为5—20毫弧度,二氧化碳激光器的光束发散角为2毫弧度左右,Nd-YAG激光器的光束发散角为1—15毫弧度,而氦氖激光器的光束发散角只有1—5毫弧度。

激光的方向性好,意味着可以把光束传播很远的距离而仍然确保足够的强度。在医用范围内,如果不考虑空气吸收,激光强度几乎和距离无关,而普通光的强度则与传播距离平方成反比,即随着传播距离的增加而光强衰减很快。激光的方向性是如此好,所以已利用来进行精细的细胞手术。激光的波宽很窄,可以聚焦到几微米的点上。如红宝石激光可以聚焦到0.35微米,紫外激光可以聚焦到0.12微米,而细胞直径为1—10微米,激光束的直径仅仅为细胞的0.5—1%,故可以用来研究细胞的结构和功能,以及各部分功能相互制约的关系,从而了解肿瘤细胞的发生和发展,以及进行防治的办法。

## (二)极高的光源亮度

在自然界中,太阳表面算是很亮的,但高压脉冲氙灯比太阳表面亮的多。激光问世以后,一台红宝石巨脉冲激光器,其亮度可达 $10^{15}$ 瓦/厘米<sup>2</sup>,比太阳表面亮度高出100亿倍以上。一台1毫瓦的医用氦氖激光器,其亮度也比太阳表面强100倍。

这里讲的亮度是指辐射亮度,与人眼对不同波长的感光灵敏度(即光亮度)无关,例如亮度很高的红外激光器(如Nd-YAG激光器)发出的激光虽然看不见,但可以切割肿瘤和骨骼,然而看起来很亮的氦氖激光却只能作理疗。

更为重要的激光束可以在时间和空间高度集中,如果把激光器发出的激光再用透镜聚焦,激光强度将大大增加。例如把二氧化碳激光手术刀的一束直径为4毫米的激光束,聚焦成0.4毫米,

从而使光束截面缩小到原来的1%，强度也增加100倍，这样更便于凝固、汽化和切割组织。这种激光手术可以瞬间使组织水分急速蒸发、脱水，破坏、封闭了血管，减少出血，减少癌细胞转移，而且术后反应轻，疤痕小，术中使脓液、细菌汽化掉，是无菌手术。

如果将能量在时间上缩短激光发射，也即提高激光发射功率来提高亮度，如用Q突变大功率激光器，它可以把几毫秒内发射的光能积蓄后压缩在几个纳秒内一下发射，把发光时间缩短到原来百万分之一，激光亮度提高100万倍。这种激光可以用来击穿钢板、制成激光武器等，医学上用调Q-YAG激光进行后发障、玻璃体肌化索条的切割等治疗。

### (三)极好的单色性

单色性好的光是指波长范围很小的那一段辐射，也就是说谱线宽度越窄，单色性越好。

激光出现以前，最好的单色光源要算是同位素氪( $^{86}\text{Kr}$ )灯，其谱线宽度仅为万分之五纳米，而氦氖激光谱线宽度小于一亿分之一纳米，其单色性比氪灯提高了10万倍。

激光单色性好的主要原因取决于激光的模式，单纵模激光器其谱线宽度极窄，故输出的激光单色性好，单模稳频气体激光器单色性最好，其谱线宽度可达 $10^6$ — $10^8$ 赫。

激光的单色性，以气体最好，固体次之，半导体激光器最差。

激光的单色性，可以用来精确地测量物体的长度；在生物医学上可以利用光波拍频技术来测量极其缓慢的速度，如每秒移动几个微米的速度；利用激光喇曼散射，可以从喇曼效应引起的频移，研究生物分子的结构等。利用激光单色性好还可以巧妙地引发某些特殊的化学反应，选择性破坏其中某一种同位素的化学键等。

### (四)良好的相干性

激光单色性好，即波长相等，特别是同一激光器发出的激光，具有相对固定的相位差，使激光的相干性非常好，关于激光的相干

性的特点在前面光的干涉已讲过,这里不再详述。

通常把相干性分为下面二种。

### 1. 时间相干(纵向相干性)

它是指光源中同一辐射源在不同时刻发生的光束之间的相干性,时间相干性与单色性密切联系,氪灯的相干长度是几十厘米,多数普通光源每条谱线的相干长度只有零点几毫米,而氩氟激光器的相干长度理论上达几十公里,激光的相干性提高了几十万倍。

### 2. 空间相干(横向相干性)

是指光源的不同部分发出的光波相干,一个激光系统如满足一定设计要求,几乎有无限的空间相干性。

这种相干性的应用,在医学上也发挥作用。眼全息术、耳全息术、牙全息术,为诊断和治疗开辟了一个新的天地。如牙科全息可研究牙科材料、焊接金属结构的变性,测定负荷作用引起的形变。用氩离子激光全息术可观察眼底各层组织的病变情况,观察玻璃体的层次结构和微小颗粒的存在。激光与超声技术结合成激光超声全息术,可以拍摄5厘米深的软组织变化,并能分辨1毫米大小的乳腺癌。

激光全息技术在医学方面的应用大致有以下几方面:

(1) 通过眼底照相机获得的全息图,可以观察眼球内的变化。

(2) 利用内窥镜装置拍摄体内全息像,通过一张全息底片可以立体、全面地观察腔内病变情况。

(3) 利用激光全息干涉作微循环的研究。

(4) 利用激光和超声技术结合的全息拍摄人体的全息图,对乳腺癌等疾患进行诊断。