

# 激光照射治疗的微观机理

江 宏 忠\*

(常州师范学院)

## 摘 要

本文叙述了关于激光治疗的基本原理,认为在激光作为照射器使用场合,着重体现光的热效应和光化效应.

## 一、前 言

近几年来,激光医学进展很快,临床上使用了不同功能的激光医疗器械,如激光针灸器、激光烧灼器、激光凝固器、激光手术刀、激光照射器、激光诊断器、以及激光诊治癌症的特殊器械.其中,应用比较广泛的要算激光照射器,它是用扩散或未扩散的激光光束照射病灶,以期达到治疗的目的.在激光照射治疗时,光对机体的作用包括直接杀菌的破坏性机制和增进人体抗、治病机能的功能性机制.如治疗带状疱疹、各种口腔溃疡、耳疖、各种癣、腮腺炎等多种被病菌(包括细菌和病毒)感染的体表疾病,都以激光照射杀死病菌为主要手段.同时,激光照射又能恢复和增强机体功能、加强局部循环、改善营养状态、促进病灶的消失,对治疗斑秃、湿疹、面瘫等非病菌感染的疾病均有较高治愈率.

目前,一般认为激光治病是与它的光、热、电磁、压力等效应有关,而上述激光照射治疗又相关于光的哪种效应,这是国内外有关学者所关注的课题.本文从激光和机体(包括人体和病菌)上蛋白质分子的相互作用出发,就激光照射治疗的微观机理发表一些看法.

## 二、激光照射治疗的微观机理

生物体蛋白质分子由多种氨基酸组成,组成分子的原子数目很多,各种原子的排列组合形式多种多样,所组成分子化学键及基团的空间结构也各不相同.同时,分子内部化学键和基团的振动模式随分子结构的不同而异.这样,分子的许多振动光谱提供了有关化学键特性

本文1986年10月30日收到.

\*原系华侨大学物理系讲师.

和分子空间结构的信息,为研究光与分子相互作用过程提供了良好条件。一方面,分子在振动能级上跃迁时要发射或吸收一定频率的红外光;另一方面,当用特定的红外光照射分子时又会激发分子中某些化学键的振动,表现出吸收光谱和红外活性。

本课题感兴趣的是大量存在于分子中的基团伸缩振动,它具有哪些性质呢?首先用经典理论作一些解释,不妨将两个基团的伸缩振动简化成双原子分子,以弹簧谐振子的振动公式求解,看看与实际情况是否符合。设弹簧的恢复力为 $f$ ,键两端原子离开平衡位置的距离为 $\Delta r$ ,键的力常数为 $k$ ,则力学方程

$$f = -k\Delta r \quad (1)$$

式中,负号表示力的方向与原子运动的方向相反。根据牛顿定律, $f$ 可以表示成质量与加速度的乘积,并且质量用两个原子的折合质量 $M = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ 表示,式(1)变成

$$M \frac{d^2(\Delta r)}{dt^2} = -k\Delta r \quad (2)$$

由于键两端原子的运动是简谐振动,上式解一定是

$$\Delta r = A \cos 2\pi \nu t \quad (A \text{ 为常数}) \quad (3)$$

将式(3)代入微分方程(2),得到简谐振动的频率

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (4)$$

用波数表示

$$\bar{\nu} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (5)$$

其中 $c$ 代表真空中光速,将 $\pi$ 和 $c$ 代入上式, $M$ 以氢原子质量为单位表示,单位取 $g$ ,化学键的力常数 $k$ 可以在有关资料中查到,上式化简后成为

$$\bar{\nu} = 1304 \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (6)$$

用此式计算的键振动波数与实际值符合得较好,如 $\text{HCl}$ 分子键振振动波数的计算值是 $\bar{\nu} = 2990 \text{ cm}^{-1}$ 而实验值是 $\bar{\nu} = 2886 \text{ cm}^{-1}$

更严格的计算应用量子力学的薛定格波动方程代替上述经典力学方程,即

$$\frac{d^2\Psi^2}{d(\Delta r)^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} [E - \frac{1}{2} k(\Delta r)^2] \Psi = 0 \quad (7)$$

其中 $\Psi$ 是原子运动波函数, $E$ 是振动能, $m$ 是原子质量, $(-\frac{1}{2} k(\Delta r)^2)$ 是势能,由此求出的能量 $E$ 是量子化的,并且考虑到振动的最低能级——零点能,所以更接近实验值,但是量子力学的结果与上述经典力学所得的结果相差不大,因此一般还是用经典方法求解分子键振动的波数。

上面是对单键而言,对于双键(如 $\text{C}=\text{O}$ )、三键(如 $\text{C}\equiv\text{N}$ ),计算方法不变,只是键的力常数和势能不同而已,表1是部分分子键伸缩振动波数的实验值。

表 1 部分分子键伸缩振动波数<sup>[1]</sup>

键 种 类	振动波数 (cm) <sup>-1</sup>
C—C C—O C—N	1300—800
C=C C=O C=N	1900—1500
C≡C C≡N	2300—2000

表 2 部分激光波段 (μm)

激 光 类 型	发 光 波 段
CO <sub>2</sub>	9.6—10.6
He—Ne	0.63; 1.15; 3.39
CO	5
YAG—Nd <sup>3+</sup>	1.06

上述波数换算成波长大约在 4—11 μm 之间,正好和许多激光器发射的光在波段上吻合,表 2 是部分激光的波段。

当用这些激光照射分子体系时,分子将受到共振激发,并且随着分子间化学键振动耦合,其它原子也产生振动。实际上,分子中原子振动只在振幅非常小时才是简谐振动,如图 1 纵

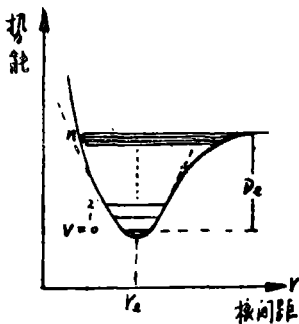


图 1 双原子分子势能曲线

坐标表示双原子体系中原子的势能,横坐标代表原子核的间距,曲线体现了原子势能和原子间距离变化的关系,在无外界干扰时,原子处在最低的能级上振动,原子所具有的能量是零点能,如果核间距增大,则原子间的吸收力起作用;距离减小,则原子间的排斥力起作用。通常原子在这两种力平衡状态下作简谐振动,原子核间的距离在平衡位值  $r_e$  周围变化。

使用上述红外波段激光照射该体系时,原子将从最低的能级跃迁到较高的能级,从量子态  $\nu=0$  跃迁到  $\nu=1$  或  $\nu=2, \nu=3, \dots$ , 这时势能与核间距的关系是线性的,服从曲线下半部(虚线代表抛物线与曲线下部重合)抛物线中直线部分所展示的规律,红外光被分子体系吸收,光能变成原子振动能,或者说变成体系的热能,因为热能在微观上体现为分子或原子的运动。

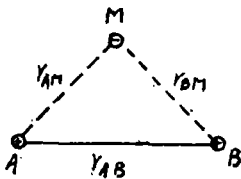


图 2 氢分子离子模型(A与B代表两个氢核、M代表电子)

当入射光波长小于可见光波长时,比如紫外或真空中紫外光,一个光子的能量可使原子的振动能级跃迁到更高的水平,如达到  $\nu=n$ , 这时原子核间的距离增大到超过核引力的范围,分子的势能变得与距离无关,原子的动能增大,原子间的束缚态解除,分子势能与核间距的关系不再是线性而是非线性,服从于图 1 上半部曲线一双曲线所展示的规律,分子被离解。从最低能级到离解

态所需要的能量称为离能解,用  $D_e$  表示。

分子离解能的大小可以通过计算求得,早在 1927, 丹麦科学家 Burrau 就对氢分子离子

进行计算,该分子体系只有一个电子、两个质子,即三个质点,如图2,  $A$ 与 $B$ 代表两个氢核,  $M$ 代表电子,它受到两个电场的作用,计算时先假定 $A$ 与 $B$ 不动,则电子 $M$ 具有的势能为

$$F(M) = - \left( \frac{e^2}{r_{AM}} \right) - \left( \frac{e^2}{r_{BM}} \right)$$

$e$ 是电子电荷,  $r_{AM}$ 与 $r_{BM}$ 分别表示电子到两个氢核的距离, Burrau所建立的波动方程是<sup>[2]</sup>

$$-\frac{h^2}{8\pi^2m}\nabla^2\Psi + \left[ - \left( \frac{e^2}{r_{AM}} + \frac{e^2}{r_{BM}} \right) \right]\Psi = E\Psi \quad (8)$$

$E$ 是电子能量,它不但是量子化的,而且随距离 $r_{AB}$ 而变,当 $r_{AB}$ 增到无穷大时,核力失去作用,这时的能量 $E$ 便是分子的离解能 $D_e$ 。Burrau计算的离解能 $D_e = 2.777\text{eV}$ ,然后再考虑氢核的微小振动,得到 $0.14\text{eV}$ 的修正值,这样,离解能的准确值就是

$$D_e = 2.777 - 0.14 = 2.63(\text{eV})$$

和实验值一致。

CN分子的离解能较大,是 $7.6\text{eV}$ ,要用波长 $0.17\mu\text{m}$ 的真空紫外光才能将其离解。人体中许多氨基酸分子都有C—C键,它的离解能是 $2.8\text{eV}$ ,<sup>[3]</sup>相当于波长 $0.44\mu\text{m}$ 的紫外光所具有的能量,其它氨基酸分子键的离解能大致也是这一数量级。可见,要将分子离解,可以照射波长较短的光,如紫外或真空紫外光。这种通过光照使分子离解的过程称为光化反应或光化效应它在光化学中有着重要的地位,在化学工程和生物工程有着广泛的应用。

从上面讨论可知,如果将光谱划分成为红外—可见、可见—紫外两个区。则前者作用于生物机体时,主要是使生物体的蛋白质分子产生热运动即热效应,它有改善机体功能的作用后者作用于生物机体时,主要是使生物体的蛋白质分子产生离解即光化效应,它将破坏机体细胞使之失去活力,当用这种光照射病菌时,将起到杀死病菌的作用,可用于临床上的破坏性治疗。He-Ne(氦-氖)激光的波长是 $0.63\mu\text{m}$ ,属可见光的红光,它与机体发生作用时,含有上述两种功能而以热效应为主。

通过光化效应进行杀菌并不是新事物,早在激光发明之前,人们就用紫外线进行消毒,用的是紫外灯和阳光,虽然发光较弱,但因为照射的面积大,对进行大面积消毒有利,所以沿用至今。激光发明以后很快就有人进行这方面的试验,1966年,国外就做了用钕玻璃激光和氦氖激光照射阳性和阴性革兰氏菌的试验,发现了变性细菌(死亡细菌)。人的皮肤长时间暴晒会被太阳光中的紫外线致伤也说明紫外光和机体作用的道理。

目前,在科学技术先进的国家已经使用 $0.2\mu\text{m}$ 左右的真空紫外激光治病,如日本使用波长 $0.248\mu\text{m}$ 的氟化氪激光治病。美国使用波长 $0.173\mu\text{m}$ 的紫外光即准分子激光器发射的光束对病灶施行破坏性治疗、既杀菌又能将病灶击碎带走。激光照射治疗的另一有意义成果是治疗动脉硬化,将紫外光经光导装置引入动脉,在X光配合下对有粥样硬化的血管壁进行照射,使硬块组织在紫外光的作用下由紧密的组织变得松散,然后从血管壁脱落。美国的波士顿环球报在一篇文章中指出:“几乎所有的研究人员都认为,激光最重要的医疗用途是清除阻塞冠状动脉里的斑块的技术”。我国这方面的试验也在进行。

激光照射治疗技术的前景是广阔的,目前各地使用这方法治病的例子非常多,为这方面工作的研究提供了大量的素材。如使用不同波长的激光对不同的病菌进行照射,探讨最有效

的治疗手段,研究不同波段激光对人体皮肤的作用机理和渗透深度等,都是很有意义的工作。相信在不远的将来,激光照射治疗将会在祖国的医学宝库中占有重要的地位。

### 参 考 文 献

- 〔1〕钟海庆,红外光谱入门,化学工业出版社,(1984)。
- 〔2〕R.多代尔,化学键的量子理论,科学出版社,(1985)。
- 〔3〕Bueche, F.J., 物理学导论,人民教育出版社,(1981)。

## Therapeutic Mechanism of Laser Radiation

Jiang Hongzhong

### Abstract

This paper discusses the therapeutic mechanism of laser radiation. It shows that heat effect and actinic effect are of great importance wherever laser is used as a radiator to human body.