

激光在医学上的应用

T. F. Deutsch

近年来随着激光技术的发展和激光与机体组织之间相互作用认识的深入,激光在医学方面的应用有迅速的发展.其中有不少只是简单地把激光作为高亮度的光源,光束经过聚焦可使机体产生强烈的局部变热.而当激光用于切割或穿刺细胞时,则要利用激光的高度会聚性,以达到亚微米量级的精度.最初的兴趣多集中在利用聚焦的激光束凝结视网膜的血管以及切割机体组织等方面.纤维光学的发展使光纤把激光的能量有效地传递到人体内的适当部位.光纤与内窥镜观察系统相配合,可以对体内多种器官施行激光手术.染料激光器提供了可调谐的波长输出,选取能被血液强烈吸收的波长进行辐照,则可在临床上做到使血管产生选择性损伤.我们也可以把光敏染料导入体内后,通过选择性的光化学损伤去破坏肿瘤组织.目前,这种空间选择的光吸收技术已得到应用.激光和机体组织之间的非接触相互作用也已用于临床.例如在眼科中,已正式采用激光来治疗造成失明的几种眼疾,如老年性斑变,糖尿病引起的视网膜疾病和青光眼等.

1. 激光与机体组织之间的相互作用 机体组织中的氧合血红蛋白和黑色素是光谱可见区的吸收体,而对 200—350 nm 的紫外区,蛋白质和 DNA 是主要的吸收体.对于波长在 2 μm 以上的红外光,以水的吸收为主.因而在 600—1300 nm 的波长范围内形成了光学吸收小的一个透光窗口.这样波长的光可以穿透机体组织深达 1 cm 以上.该窗口的存在是由于在这个波长范围内,吸收体的电子跃迁变弱而水的红外吸收尚未变强.

散射和反射是影响机体组织内光的分布的重要因素.对于 2.5—10 μm 的红外光,吸收长度一般是 10^{-3}cm ,散射效果可以忽略.而在可见和近红外区,吸收可能相当弱,而散射则成了

主要因素.目前正在试图建立起激光进入机体组织之后,光的传输以及吸收激光后所产生的热效应和机械效应模型.

激光与机体组织之间的相互作用有几种类型,热相互作用是最通常的一种.在热相互作用的情况下,激光的辐射被吸收后,会引起机体局部变热.激光引发的光化学反应可用于杀伤肿瘤细胞,其机械效果可能是激光与机体相互作用所产生的预期结果,如光致断裂,也可能是机体组织在切除时所产生的辅助效应.虽然医学上大多数激光的应用是基于线性吸收的,但非线性耦合过程也有用于临床的.

机体组织不仅有其独特的变化形式,而且有些还具有空间不均匀的性质.此外,激光辐照所产生的生物学效应还和机体组织最初的机械的或热的状态有关.因此机体组织与通常所处理的材料是极不相同的.

2. 机体组织的切除 机体组织切除是多种激光外科手术的基础.它涉及到从蒸发到爆炸等多种切除形式.采用可见或红外激光的切除是一种热过程,也可能是通过与等离子体的形成有关的机制来切除的.而在采用脉冲紫外的准分子激光时,光化学过程将起重要作用.

由于机体组织内的 70—90% 是水,因此热切除可以近似地看作是水的蒸发(在体温温度下蒸发 1 cm^3 水需要 2500 J).利用脉冲激光作切除通常要涉及到水的过热,强烈的蒸发以及声波或冲击波的产生等更为复杂的现象.加热除了用于切割,还有可能造成存留的健康组织的热损伤.所以目前正在研究能降低这种损伤的激光及其辐照的条件.例如使辐照脉冲的宽度短于热弛豫时间,就可以把热损伤限制在一个光学吸收长度的区域之内.已经引起人们关注的 Er: YAG 激光器(工作波长 2.9 μm ,重复频率 10 Hz,单脉冲能量 1 J)的热损伤已能

局限在 10—30 μm 以内。短脉冲 CO_2 激光比连续的 CO_2 激光的热损伤要小。在 2.1 μm 下运转的 Ho: YAG 激光虽然只能穿透 0.5 mm, 但是用市售的二氧化硅光纤传输时, 可在脉冲或连续方式下工作, 且平均功率达 10W 以上, 用 193 μm 波长的紫外准分子激光做眼角膜切除术时, 刀口处的热损伤范围不会超过 1 μm 。193 μm 波长的光子具有 6.4 eV 能量, 这足以使大多数化学键破裂, 而且还能引起光化学过程和热过程。用准分子激光整形角膜来校准折射误差的方法, 正用于治疗近视和远视。还有人尝试用准分子激光、脉冲染料激光和连续的氩离子激光来切除阻塞动脉的脂肪化斑和钙化斑。石英光纤系统对传输波长为 351 nm 的 XeF 准分子激光和波长为 308 nm 的 XeCl 准分子激光是很适宜的。

3. 非切除过程 还有一些激光的临床应用并不是切除机体组织, 例如用激光局部加热法来凝血和封闭血管。进行功率低于 2W 的连续氩离子激光、氦离子激光和调谐染料激光均可对糖尿病引起的动脉血管的损伤进行光照凝血, 还可以用来封闭痣的表皮下扩张了的血管。因为血液中的氧合血红蛋白比覆盖其上的皮肤对某些可见光有更强的吸收, 所以这样加热不致于烧伤皮肤。用连续的氩离子激光治疗痣已有很好的疗效, 但是会留下些疤痕。若是改用 577nm 波长(位于血红蛋白吸收峰处)和 300 ns 脉宽, 可以减少血管以外的热扩散。

以等离子体为中介的激光过程已用于眼科手术和破碎肾结石、胆结石的治疗中。这个过程从激光导致的媒介物的光学破裂开始, 所产生的等离子体在吸收了激光的能量后膨胀, 然后发射出压力波并生成空腔或气泡。例如用调 Q 的 Nd: YAG 激光治疗白内障, 用 50—100 mJ、微秒量级脉宽的蓝-绿光的脉冲染料激光来破碎结石等。时间分辨光谱技术也已用来研究上述过程中光纤和结石界面处的光闪烁。在激光脉冲过后, 用光学多道分析器可以在不同时刻获得一系列光谱图。通过拍摄时间分辨的照片, 可以看到在各个不同时刻下的结石状态:

从激光能量被结石表面的等离子体吸收, 到结石被冲击波或是膨胀了的等离子体产生的空腔所破碎的全过程。

4. 光化学过程 光动力学疗法是一种以光化学过程为基础的杀伤细胞或肿瘤的技术。它采用染料作为光敏物。血卟啉 (HPD) 是被广泛研究过的一种光敏系统, 它可以被机体内的实体肿瘤滞留住。当再用 630 nm 激光照射该部位时, 由于这样波长的辐照被血卟啉吸收而使皮肤呈相对透明。这种染料的荧光效率较低, 吸收掉的光能量大部分通过碰撞转移给机体组织中的氧分子, 导致氧分子的激发形式——“单价氧”的生成。它可以对生物物质起破坏作用。这个方法的临床试用主要集中在治疗肺癌、食道癌、皮肤癌及早期膀胱癌等方面, 这些肿瘤的位置都比较浅。对较深部位的肿瘤一般要用光纤把光传递到肿瘤所在的部位。调谐的 TiAl_2O_3 固体激光器(660—1100nm)以及半导体二极管阵列激光器(800 nm)等新技术成果的出现, 进一步推动了这种治疗方法的发展。

5. 光学诊断 激光不仅用于治疗, 还可作多种诊断。根据激光感生的荧光光谱的不同, 可分辨出正常与不正常的机体组织。活体组织总是十分复杂的, 往往需要做大量的样品光谱分析才能作出判断。飞秒 (10^{-15}s) 脉冲的光学测距技术也已用于测定皮肤成分的厚薄以及准分子激光切除角膜的深度, 可分辨到 5 μm 。

此外可利用红外遥感技术来作脉冲式的光热辐射的度量。用 1 μs 脉宽的染料激光瞬时加热样品, 用快速 HgCdTe 红外探测器接收 10 μm 处的黑体辐射信号, 由此可以获得样品吸收系数的数据。这种技术用来测量那些难于切成薄片的生物物质的光学吸收, 这样的脉冲式光热辐照测量可以当成激光系统的一部分, 不仅能感觉辐照后的样品温度, 并能调整辐照的条件, 这样就使切除或凝血时所需要的温度得以维持。因为这种测量进行得足够快, 所以可以实现温度的实时反馈和控制。

(侯毓兴根据 Physics Today 1988 年
第 10 期第 56—63 页编译)