

MEDICAL PRINCIPLE AND CLINICAL APPLICATION OF SKIN LASER

皮肤激光医学 原理及临床应用

主 编 王宏伟 王根会 王家璧



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

皮肤激光医学

原理及临床应用

主 编 王宏伟 王根会 王家璧

副主编 黄文慧 郑树茂

编 委 刘 勇 寇晓丽 杜紫微 岳学苹
叶婷婷 张 舒 朱 莉 陈 林
王俊杰 赵永亮 杨 晶

人民卫生出版社

图书在版编目(CIP)数据

皮肤激光医学原理及临床应用/王宏伟,王根会,王家璧
主编. —北京:人民卫生出版社,2018

ISBN 978-7-117-26088-6

I. ①皮… II. ①王…②王…③王… III. ①皮肤病-
激光疗法-教材 IV. ①R751.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 027677 号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

皮肤激光医学原理及临床应用

主 编:王宏伟 王根会 王家璧

出版发行:人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址:北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编:100021

E-mail: pmph @ pmph.com

购书热线:010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷:北京顶佳世纪印刷有限公司

经 销:新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:15

字 数:365 千字

版 次:2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号:ISBN 978-7-117-26088-6

定 价:120.00 元

打击盗版举报电话:010-59787491 E-mail: WQ @ pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

前 言

光是世界上最伟大的元素,没有光就没有世界,没有我们人类,光与我们的生活息息相关。

随着现代物理学和医学的发展,人们对光作用于人体的机制有了较为清晰的认识。正是因为这些作用,使得光被我们用来改善人类的健康状况。

激光是 20 世纪与原子能、半导体及计算机齐名的四项重大发明之一,它为人类提供了高亮度相干光,激光发明以来,光学的应用领域发生了巨大的变化,将古老的光学技术带入到崭新的时代,开拓出一系列前所未有的研究和应用领域,出现了许多传统光学无法实现的新技术及新应用。

皮肤科相关医务人员在应用新的激光技术所带来的不断扩展的诊疗范围和确切疗效的同时,也需要了解光学、激光的一些基本原理,基础知识,基本概念,这样才能对这项近十几年来在皮肤科的应用得到飞速发展的新技术有一个全面的理解。

本书由光与皮肤及皮肤疾病,激光,激光医学,皮肤激光医学四个篇章构成,比较全面地介绍了光学及激光的相关基础知识;光、激光对皮肤及皮肤疾病的生物作用机制;医学激光器的发展历程;介绍了各种激光器的工作原理及在皮肤科领域的临床应用,对理解、研究、应用这项技术具有指导意义。

当前,激光技术本身在不断地发展,其概念和技术的更迭日新月异。皮肤激光的应用还处在发展阶段,新的激光光源被发明,更多波长、更短脉宽的、不同输出方式的新的皮肤激光器不断涌现,皮肤激光的性能也随之改善与提高,新的应用领域也被进一步拓展。期待在未来再版时予以补充。

王宏伟

中国医学科学院北京协和医院

2018 年 5 月

目 录

第一篇 光与皮肤及皮肤疾病

第一章 光学特性	3
第一节 光的波动性	3
第二节 光的微粒说	4
第二章 光学特性基本原理	6
第一节 反射和折射	6
第二节 散射	7
第三节 吸收	8
第三章 常见光源	10
第一节 自然光源	10
第二节 人造光源	11
一、火光源	11
二、电光源	12
第三节 光源的亮度	16
第四章 组织中的光传输	18
第一节 蒙特卡罗模拟	18
第二节 库贝尔卡-蒙克理论	20
第五章 生物光谱分析技术	21
第一节 吸收光谱	21
第二节 荧光光谱	22
一、荧光物质	22
二、荧光光度法	23
三、荧光光度仪	26
四、荧光光谱的应用	27

第三节 拉曼光谱	29
一、拉曼散射	29
二、拉曼光谱的基本原理	30
三、拉曼光谱的特点	31
四、拉曼光谱仪	31
五、拉曼光谱的应用	32
第四节 红外光谱	34
一、红外光谱的发展	34
二、红外光谱的基本原理	34
三、红外光谱的特点	36
四、红外光谱的应用	36
第六章 光与皮肤	38
第一节 光生物学的基本原理	38
一、日光	38
二、人造光源	42
第二节 紫外线辐射到正常皮肤的作用	45
一、紫外线辐射对皮肤细胞的分子及遗传学效应	45
二、皮肤中的分子对紫外线和可见光的吸收	45
三、紫外线的急性皮肤反应	47
四、紫外线对皮肤的慢性作用:光老化及光致癌	50
五、紫外光免疫学	53
第七章 光与皮肤疾病	56
第一节 免疫介导的日光性皮肤病	58
一、多形性日光疹	58
二、慢性光化性皮炎	60
三、日光性荨麻疹	63
第二节 药物及化学物诱导的光敏感	65
一、外源性:药物及化学性光敏性皮炎	65
二、内源性:皮肤卟啉病	69
第三节 DNA 修复缺陷性光线性皮肤病	72

第二篇 激 光

第八章 激光的基本概念	81
第一节 激光的定义和激光产生的基本原理	81
一、原子的结构	81
二、原子的能级	82

三、发光的机制	82
第二节 自发辐射、受激辐射和受激吸收	82
一、自发辐射	82
二、受激辐射	83
三、受激吸收	83
第三节 激光产生的条件	84
一、受激辐射光放大	84
二、激活粒子的能级系统	84
三、光的自激振荡	85
 第九章 激光的特性	87
第一节 高方向性	87
第二节 单色性	88
第三节 高亮度	89
第四节 相干性	89
 第十章 激光器的基本组成	91
第一节 激光器的基本组成	91
第二节 激光的工作物质	92
第三节 泵浦源	92
第四节 光学谐振腔	93
第五节 激光的输出	94
第六节 激光器的分类	95
一、按照激光工作物质分类	95
二、按照激光器工作方式分类	97
 第十一章 典型激光器	99
第一节 固体激光器	99
一、固体激光器的基本结构和泵浦方式	99
二、掺钛蓝宝石激光器	101
三、调 Q 激光器工作原理	102
第二节 气体激光器	103
一、二氧化碳激光器	104
二、准分子激光器	105
第三节 染料激光器	106
第四节 半导体激光器	108
第五节 光纤激光器	108

第三篇 激光医学

第十二章 医学激光的发展、原理及应用	113
第一节 激光医学的发展简史	113
第二节 激光医学的特点	114
第十三章 激光的计量	117
第一节 物理剂量	117
第二节 生物剂量	118
第三节 激光的主要参数	118
第十四章 激光的生物医学作用机制	121
第一节 生物组织的光学特性	121
一、皮肤的光学性质	121
二、眼的光学性质	123
第二节 激光的生物医学作用	125
一、热作用	125
二、光化学作用	127
三、压强作用	128
四、电磁场作用	129
第三节 弱激光的生物刺激及其作用	129
第十五章 激光的防护	133
第一节 激光对机体的损伤及阈值	133
一、激光对眼的损伤及阈值	133
二、激光对皮肤的损害	136
三、激光对神经的损伤	137
第二节 激光器危害程度分级	137
第三节 激光的安全防护	138
一、激光防护安全标准	138
二、激光安全管理措施	139
三、激光防护眼镜	143
第十六章 激光临床治疗基础	147
第一节 激光手术治疗	147
一、激光手术的特点	147
二、激光手术的基本方法	147
三、激光手术的适用范围	149

第二节 激光血管内照射疗法	150
第十七章 激光在医学生物学中的典型应用	151
第一节 概述	151
第二节 激光在医学生物学的应用	151
一、光学相干层析成像(OCT)在皮肤科的应用	151
二、飞秒激光治疗近视	155
三、无创伤人体血氧饱和度检测	156
四、激光牙钻	158
五、激光诱导荧光检测技术	158
六、光镊技术	164
七、激光在基因转染和基因治疗中的应用	167
八、激光扫描共聚焦显微镜	169
 第四篇 皮肤激光医学	
第十八章 激光与皮肤组织关系	177
第一节 光物理学	177
第二节 光化学反应	179
第三节 热对皮肤组织的作用	180
一、热对皮肤组织的影响	180
二、热对皮肤的损伤	181
三、热变性和凝固	187
四、汽化、组织蒸发和炭化	187
五、热刺激与胶原增生	188
第四节 选择性光热作用原理	189
第五节 扩展的选择性光热作用理论	195
第六节 局灶性光热作用	198
一、局灶性光热作用原理	198
二、激光和组织相互作用	199
第七节 皮肤组织介绍	201
一、皮肤结构介绍	201
二、皮肤的物理功能	208
第十九章 皮肤激光器介绍	211
第二十章 皮肤激光治疗的安全性与防护	219
第一节 治疗室布局	219
第二节 治疗中注意事项	219
第三节 激光器和电器使用规范	220

一、色素性、血管性皮肤病的治疗常规	220
二、激光脱毛质量控制常规	220
三、皮肤除皱治疗常规	221
四、激光治疗性病(尖锐湿疣等)操作常规	221
第二十一章 皮肤激光发展趋势前瞻	222
第一节 激光器发展趋势	222
第二节 激光医学发展展望	223
第三节 皮肤激光发展方向	223
第四节 现有激光治疗皮肤疾病疗效与安全性评价汇总	224

第一篇

光与皮肤及皮肤疾病

第一节 光的波动性

第一章 光学特性

世间万物的生存离不开光。光究竟是什么？人类对光的本质的认识经历了一个漫长的过程。光学是一门最古老的物理学的分支之一,光的本性问题一直是人们十分关心和热衷探讨的问题。自 17 世纪以来,随着科学技术的发展,关于光的本质的争论达到了空前激烈的程度,也就是物理学史上著名的光的微粒说与波动说之争。

第一节 光的波动性

至 17 世纪,光的本性的研究基本上形成了两种学说,一种是波动学说,这种学说的代表人物是荷兰物理学家克里斯蒂安·惠更斯(Christiaan Huygens),1690 年在他的著作《轮光》中把光的传播方式和声音在空气中的传播作比较,指出了光是一种波动,而且认为是与声波、水波一样的球面波。波动光学是光学中非常重要的组成部分,内容包括光的干涉、光的衍射、光的偏振等,无论理论还是应用都在物理学中占有重要地位。粒子在光场或其他交变电场的作用下,产生振动的偶极子,发出次波。用这种模型来说明光的吸收、色散、散射、磁光、电光等现象,甚至光的发射也是一般波动光学的内容。电磁波理论应用到晶体称晶体光学。光波波长约为 $(3.9 \sim 7.6) \times 10^{-7} \text{ m}$,一般障碍物或孔隙都远大于此,因而通常显示出光的直线传播现象。同时,惠更斯还从理论上总结出光波传播的普遍规律,提出了著名的“惠更斯原理”(Huygens principle):波源发出的波阵面上的每一点都可视为一个新的子波源,这些子波源发出次级子波,其后任一时刻次级子波的包迹决定新的波阵面。惠更斯原理用光的波动性能确定光波的传播方向,但不能确定沿不同方向传播的光振动的振幅。运用这个原理,惠更斯不但成功地从理论上解释了光的反射和折射规律,而且还解释了方解石发生的双折射现象。

光的波动说虽然取得一些成功,但还存在一些难以解释的问题。比如躲在门背后的人他能够听到发生在门外面的声音,这显示声波是能够绕过门而传播的,如果光是一种波动,它也应该有这种性质,即躲在门后面的人也能够看见门外的人和物,但实际上是看不到的。其次,光束是直线传播的,光的波动说也无法给出合理的解释。还有,由于惠更斯等认为光波和声波一样是一种纵波,因此无法解释光的偏振现象;而且惠更斯提出的波动实际上只是一种脉动而不是一个波列,也没有建立起波动的周期性概念。因此,用此理论还无法解释光颜色的起源等一些基本光学问题。

能够解释惠更斯波动理论存在的这些问题,并且能够说明光波是什么性质的波动的是 19 世纪英国物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell,1831—1879)。

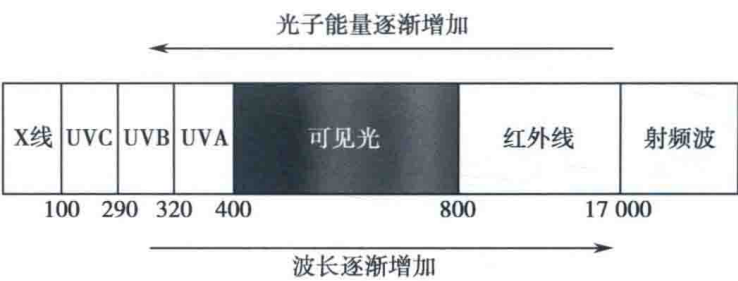


图 1-1-1 电磁波谱

麦克斯韦通过对电磁波现象的研究,建立了电磁学,提出了电磁波的概念,由理论上推断出电磁波的传播速度与光的传播速度相同。因此,他认为光波是一种电磁波。到 1888 年德国物理学家 HR 赫兹(Heinrich Rudolf Hertz)在实验室中证实了电磁波的存在,并测量了电磁波传播速度。接着他又证实电磁波的振动性及它的反射、折射、衍射等特性与光波相同,肯定了光的电磁波性质,是属于在一定频率范围内的电磁波,明确了光波的本质,同时给出其特征参量,主要有周期(时间周期)T、光波频率 ν (或者圆频率 ω)、光波波长(空间周期) λ 、波数 κ 、光波传播速度 c、光波强度以及光波电场强度。光波的周期、频率、波长以及波数之间的关系是

$$T=1/\nu=2\pi/\omega=\lambda/c=2\pi/ck$$

各种波长的电磁波中,能为人眼所感受的是波长 400 ~ 760nm 的窄小范围电磁波(图 1-1-1)。对应的频率范围是:

$$\nu=(7.6\sim4.0)\times10^{14}(\text{Hz})$$

这段内的电磁波叫可见光。在可见光范围内,不同频率的光波引起人眼不同的颜色感觉(表 1-1-1)。

表 1-1-1 颜色知觉与波长范围

颜色	波长 (nm)	颜色	波长 (nm)
红	700 ~ 610	绿	570 ~ 500
橙	610 ~ 590	蓝	500 ~ 440
黄	590 ~ 570	紫	440 ~ 400

由于光的频率极高($10^{12} \sim 10^{16}$ Hz),数值很大,使用起来很不方便,所以通常采用波长表征,光谱区域的波长范围约在 1 ~ 10nm。

第二节 光的微粒说

与光是波动的说法相反,以英国物理学家牛顿为代表的一些科学家提出光是一束微粒,这便是历史上所说的微粒说。牛顿在 1704 年出版《光学》一书中提出光是微粒流的理论,认为光是由微粒组成的,光的直线传播是其最好的例证。光是一群从光源发射出来的微粒,很

容易说明光是直线传播的道理。抛射出去的小球由于受到地球重力的影响,在空中飞行的路径是弯曲的,但是,如果抛出去的小球飞行速度越快,它的飞行路径弯曲程度就越小,越接近一条直线。可以想象,如果组成光束这群微粒的运动速度很高,它们运动的路径将会是一条直线。

光束反射现象和光的色散现象也支持光的微粒说。1672年,牛顿的论文《关于光和色的新理论》中谈到他所作的光的色散实验;让太阳光通过一个小孔后照在暗室里的棱镜上,在对面墙壁上会得到一条彩色光谱。他认为,光的复合和分解就像不同颜色的微粒混合在一起又被分开一样。在这篇论文里他用微粒说阐述了光的颜色理论。

但是,微粒说仍无法解释这样的一些现象:几束光交叉在一起彼此互不影响,均保持原来的传播方向不变。如果光是一群微粒的话,它们在相交的地方为什么不发生互相碰撞?为什么它们相交之后还能够各自保持原来的方向继续传播?其次,不同颜色的光束发生折射的角度不同,如绿色光束比红色光束的折射角小,为了解释这个事实,就得假设绿色光微粒比红色光微粒更容易受物质吸引,这比较难以让人信服,特别是根据牛顿的万有引力定律推理,光在密度大的物质中传播的速度应该比较大,而实际测量的结果刚好相反。

直到20世纪初德国著名科学家爱因斯坦(Albert Einstein)提出的光量子,才比较好地回答了上述这些问题,同时也清楚了光微粒的本质是能量子,而不是通常所说的微粒子。爱因斯坦运用光量子说(全新意义上的微粒说)把光电效应解释得一清二楚。但是,爱因斯坦并没有抛弃波动说,而是把二者巧妙地结合在一起,并辩证地指出:“光——同时又是波,又是粒子,是连续的,又是不连续的,自然界喜欢矛盾……”,这一思想充分体现在他的光量子理论的两个基本方程 $E=h\nu$ 和 $p=(h/\lambda)$ 中,把粒子和波紧密地联系在一起。

第二章 光学特性基本原理

光在传播过程中碰到物质后会发生的几种现象:反射、折射、散射、吸收。

第一节 反射和折射

光在一种给定折射率的物质中传播,当传输到另一种不同折射率物质的交界面时,光的传播路径将发生改变。与边界或边界曲率相比,如果波长足够小,将会引起反射和折射现象,如图 1-2-1。光发生折射还是透射的几率取决于两种介质的折射率、入射角和辐射的偏振度。



图 1-2-1 光的反射

光传播中入射角和折射角的关系由已知的斯涅耳定律给出,即

$$\sin\theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin\theta_1 \quad (1)$$

式中, θ_2 为折射角; n_1 和 n_2 分别为两种介质相应的折射率。

光强反射率 R 是对反射辐射量的度量。它定义为反射光强度占入射光强度的百分比,由式(2)表示:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (2)$$

而对于穿透界面的光强透射率 T ,则表示为:

$$T = 1 - R = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (3)$$

第二节 散 射

当把弹性约束的带电粒子置于电磁波中,粒子就处于由电场引起的运动中。若波的频率与粒子自由振动时的固有频率相等,就会发生谐振。波的频率与粒子的固有频率不相等时才会发生散射。在散射中根据是否有部分入射光子的能量被转化,将散射分为弹性散射和非弹性散射,首先考虑弹性散射。

在弹性散射中,入射光子与散射光子的能量相同。一类特殊的弹性散射称为瑞利散射(图 1-2-2)。

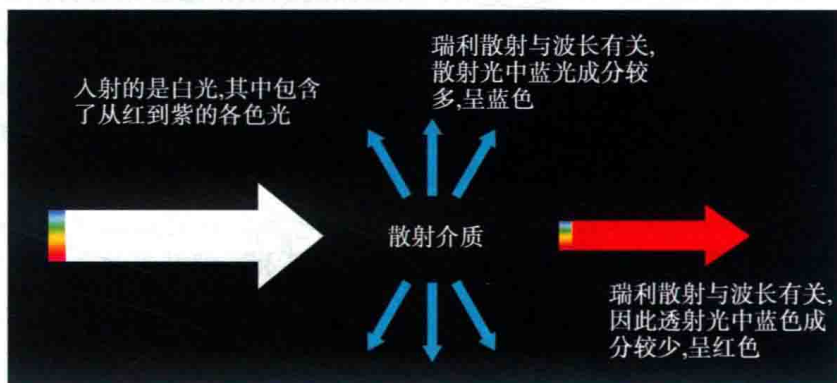


图 1-2-2 瑞利散射

一个平面电磁波照射到一个总厚度为 L 的薄散射介质上,某一特定的时间入射波的电场可以表示为:

$$E(z) = E_0 e^{ikz}$$

式中, E_0 为入射电场的振幅, k 为传播矢量的值, z 为光轴。

具有厚度 L 的薄介质所造成的散射强度正比于散射系数 a_s 和 L , 即

$$I_s \sim a_s L \quad (4)$$

在光轴上 z 处的复振幅可以通过把所有散射球面波的振幅叠加到入射平面波的振幅上来获得

$$E(z) = E_0 \left(e^{ikz} + L \sqrt{a_s N 2\pi} \int_z^\infty e^{ikR} dR \right) \quad (5)$$

如果考虑到散射 θ , 更为详细的表达为

$$I_s(\theta) \sim \frac{1 + \cos^2(\theta)}{\lambda^4} \quad (6)$$

当 $\theta=0$ 时, 表示前向散射。

瑞利散射是一种弹性散射, 即散射光和入射光有相同的 k 和 λ 值。一些最重要的非弹性散射称为布里渊散射 (Brillouin scattering) 拉曼散射 (Raman scattering)。