

国际经典美容皮肤科学丛书

丛书主编 Jeffrey S Dover 丛书主译 虞瑞尧

主 编 David J. Goldberg MD JD
主 译 周展超



ELSEVIER
SAUNDERS

(上册)

激光与光

——美容皮肤科实用技术

Laser and Lights (Volume 1)

 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

国际经典美容皮肤科学丛书

激光与光

——美容皮肤科实用技术（上册）

Laser and lights (Volume 1)

主 编

David J. Goldberg MD JD

新泽西，纽约和新泽西皮肤激光及外科专家

美国，纽约，Fordham 法学院法律联合教授，新泽西 UMDNJ 医学院皮肤科临床教授及皮肤外科主任，Mount Sinai 医学院皮肤科临床教授和激光研究与 Mohs 外科主任

丛书主编

Jeffrey S. Dover MD FRCPC

美国 耶鲁大学医学院 临床皮肤科学副教授；达特茅斯医学院主任 皮肤科学医学副教授

丛书副主编

Murad Alam MD

美国 西北大学皮肤科学系皮肤及美容外科分系主任

主 译

周展超

中国医学科学院皮肤病研究所 医学博士、主任医师

 **人民军医出版社**
PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

图书在版编目(CIP)数据

激光与光:美容皮肤科实用技术.上册/(美)戈德堡(Goldberg,D.J.)主编;
周展超译.一北京:人民军医出版社,2007.8

(国际经典美容皮肤科学丛书)

ISBN 978-7-5091-1094-2

I. 激… II. ①戈…②周… III. ①美容—激光疗法②皮肤病—激光疗法
IV. R622 R751.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 101088 号

策划编辑:王 宁 周 垒 文字编辑:顾 森 责任审读:黄栩兵

出 版 人:齐学进

出版发行:人民军医出版社

经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

电话:(010)66882586(发行部)、51927290(总编室)

传真:(010)68222916(发行部)、66882583(办公室)

网址:www.pmmp.com.cn

印刷:北京印刷一厂 装订:桃园装订有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:9.75 字数:227 千字

版、印次:2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001~3000

定价:188.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

电话:(010)66882585、51927252

内容提要

本书着重论述了激光与光在美容皮肤科学中的国际经典实用技术。概述了激光和光与组织的相互作用等基础知识，并分别详细介绍了血管性疾病、腿部静脉疾病、色素性疾病和文身、瘢痕、光化性角化病和非黑色素瘤性皮肤癌、痤疮、银屑病的治疗策略、治疗技术和副作用、并发症的处理以及有经验的从业人员的治疗技巧等，并对冷却与疼痛和六种冷却策略的优缺点、并发症、最优化方案，以及麻醉的处理都作了详细讲述。全书结构循序渐进，内容实用性强，版式图文并茂，作者队伍学术权威性高，是美容皮肤科专业医师了解、提高此项业务水平的必备图书。

总 序

自本专业建立以来，备受青睐的皮肤病专家们在近 25 年中给该领域带来了长足发展。冷冻切除术和 Mohs 皮肤肿瘤外科手术黄金时代的出现，促成了外科与皮肤科的真诚合作。皮肤科微创操作技术的最新突破，又为改善老龄人群受损的皮肤提供了新的选择。

皮肤及其邻近组织的“返老还童”手术一向为患者所追求，而现今皮肤科的先进设备、技术和药物的发展速度令人震惊，皮肤病学家发明并拓展了包括皮肤全层激光、肉毒毒素、软组织填充、肿胀麻醉抽脂、腿静脉治疗、化学剥脱和毛发移植等新技术，他们不仅掌握这些技术，而且对皮肤的结构、功能及其作用十分清楚。美容皮肤科专家们通过增加手术的安全性，减少手术损伤的方法，使那些顾虑重重的患者看到了返老还童的曙光。还没有一个专科能像皮肤科那样，通过皮肤外科手术就能完全满足患者的需求。

当皮肤病学发展为一门专科时，皮肤病学专家的不断增加将有利于各种美容操作的掌握。不能要求每个皮肤病专家能做所有的手术，有的甚至做得很少，但即使很少，也应该精通、熟练，以便给予患者必要的指导。您是皮肤外科的一名好手吗？您有兴趣拓展您的外科技能吗？对想学一些简单的美容技能的您来说，这套丛书几乎是为您设置的。

该系列丛书定名为“国际经典美容皮肤科学丛书”，其中每一本作为实践的入门书，都涉及皮肤美容操作的主要命题。

如果您想证实您所得到的书确实是您早就期盼的，您必须弄清这套书的内容。其实这些书并不是具有高深理论的综合性教科书，更不是建立在全世界有关文献基础上的公允综述。同时，也不是美容操作的一般评论，而是偏重于具体操作方法的描述，以保证您对这些方法的实施。因此，这是一本简单实用的工具书。

这本书和这套系列丛书为初学者实施皮肤外科手术提供了渐进式的实践指导，其中的每一分册均由相关领域的知名学者审读、编辑，而且每一位编者还对实践细节、技巧要领、临床传授做了新的补充并写入相关章节。多数章节有两位作者，以保证不同方法和不同意见的融合。另外，两位作者与编者保持步调一致。每章均使用统一名词，以便于读者对该系列丛书中的所有书籍的阅读。书中，作者们简要的叙述就像他们自己在做一样。这里强调的是治

疗技术；治疗方法则着眼于适应证、不良反应和不常见的病例。而且，本书篇幅很短，甚至可在旅途的飞机上阅读。我们相信，简短反而能导致更多信息的传递，也便于您自始至终的掌握。

我们希望您能喜爱这本书和本丛书中的其他分册，并得益于几小时对这些来自经典的临床知识的阅读。请将它们放在您的手边，在您需要的时候能翻阅。

Jeffrey S. Dover MD FRCPC and Murad Alam MD

(王荫椿 译)

丛书主译者序

近 20~30 年来,美容皮肤科学(cosmetic dermatology)在全世界范围内获得了突飞猛进的发展。爱美之心人皆有之,随着生活水平的不断提高,越来越多的人追求形体美、形象美、曲线美,以活得美丽、潇洒。爱美已不是年轻人的专利,连老年人也对延缓衰老,永葆青春梦寐以求,成为“美容皮肤科学”迅猛发展的无限动力。现代科学技术为“美容皮肤科学”的长足进步打下了坚实的基础。为了更好地实现人们“青春永驻”、“青春不衰”的美好愿望,有悠久历史的美国 ELSEVIER 医学图书出版公司组织了一批世界著名专家、教授们撰写了一套“国际经典美容皮肤科学丛书”(Procedures in Cosmetic Dermatology)。这一套丛书有 12 个专题,13 个分册,包括肉毒毒素、软组织填充剂、功效性护肤品、激光和光疗——美容皮肤实用技术、光动力学疗法、脂肪抽吸术、瘢痕治疗、化学剥脱术、毛发修复术、腿部静脉、睑成形术和面部除皱术,基本上涵盖了美容皮肤科学的所有内容。这套丛书从 2005 年开始出版,已发行了 5 个专题,6 个分册。还有 7 个专题在 2006 年后相继出版。这套丛书的主编是 Jeffrey S. Dover, 副主编是 Murad Alam。每个专题由该领域最负盛名、顶尖级的专家、教授主笔撰写,至少有 2~5 位专家、教授协同完成。本丛书以临床实际操作为主,在阐明基础理论的前提下,讲解具体操作,讲得非常细致到位。他们把自己的经验、体会和心得点点滴滴地写入书中,让您读得懂,读得明白,只要照着去做一般不会出错,而且能获得成功。丛书中的每本书中均配有主题突出、高质量的图,一目了然。而且每一本都不太厚,便于随身携带、查阅。本套丛书深入浅出,既有科学性,又有可读性和可操作性;可以说是 21 世纪初期极具权威性关于美容皮肤科学的高级专业丛书,是美容皮肤科医师和其他有关学科医师的必备参考书。

人民军医出版社已有 50 余年历史,出版过许多有分量的好书,是一个享有盛誉的出版社。通过他们与 ELSEVIER 医学图书出版公司多次地、反复地卓有成效地接触、商谈,终于取得了这套丛书在中国的翻译、出版权。随后,组织了国内美容皮肤科学各个领域作出卓有成效、造诣较深的专家、教授、研究员在前期工作的基础上进行翻译。每本书设主译 1 名,他们是该领域的领军人物,另有 3~5 位专家、教授协同翻译,以保证质量。通过全体参与本丛书翻译的专家、教授们认真负责、一丝不苟地翻译,仔细切磋,严谨的三校才得以付梓印刷。为

保证图文并茂，保证图的质量，人民军医出版社寻找水平高、技术新、质量好的印刷厂承印。这些都充分体现了人民军医出版社在为读者服务，为读者献好书的良苦用心。

这套丛书得以及时顺利地出版，首先要感谢 ELSEVIER 医学图书出版公司的大力合作。同时，我们也要感谢参加翻译本丛书的所有学者们所付出的辛勤劳动。要知道我国有 200 万人从事医务工作，而精通中文的华人医师遍布世界各地，他们也会阅读这套丛书，这是多么庞大的读者群啊！而那些追求美的读者也会到书店去购买这套丛书，从中受到启发。再次感谢人民军医出版社为引进这套丛书翻译、出版所作出的努力，以及在校对、印刷、装帧等方面所做的大量工作。再次感谢被邀请到的国内各个课题的主译者及译者们。感谢这些治学严谨、极富热情、一丝不苟的同道们，在百忙中挤出时间来翻译、校审。正是他们的努力才有可能把国外最先进的美容皮肤科学知识完整地介绍给国内同道们。

因为这套丛书分册多，涉及面广，有些业务在国内还没有开展，如“腿部静脉”，加上如此巨大的工程，又是第一次运作，缺乏经验，书中的错误之处，欢迎大家批评指正，以便在下次印刷时予以纠正。虽然我们尽可能地按照“医学名词”的要求对科学术语进行了统一，但由于本丛书的内容较新，许多科学术语在《医学名词》中尚未收录。因此，在翻译中我们尽量采用国内公认、意见比较一致的科学名词。对尚在计划出版中的几本原版书，我们将采用跟进措施，尽量缩短时间差，及时完成全套丛书的翻译、出版工作。预祝中外美容皮肤科学同道们精诚团结，共同合作，圆满完成重任。预祝本丛书能得到广大读者们的好评，能使读者获得有益知识和技术。我们将感到非常欣慰。

丛书主译 虞瑞尧

2007 年 2 月于北京

前言

1983年 Anderson 和 Parrish 在《科学》杂志 (*Science*) 发表了他们的选择性光热作用原理 (selective photothermolysis, SPTL) 的概念。选择性光热作用原理使激光医学和皮肤病学出现了革命性改变。这个新的概念解释了为什么医师能使用激光来安全而有效地治疗鲜红斑痣。SPTL 也带动了特异激光的发展, 如染料激光, 它用于治疗特异的皮损, 如儿童的鲜红斑痣。这一理论也被应用于发展很多其他的有效治疗方法用于解决皮肤问题的治疗, 包括文刺、良性色素性皮损和对多余毛发的脱除。对 SPTL 的阐述解释了热损伤局限于治疗的组织内, 而同时最大程度地减少了对周围非靶位组织的热损伤。这些都是通过选择合理的光波长、特异色素吸收、在合理的脉冲宽下释放能量来达到的, 这就是所谓的热弛豫时间 (TRT), TRT 取决于靶物质大小。

正是这个基本的激光物理在这短短 20 年的时间里改变了皮肤科激光治疗。这个领域的广阔使得我们必须用两册内容来叙述皮肤激光外科, 每一章都是一个特别的内容。全书共 17 章, 为初级和经验丰富的激光医师介绍了使用皮肤激光的日常临床实践。合理的患者筛选和激光的选择是非常重要的。本书着重介绍了治疗的方案、适应证和治疗禁忌, 也介绍了一些高端的治疗内容。所有章节都包含特别挑选的进一步的示教和临床图片, 很多章节都有非常有帮助的治疗录像。

本书章节从讨论激光组织的相互作用开始, 随后的章节讨论激光治疗血管、腿部静脉、色素性皮损和文刺、瘢痕、痤疮以及银屑病, 最后一章讨论独特的麻醉和皮肤冷却。

《激光与光—美容皮肤科实用技术》是一本完整的激光作用于皮肤的应用指导。

David J. Goldberg, MD

译者名单

主 译

周展超 中国医学科学院皮肤病研究所 医学博士、主任医师

丛书主译

虞瑞尧 解放军总医院皮肤科 主任医师

译 者 (按书中首次出现的顺序)

李 光 中国医学科学院皮肤病研究所 硕士研究生

周展超 中国医学科学院皮肤病研究所 医学博士、主任医师

刘建航 上海交通大学医学院附属第九医院皮肤科 医学硕士、主任医师

林 彤 中国医学科学院皮肤病研究所 医学博士、副主任医师

卢 忠 复旦大学附属华山医院皮肤科 医学博士、副主任医师

陈向东 上海交通大学医学院附属第九医院皮肤科 副主任医师

目 录

- 1 激光与光－组织相互作用 /1
 - 发展史 /1
 - 激光的概念和特征 /1
 - 各类激光 /2
 - 组织光学 /4
 - 光－组织相互作用 /4
 - 组织冷却 /6
 - 光与组织相互作用的临床相关性 /6
- 2 血管性疾病 /11
 - 引言 /11
 - 血管性疾病（血管瘤和鲜红斑痣） /13
 - 静脉畸形 /19
 - 面部毛细血管扩张 /20
 - 其他血管性损害 /23
 - 副作用、并发症以及高级论坛 /25
 - 结论 /25
- 3 腿部静脉 /27
 - 引言 /27
 - 治疗策略 /29
 - 高级论坛：有经验从业人员的治疗技巧 /35
 - 小结 /37
- 4 色素性疾病和文身 /41
 - 引言 /41
 - 治疗策略 /54
 - 治疗技巧 /58
 - 高级论坛（advanced topic）：有经验从业人员的治疗技巧 /64
- 5 激光治疗瘢痕 /67
 - 引言 /67

治疗策略 /69

治疗技巧 /71

6 治疗光线性角化病和非黑色素瘤性皮肤癌 /75

引言 /75

治疗策略 /82

治疗技巧 /84

高级论坛：有经验从业人员的治疗技巧 /88

7 痤疮 /91

引言 /91

常见的治疗方法和原理 /93

结论 /101

8 银屑病 /105

引言 /105

治疗策略 /115

治疗技巧 /116

结论和其他选择 /125

9 冷却 /127

引言 /127

冷却的目的 /127

冷却方法 /128

冷却的应用 /130

冷却与疼痛 /131

六种冷却策略的优缺点概述 /132

冷却的并发症 /133

冷却的最优化方案 /133

10 麻醉 /137

引言 /137

局部麻醉 /137

局部注射麻醉和面神经阻滞 /138

全身用药 /139

麻醉方案的选择 /140

小结 /140

激光与光 - 组织相互作用

Richard J. Barlow, George J. Hruza

发展史

第一台有意义的激光器是 1960 年由 Maiman 引入临床的, 它包括一根红宝石棒并能发射波长为 694nm 的激光。随后, 很重要的激光也陆续应用于临床, 这就是 1961 年的钕: 钇 - 铝石榴子石激光 (neodymium: yttrium-aluminium-garnet laser, Nd: YAG) 激光, 1962 年的氩激光 (argon), 1964 年的二氧化碳 (CO_2) 激光。1965 年 Goldman 报道使用红宝石激光有效去除文身而治疗后的瘢痕非常轻微。之后, 应用 Nd: YAG 激光来消除文身及治疗表浅血管畸形。20 世纪 70 年代中期, 氩激光首次被用来治疗血管性损害, 但是由于瘢痕的形成限制了它的使用。直到 1983 年, 选择性光热作用原理 (theory of selective photothermolysis) 的发表 (下面会进

一步讨论), 才使得对激光与组织间的相互作用有一个较完整理解成为可能, 同时也推动了激光的设计与制造在医疗领域中的应用。

激光的概念和特征

激光 (laser) 是由受激释放并放大的光 (light amplification by stimulated emission of radiation) 的词头缩写。通过对物质的量子特性和自发释放 (spontaneous emission) 的了解才可能了解受激释放 (stimulated emission)。原子 (或分子) 由原子核和包围在外周的电子组成。在基态时 (resting state), 电子常处在最低的能量水平, 当以光子 (如电磁辐射波或光的一个量子) 的形式吸收能量以后, 电子能运动到距离原子核较远的轨道上 (图 1-1)。这就是一个激发状

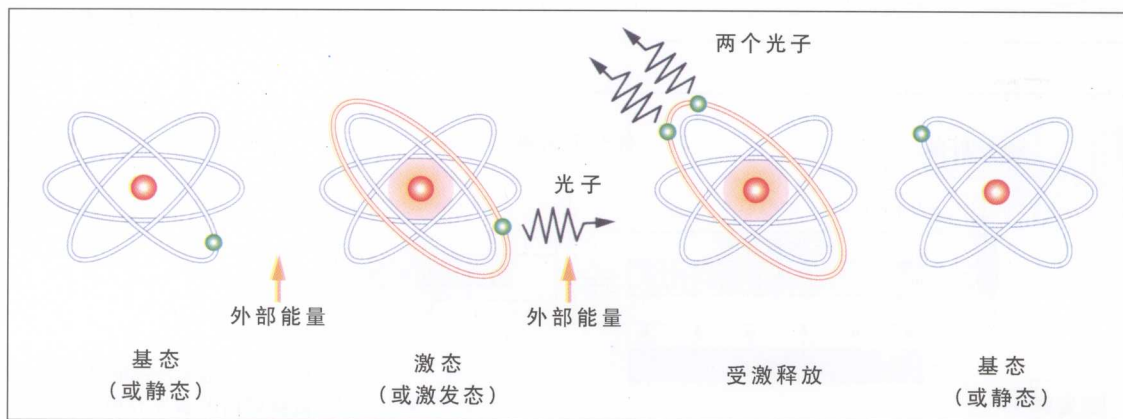


图 1-1 自发辐射释放 (A) 和受激辐射释放的原子 (B) 激励示意图

态, 它不稳定, 倾向于通过返回到原轨道而恢复基态。在这一过程中, 一个光子的能量被释放, 这就叫自发辐射。

当受激的电子再吸收一个相同的光子能量后, 再回复到基态轨道时就会发生受激辐射。在这个释放过程中, 分子可释放出两个光子的光, 它们具有相同的波长、相位和方向。这一过程所需要的能量由外部能源提供给激光。这个过程每重复一次, 激光谐振腔中光子的数量就增加一些。当大部分电子不再处于基态时的轨道, 而是处于激发态, 我们称其发生了粒子数反转, 其意义在于受激辐射变得更有可能是, 光放大变得更明显。

除了亮度高以外, 激光还具有以下不同于普通光源发出光的特征:

(1) 单色性: 被激发的原子或分子本身决定了所产生辐射光的波长, 更准确地说, 在激光的特征性波长周围是一个正态分布的狭窄

带。氩离子激光不同寻常之处在于它释放双波长的光 (488nm 和 514nm)。其原因是在激发态和基态之间有中间轨道。

(2) 相干性: 光可以被看作是正弦波, 由激光发出的光具有时间相干性和空间相干性, 也就是说光波是同相的、同时的和同空间的。

(3) 平行性: 这是相干性的直接结果。因光的直线性和能量保护特征, 光是平行的。它意味着, 除非经过透镜, 光经过长距离传播, 光束弥散极少 (图 1-2)。这两种传播方式都有用途, 例如在 CO_2 激光手术中, 聚焦的光束用来切割, 带有聚焦或平行光束功能的扫描器用于表皮重建 (resurfacing)。

各类激光

激光通常以介质的成分 (激光介质) 来命名 (图 1-3)。介质可以是气体 (如氩气、 CO_2 和准分子激光)、液体 (如脉冲染料激光)、固

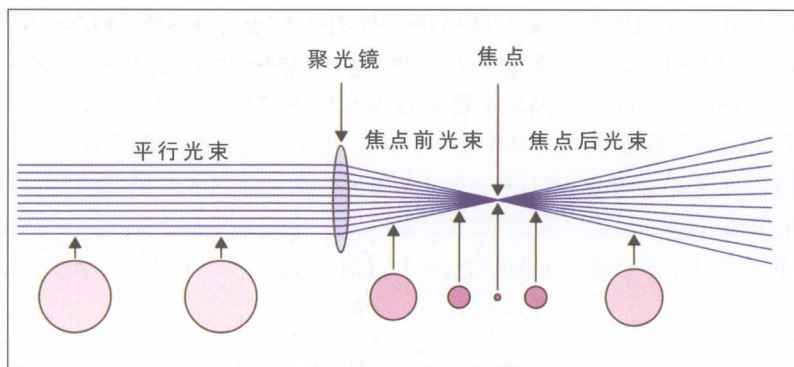


图 1-2 平行光束示意图

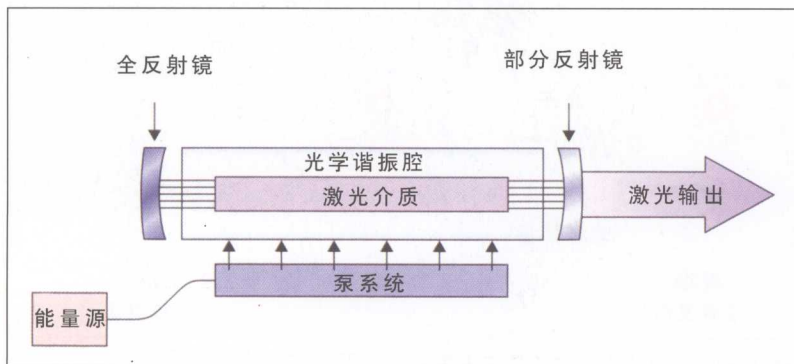


图 1-3 显示外部能源的激光, 谐振腔内的激光介质, 全反射镜和部分反射镜系统

体[如翠绿宝石, 半导体激光, 钇: 钕 - 铝石榴子石激光 (Er: YAG laser)、Nd: YAG 和红宝石激光]或固态 (半导体激光), 它们能被外部的能源, 诸如闪光灯激励。激光介质放在光学谐振腔 (或共振器) 内, 决定受激辐射光的波长。沿着光学谐振腔的轴线移动的光子, 在两块相对的反射镜中间反射, 沿着同样的轴线受激辐射。一个反射镜是全反射镜, 另一个是部分反射镜。光不断放大直到从部分反射镜中释放出来, 然后进入传输系统传输到治疗手具。传输系统可以是光纤或关节臂, 通过这些系统光被反射镜反射。光纤优点在于轻便, 利于操作和保管, 然而, 当光纤在操作、移动或清洁时被弯曲、扭转超过限度时会折断, 这会增加使用成本, 因为更换一根光纤要几千美元, 且通常不在制造商保修或服务合同范围内。光纤质量不足以传输从诸如 CO_2 、Er: YAG 或短脉冲 Q-开关激光中释放的光, 这类激光需要含多个反射镜片的关节臂来传输。每个传输系统的末端都有一个手具, 通过它光可以被聚焦或作为平行光束来发射。为了限制皮肤被照射的时间, 每一种方式都可以在预先选好的皮区上扫描。

激光也根据光束的脉冲特征来分类。这可以是连续的、脉冲的或者质量开关的 (quality switched) (Q-开关) (图 1-4 A、B、C)。连续激光是一束相对低能量的不间断光束, 诸如 CO_2 激光。连续光波可以被关闭来释放个别的能量脉冲。然而, 单纯的机械性关闭可能没有益处, 因为这种脉冲没有充足的能量用于临床。后来, 超脉冲得到发展, 激光发射出一系列快速的较高波峰的能量脉冲。然而, 这些所谓的“准连续”激光释放的脉冲非常接近, 在两个脉冲之间没有充足的时间来冷却, 在皮肤上作用的结果和连续激光束非常相似。只有含有充足能量带有个体化脉冲的高峰能量激光得到发展, 才能获得临床上重要的组织效应。例如脉冲染料激光, 正常模式的翠绿宝石激光、半导体激光和脉冲时间只有毫秒或微秒级的超脉冲 CO_2 激光。质量开关或 Q-开关是实现压缩激光脉宽 (5~100ns) 提高激光峰值功率的一种方法, 它通过带有两个偏震器的光电开关来实现, 依靠它们的协调一致使光传输或阻断。脉宽也是变化的, 这样它可以接近靶色基的热弛豫时间 (见下文)。

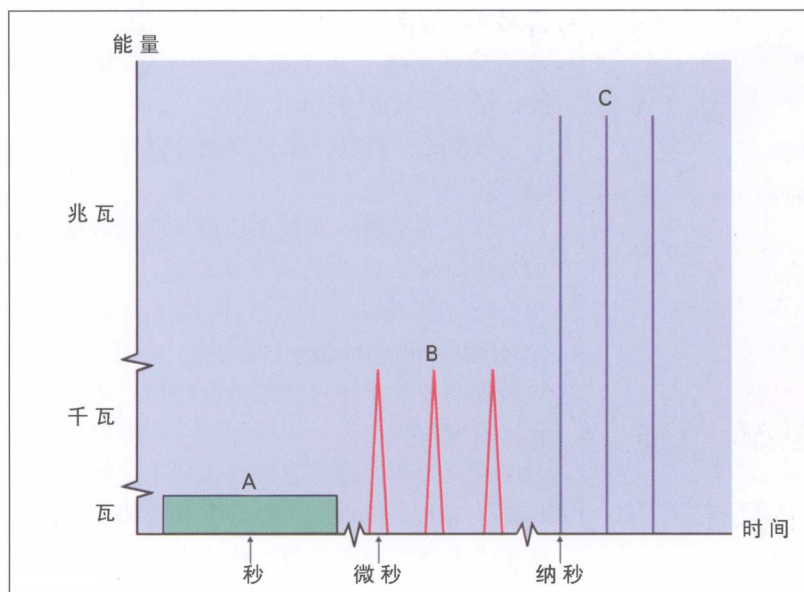


图 1-4 脉冲类型的简单演示

组织光学

照射到皮肤上光的结局，可以从四个方面来讨论（图1-5）：

（1）反射：有4%~6%的光在角质层被反射掉。

（2）吸收：光子的吸收遵守比尔定律（Beer's law）。通过组织（理想的均匀介质）的特定波长的光，其强度状态依赖于它的初始的光强度、穿透深度和消失距离（超过90%的光被吸收的距离）。没有光的吸收，就不可能有对组织的作用。当一个光子被靶分子或靶色基吸收，它的所有能量就被转移到那个分子上。选择性皮肤激光手术的原理在于能够根据波长、能量和脉冲宽度来操作激光，使特定的靶色基吸收光被损伤或毁坏，而别的色基没有受影响。

（3）散射：在皮肤，这主要是由于真皮胶原的原因，因为胶原分子的尺寸和近红外线的可见光的波长相似。散射主要是向前的，在某些部位大量的反散光，使真皮上部的能量

密度增加，超过了入射位置的强度。在皮肤上还发生另外两种类型的散射，也就是由比入射光的波长小的分子引起的向各个方向的微弱散射（Rayleigh 散射）和由比照射光波长大的物质引起的向前的散射。散射很重要，因为它迅速减少能量密度，使靶色基的吸收成为可能，因此在组织上产生临床效果。波长增加，散射减弱，使其成为理想的媒介指向深层的皮肤结构，如毛囊。600~1200nm的波长是通向皮肤的光窗，因为它们不仅散射少，而且在这个波长范围内限制了被生物体内的色基吸收。

（4）透射：残余的光传输到皮下组织，这主要依赖于波长，波长短的光（300~400nm）被散射，穿透不超过0.1mm。600~1200nm波长的光穿透得更深一点，因为它们散射的少。

光-组织相互作用

波长影响光被一个或更多组织色基吸收的程度。如果光能量要改变靶组织的结构，除了被吸收，还必须有充足的能量。能量以焦（J）为单位，但它通常更适用于描述“流量”或能量密度（ J/cm^2 ）。功率是发射能量的速率，测量的单位为瓦（也就是W或J/s）。辐射度指的是“功率密度”或单位面积中能量释放的速度，常用 W/cm^2 表示。

依据这些特征，光可以通过以下途径影响组织：

（1）光刺激：有模糊证据表明低能量激光加速伤口愈合，其机制不清楚。

（2）光动力反应：它构成了光动力疗法（photodynamic therapy）的基础，包括一种光敏性药物或其前体的局部或系统应用。适宜的光源可诱发两种反应，光氧化反应和即刻细胞毒素反应。光动力疗法也可以适用于生物体内的色基，诸如在痤疮丙酸杆菌中发现的色基，用蓝光杀灭痤疮丙酸杆菌，痤疮在临床上就得到了改善。

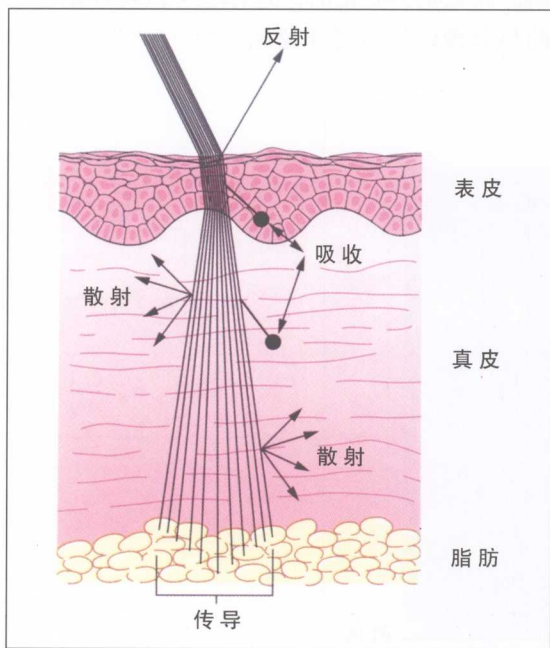


图1-5 皮肤上入射光的结局

(3) 光热和光机械作用：选择性光热作用理论已经用于祛除皮肤的血管畸形、文身、某些良性的色素沉着病变和脱毛。该理论假定，如果所选定的波长其在靶组织和周围组织之间的吸收系数差异尽可能大，能量密度足够高以破坏靶组织，而且脉冲宽度低于或等于热弛豫时间 (TRT)，那么光可以用来选择性损伤或毁坏靶色基。热弛豫时间是指靶组织用于释放约 63% 的热量所需的时间，下面将详述。

波长：重要组织色基的吸收光谱与皮肤科常用激光波长的关系如图 1-6 所示。血红蛋白有许多不同的吸收峰值，而黑色素的吸收随着光波长的增加而逐渐减少。必须考虑靶组织的深度，因为真皮中的散射受到波长的强烈影响，波长越长，吸收相对越少。波长越短，吸收相对越多。在某些情况下，特别在黑色素中，单纯的波长不是必需的，可能更需要闪光灯，因为它们具有较宽的发射光谱 (500~1 200nm)，比激光制造起来更廉价，可以用于滤光器 (515~755nm)，具有广阔的应用前景。它们的脉宽从 0.5~88.5ms 不等，可以有 1~300ms 的脉冲间歇。目前，它们还不能代替激光的应用，还需要高

能量光束。

能量密度：光所含的能量用焦 (J) 表示，单位面积的能量用流量或能量密度 J/cm^2 表示。

热弛豫时间 (TRT)：热弛豫时间只与靶色基的大小有关，与靶色基大小的平方成正比。变化时间从几纳秒 (文身粒子) 到几百毫秒或更长 (腿小静脉) 不等。

一些组织的靶部位，尤其毛囊，对光的吸收是不一样的，应用广泛的选择性光热作用理论 (extended theory of selective photothermolysis) 能较好地解释光脱毛作用。吸收光的色基 (因吸收光而产生热量) 和远处的靶组织是不同的，只有热被传导到远处的这些靶组织才能使其破坏。在脱毛过程中，毛干的黑色素和毛基质细胞充当光吸收物质，而峡部的干细胞 (可能和乳头部的血管) 就是远处的靶组织。靶组织获得选择性损伤的时间是热损伤时间 (TDT)，这是指整个靶组织包括基本色基 (黑色素) 和周围的靶组织 (毛囊) 冷却约 63% 的时间。热损伤时间要比热弛豫时间长，这样它能让热从色基释放到整个靶组织中去。

这个理论的实际结果被称作“热动力学选

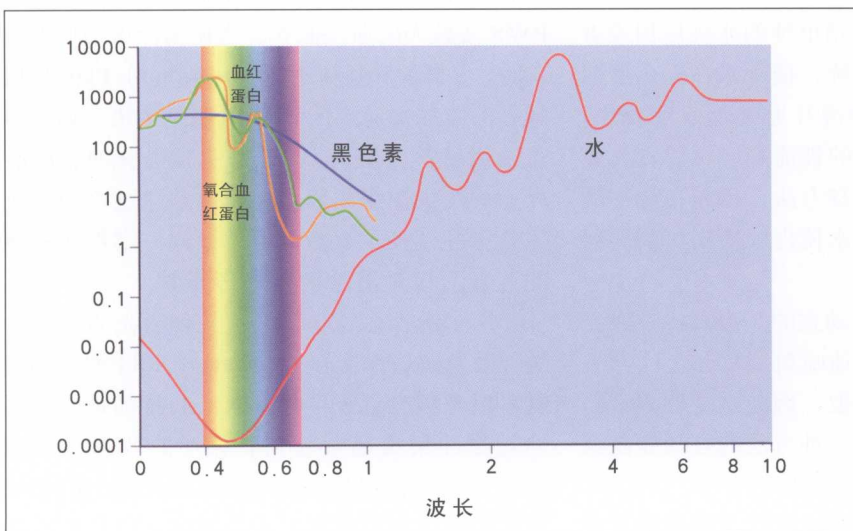


图 1-6 重要组织色基的吸收光谱