

激光与生物组织的相互作用

—— 原理及应用

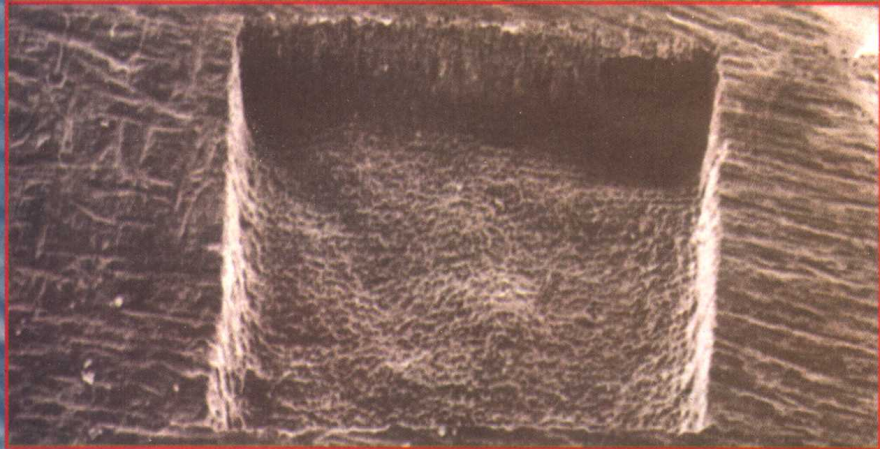
Laser-Tissue Interactions

Fundamentals and Applications

[德] Markolf H. Niemz 著

张镇西 等译

蒋大宗 审校



西安交通大学出版社

激光与生物组织的相互作用
——原理及应用

Laser-Tissue Interactions
Fundamentals and Applications

〔德〕Markolf H. Niemz 著

张镇西 等译
蒋大宗 审校

西安交通大学出版社

·西安·

内 容 简 介

本书的前两章描述和讲解了光与生物组织的相互作用,以及光在组织中的反射、吸收和散射的基本物理概念。在第3章中,根据现有的理论描述了光子的传输和组织的相互作用,如光化学相互作用、热相互作用,以及光蚀除、等离子体诱导蚀除和光致破裂的物理过程,并分析了不同的激光特性。在第4章中,叙述了激光在不同医学学科和临床上的应用。最后一章介绍了激光安全的基本概念,它对于激光的应用有着重要的意义。丰富的文献使这部作品更加完善。附录中列出的一些重要数据便于查找。本书在教学法上也有特点,对于学生是一本很好的教科书,对于医学和科学工作者也是一本有价值的参考书,也可用于自学。许多研究的照片、插图、表格以及深入地诠释使本书成为研究生和科学工作者有用的指南。

Originally published in English under the title "Laser-Tissue Interactions" by Markolf Niemz

Copyright © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996

All Rights Reserved

本书英文版由 Springer 出版社于 1996 年出版。本书中文版由 Springer 出版社授权西安交通大学出版社出版,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有,翻印必究。

激光与生物组织的相互作用——原理及应用

[德]Markolf H. Niemz 著

张镇西 等译 蒋大宗 审校

责任编辑 吴寿镛

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)

西安华宇印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:17.5 字数:431 千字

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

印数:0 001~3 000

ISBN 7-5605-1108-2/Q·1 定价:28.00 元

陕版出图字:25—1998—131 号

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

中译本出版前言

激光医学近年来在我国已有广泛的应用,在诊断和治疗方面都有长足的发展。许多医院引进了不同品种的激光设备,并大量开展了各种激光手术,但尚存在着不少不可忽视的问题。首先是国内的激光工程界和生产厂家,对激光引起的生物效应认识不足和研究不够;另一方面应用激光器的医务工作者,对激光的物理性能也并未深入了解。停留在按照文献上的介绍或按产品说明建议的规程来操作设备,进行治疗。这样的情况导致了不少误用激光的事故。也使得我国的激光医学还停留在盲目地跟随着国外进展后面,亦步亦趋地前进,甚至现在还在重复着过去的一些错误认识。

生物医学工程是一门跨学科的专业,它的工作者既要有物理学和工程学的基本知识,还得要对生物学有一定认识,方能把新的技术如激光,成功地应用于医学中去。近年已有不少生物医学工程工作者致力于激光的医学应用。他们普遍遇到的困难是不易找到既讨论激光的物理性能又研究了它对生物组织效应的文献。这两方面的研究成果是分别发表在物理或工程刊物和生物或医学刊物之上的。许多生物医学工程工作者很难收集到足够的这两方面的文献来指导他们的研究和设备的开发工作。

张镇西教授和他的研究小组译出德国 Markolf H. Hiemz 教授的专著《激光与生物组织的相互作用——原理及应用》一书。当他将译稿和原书交给我,要求我作一些校订时,我惊讶地看到本书把上述两个方面结合得非常好。本书罗列了两个方面的详尽资料,甚至包括了安全方面应该注意的若干问题。可以看到原作者本人是深入研究了这一跨学科问题的

学者,并且广泛占有了大量的文献资料。

本书是我从事生物医学工程近 20 年来,所未见过的把工程和医学结合得如此好的专著。在校阅的过程中,得以通过张教授和原作者探讨了一些问题,我个人也受益匪浅。

本人愿郑重地向生物医学工程界推荐本书的译本,希望原作者和译者的努力能对大家有帮助。并以此推动生物医学工程界跨学科相互渗透的进展。

又此书亦可作为从事激光医学的医务工作者的重要参考书。大略翻阅此书可以了解激光能造成什么结果。它能做什么?有哪些危害和怎样选择合适品种的激光器?这样可以在医务实践中不发生错误或少造成错误。

总之,本书能得到出版社的重视出版是一件值得生物医学工程界庆贺的好事。

蒋大宗

1998 年 7 月 15 日

于西安交通大学

作者中文版序言

西安交通大学的张镇西教授、博士将本书的英文版翻译成中文。张博士在医学激光应用领域具有良好的背景。他从事过激光物理学、生物医学工程与仪器的研究。张博士于1990年在西安交通大学获得生物医学工程与仪器专业博士学位。他的基础研究集中在组织光学、组织诊断学、激光衍射光谱学及激光器与应用系统的发展上。张教授在各种国际性评论杂志上发表了许多篇受广泛好评的论文,如“生物组织光传播特性的研究”,“肿瘤组织的反射特性”,“人体肿瘤组织及其DNA的发光”等。详细参见本书的译者论文附录。

张教授在本书的翻译中做了大量杰出的工作,使它可被中国的科技工作者应用。他的翻译非常准确并且覆盖了本书英文原版的全部内容。另外我想感谢著名的蒋大宗教授对中文翻译的校阅并写了一个优秀的推荐中文译本的前言。我希望你们——中国的科学家们能从这本译作中获得有用的信息并且喜欢阅读这本书。

德国海德堡大学
Markolf Niemz
物理学博士

FOREWORD FOR CHINESE VERSION

This book has been translated from its original English version into Chinese by Prof. Dr. Zhenxi Zhang from Xi'an Jiaotong University, Xi'an. Dr. Zhang has an excellent background in the field of medical laser applications. He has studied laser physics, biomedical engineering and instrumentation. He earned the Ph. D. degree in Biomedical Engineering and Instrumentation from the Xi'an Jiaotong University in 1990. His basic research focuses on studies of tissue optics, tissue diagnostics, laser diffraction spectroscopy, and the development of lasers and application systems. In a variety of internationally reviewed journals, Prof. Zhang has published numerous well-received articles. These are: "Study of optical propagation properties in the biological tissue", "Reflexionseigenschaft von Tumorgewebe", "Luminescence of human tumor tissues and their DNA", etc. See also the additional list of the translator's papers in this book.

Prof. Zhang has done an excellent job in translating this book and thereby making it available to the Chinese scientific community. His translation is very accurate and covers the complete original English version of the book. Moreover, I wish to acknowledge famous Prof. Dazong Jiang for co-reading the Chinese translation and writing an excellent recommendation of the Chinese version. I hope that you — the Chinese scientists — will find useful information in this translation and that you will always enjoy reading the book.

PD Dr. Markolf Niemz
University of Heidelberg Germany

译 者 序

奉献给读者的这本书的原著是翻译者从事组织光学十多年来所见到最好的一本专著。可以这样说,到目前为止,虽然世界上发表了许多与生命科学中的光学现象有关的科学论文,其中不乏激光与组织相互作用的论述,但像这样完整、系统的专著还从未有过。此书受到《Laser und Optoelektronik》(29: 4 1997)、《Lasers in Surgery and Medicine》(22: 73 1998)杂志的高度评价。而原书在面市后不久再次印刷也是该书颇受欢迎的一个佐证。Markolf H. Niemz 博士长期从事激光与组织相互作用的研究,曾于 1995 年获得德国 Heidelberg 科学院的 Karl-Freudenberg 奖。上述的研究和他本人的经历,使他具备了完成本书撰写的基础。为完成这一使命,他参考了大量的文献,成功地撰写了《激光与生物组织的相互作用——原理及应用》这部专著。既描述了激光与生物组织相互作用的基本途径,也提供了应用已知的知识对包括激光安全在内的临床激光应用的回顾。它不仅概述了激光与生物组织相互作用的原理及激光在医学领域的应用状况,也提供了相应的基础理论。它在相关题材范围内作了概要的介绍,并将激光与组织的相互作用基础,系统地进行了讨论。全书知识内容不仅属于物理学和医学范畴,还涉及生物化学、生物学、电子学等学科领域,体现了交叉学科的研究特点。本书源于对边缘学科的研究,所涉及的内容是一个极具生命力的新领域。

科学技术发展到 20 世纪末,理论科学与应用科学的关系发生了巨大变化,二者之间的距离已逐渐缩短。人类进入了一个新的技术革命时代。这场变革将影响着包括生命科学在内的各个领域。在这科学技术日新月异,迅

猛发展而又充满挑战的时代,我们应随时捕捉历史的机遇,倾心竭力地开辟一个又一个新的科研领域。作者在新的高度上纵观了激光与生物组织的相互作用;而译者奉献此书,表达了对我国这一科学事业发展的切切之情。这本书将展示给我们在即将形成的组织光学和激光医学领域工作的需求。它已经成为现代光学和现代科学技术一块重要的前沿阵地。为此,这本书将由我们翻译奉献给读者,奉献给从事这方面研究的科学工作者。由于译者的能力所限,翻译中定有不妥之处,恳请指正。

从本书的酝酿翻译直至完稿,得到许多朋友的鼓励和帮助。其中德国科学技术交流中心(Deutscher Akademischer Austauschdienst, DAAD)长期提供书籍资料和多方面的帮助。作者也为中文版写了序言和提供了书中所有的图表及照片。以及我的博士生导师、由于“为中国创建生物医学工程专业所作出的杰出贡献”而被授予美国 IEEE 会员最高荣誉称号“会士”、曾任国际生物医学工程联合会两届常务理事及中国生物医学工程学会前副理事长及代理理事长、国家医疗器具保健中心工程技术委员会主任委员、“西安交通大学杰出教授”蒋大宗先生在百忙中详尽地审校了译稿,并确定了一些关键并易有歧义的英语术语的汉语译名,也和译者讨论并拟定一些译者注,以便读者更好地了解本书的内容。杨鸿森教授、陆诗娣教授、吴寿镛教授给予了多方面的支持,在此谨向他们表示衷心的感谢。

参加本书的翻译者还有李红丽和姚翠萍硕士生、梅建生工程师。

张 镇 西

于西安交通大学工程与科学研究院

生物医学工程研究所

zxzhang@xjtu.edu.cn

1998年4月30日

前 言

Markolf Niemz 博士承担了难以克服的困难,撰写了当前激光在医学上所有实际应用状况的专题论文。在这部专著里,以激光与组织相互作用的机理作为指南贯穿全书。作者的专业基础是物理、生物工程和生物医学光学。1995年,他的激光与组织相互作用的基础研究获得德国海德堡(Heidelberg)科学院的Karl-Freudenberg奖。上述的经历极其适合完成写这本书,即为基本的激光与组织相互作用提供了一个跨学科的方法,也用这方面的知识对包括激光安全在内的激光临床应用进行了回顾。

作者自己在超短激光脉冲应用的研究使他能对光蚀除、等离子诱导蚀除和光致破裂方面进行深入的讨论。几个相关的效应也是由他首次提出的。而且,在这本书中广泛地论述了光动力疗法、光热应用和激光诱导组织间质热疗法。因此,读者可全面了解这一学科当前状况。这本书的主要对象是这一领域的科学家和工程师,但医学工作者也能从中找到许多感兴趣的重要方面。不用怀疑这本书将满足我们在激光医学领域工作中的需求,我希望它将被很好的接受。

医学中心研究院激光中心主任

Martin J. C. von Gemert

Amsterdam, 1996

奉献给我的夫人亚历山德拉

序 言

本书是应读者希望了解新近建立的激光与组织相互作用领域的需要而编写的。至今,可用于此目的的资料仅限于解决特定问题的出版物及由多位作者投稿的会议文集,读者很难从这些多作者的文献中获得对这个领域的详细了解。由一位作者所编写的书或许可以适用于这个目的,尽管该书不能为读者提供每一应用领域的细节。

本书的基本范围是我在 1992~1995 年在 Heidelberg 大学所做的几次有关生物光学的报告中拟出的。我尽可能把近 30 年中在激光与组织相互作用领域中所发表的显著研究收集在本书内。这包括对实验和技术的说明及其结果和理论背景。本书中的一些部分,尤其是对超短脉冲的详细讨论是受到本人兴趣的影响。

激光医学应用的发展非常迅速,因此,不可能对所有出版物进行全面的概括。本书主要为初学者提供了一个入门指南,也为内行提供了一个快速查阅的指南。若要探讨最新的技术和结果,读者应查阅的应为最新的学术杂志而不是教科书。例如:《外科及内科中的激光》(Lasers in Surgery and Medicine),《医学激光》(Lasers in Medicine Science),《生物医学光学》(Biomedical Optics)和《SPIE 生物医学科学》(SPIE Proceedings on Biomedical Science)。除此之外,一些相关的文章有时发表在其它的专刊上,如《应用物理学 B》(Applied Physics B)和《IEEE 量子电子学》(IEEE Journal of Quantum Electronics)等。

在这里我要感谢各位作者和出版社允许我在书中采用他们的图片。其中一些图片被重新绘制以提高可读性及获得统一的形式。我特别要感谢 1995 年 9 月在 Slovenia 的

Kranjska Gora 进行的 Studienstiftung des Deutschen Volkes(德国国家研究基金会)生物医学光学研讨会的与会者。另外,我还要感谢 J. Bille 教授及他的学生们对手稿所提出的宝贵建议,感谢 T. Pioch 博士所提供的电子扫描显微镜照片,感谢编辑部和 Springer-Verlag 出版社全体工作人员在本书出版过程中所付出的努力和合作,最后,我还要感谢抽出宝贵时间来阅读手稿的朋友们。

尽管我尽了最大的努力,书中难免还会有些错误,希望读者向我提出宝贵的意见以便在今后改进。

Markolf H. Niemz

于海德堡

1996 年 2 月



作者简介

About the Author

Dr. Markolf Niemz 曾在 Frankfurt University, Heidelberg University 和 University of California at San Diego 学习物理和生物工程。曾在 Heidelberg University 获得硕士学位和在 University of California at San Diego 获得生物工程科学硕士学位。在 Heidelberg University 获得物理博士学位。目前，他在 Heidelberg University 应用物理系从事物理和激光与生物组织相互作用的应用研究。对这些研究曾获得 Heidelberg 科学院 1995 年的 Karl-Freudenberg 奖。

目 录

1	绪论	(1)
2	光和物质	(7)
2.1	反射和折射	(8)
2.2	吸收	(11)
2.3	散射	(14)
2.4	混浊介质	(19)
2.5	光子传输理论	(21)
2.6	生物组织光学特性的测量	(28)
3	相互作用的机理	(34)
3.1	光化学相互作用	(35)
3.1.1	光动力学疗法(PDT)	(37)
3.1.2	生物刺激	(44)
3.1.3	光化学相互作用的小结	(45)
3.2	热相互作用	(45)
3.2.1	热产生	(53)
3.2.2	热传输	(54)
3.2.3	热效应	(60)
3.2.4	激光诱导间质热疗法(LITT)	(64)
3.2.5	热相互作用的小结	(67)
3.3	光蚀除作用	(68)
3.3.1	光蚀除的模型	(75)
3.3.2	紫外光辐射的细胞毒性	(78)
3.3.3	光蚀除作用的小结	(80)
3.4	等离子体诱导蚀除	(80)
3.4.1	等离子体诱导蚀除的模型	(84)
3.4.2	等离子体参数的分析	(96)
3.4.3	等离子体诱导蚀除的小结	(98)
3.5	光致破裂	(100)
3.5.1	等离子体的形成	(105)
3.5.2	冲击波的产生	(107)
3.5.3	空化	(114)

3.5.4 射流的形成	(117)
3.5.5 光致破裂的小结	(119)
4 激光的医学应用	(120)
4.1 激光在眼科中的应用	(120)
4.2 激光在牙科中的应用	(143)
4.3 激光在妇科中的应用	(157)
4.4 激光在泌尿科中的应用	(162)
4.5 激光在神经外科中的应用	(166)
4.6 激光在血管成形术及心脏病学中的应用	(173)
4.7 激光在皮肤病学中的应用	(177)
4.8 激光在矫形学中的应用	(182)
4.9 激光在胃肠病学中的应用	(186)
4.10 激光在耳鼻喉科及肺科中的应用.....	(188)
5 激光安全	(193)
5.1 简介	(193)
5.2 激光的危害性	(193)
5.3 对眼睛的危害	(194)
5.4 对皮肤的危害	(196)
5.5 高功率激光的危害	(196)
5.6 激光安全的标准和危害分类	(196)
5.7 激光辐射的观察	(200)
5.8 眼睛的防护	(202)
5.9 激光的计算与测量	(203)
附录.....	(205)
A.1 医用钕激光器系统	(205)
A.2 物理常数和参量	(208)
参考文献.....	(212)
英汉词汇索引.....	(241)
译者推荐的参考文献.....	(264)

1 绪 论

自从 Maiman (1960) 第一次报道激光辐射以来, 我们已经对许多激光潜在的应用领域进行了研究。其中激光医学外科是 20 世纪最重要的进步。如今, 各种各样的激光器已成为现代医学中不可替代的工具。尽管激光的临床应用最初仅局限于眼科, 这是最引人注目的应用。目前激光手术普遍采用氩离子激光器凝结视网膜脱落。现在激光医学治疗的领域已经相当广泛。由于存在各种各样的激光系统和其多样化的物理参数, 尤其是几个研究组的积极工作, 最终使研究几乎涉及到外科医学的每一个分支。尽管在某些情况下已造成了一些伤害(特别是在生物刺激领域), 研究者们为了新的发明和取得成功而迷失了方向, 这不应被理解为批评, 工业上所推崇的激光系统后来又又被证明完全无效。然而, 总的来说许多有用的激光技术已经得到发展, 并且在各科科学家的帮助下建立了它的临床应用。这些治疗方法已被其它研究者再次证实, 并且可用各种被广泛接受的科学杂志中的文章来证明。早期激光应用的最初目的在于治疗效果, 近来又增加了几项有意义的诊断技术。本书将只介绍其中方便讲的, 例如用荧光染料诊断肿瘤, 用激光诱导等离子体放电的光谱分析诊断龋齿。但对这些诊断应用的讨论不是作者的主要目的, 感兴趣的读者可另外查阅详细的资料。

从时间的角度来观察, 激光器首次的应用是在眼科。这是显而易见的, 因为眼睛和它的内部结构因其高透明度而属于最容易接近的器官。仅仅是在前几年 Meyer-Schwickerath (1956) 才成功地研究了用氩闪光灯在视网膜组织进行凝结。1961 年, 激光器发明后仅一年, Zaret 等人(1961)就公布了第一个试验研究。之后不久, 如 Campbell 等人(1963)和 Zweng 等人(1964)所报道的那样视网膜脱落的患者已可以被治疗。与此同时, Goldman 等人(1964)和 Stern 及 Sognaes(1964)首次在牙科领域进行了研究。在开始阶段, 激光的治疗局限于用红宝石激光器。以后, 就有了其它类型的激光器。相应的临床研究扩展到整个眼科和牙科的领域。

从 60 年代后期开始, 激光器也被引入其它医学学科。今天, 许多种类的激光方法被应用于世界各地。其中大多数属于微创手术(minimally invasive surgery, MIS), 这是近十年来用以描述非接触和非流血外科手术手段的新术语。这两个主要的特性促进了激光成为万用的外科手术刀及辅助治疗手段。许多患者及一些外科医生都信任激光器, 将其视为一种神奇的仪器。这种态度造成一些错误说法和不切实的希望。对于新进展谨慎地去看总是适当的, 并不是每一个激光诱导治疗的报道都能通过其他独立的研究而再确认并得以承认。正如在这本书里所介绍的那样激光诱导效应^①是多方面的, 大多数可以从科学上进行解释。同样的效应对于一个治疗可能是好的, 但是对于另外一个却可能是灾难性的。例如, 用激光辐射方法加热肿瘤组织可能会导致我们期望的肿瘤坏死; 另一方面, 使用相同的激光参数对于视网膜凝结则可以灼伤视网膜, 导致不可逆性的致盲。特别是在温度高于 60 °C 时热效应趋向于不可逆, 如 3.2 节所

^① 译者注: 激光诱导效应在生物学中另一新应用是光镊(optical tweezers), 即一个由光学梯度力形成的光学阱, 如同一把无形的镊子可以捕获微小的生命。它继激光刀(激光微束)之后在生命科学中得到重要应用的又一新的物理手段。本书未涉及该内容, 有兴趣的读者可参阅: 李银妹编译. 生命科学新技术——光镊原理、技术和应用. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996。