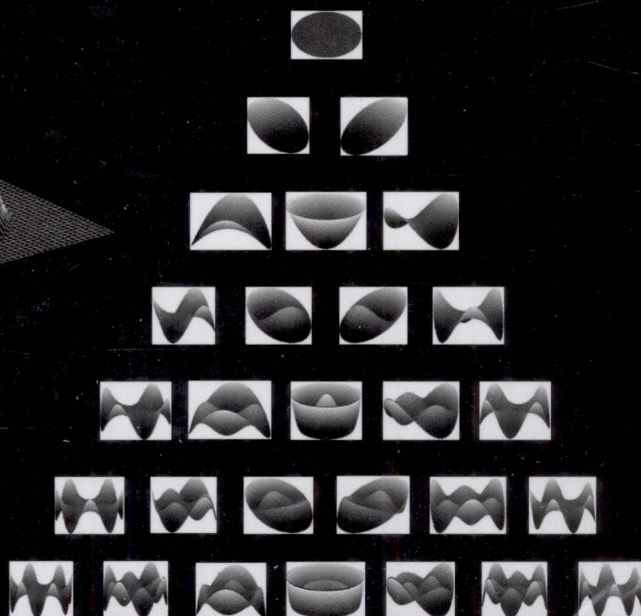
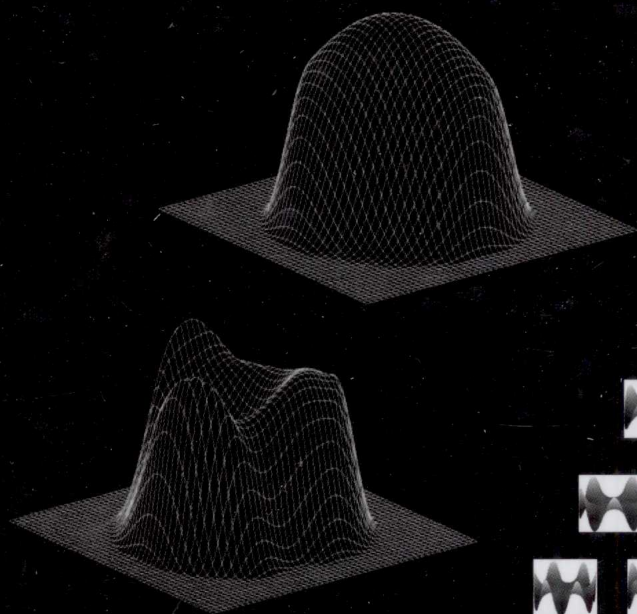


◎主编 王 雁 赵堪兴

波前像差与 临床视觉矫正

Wavefront Aberration and Clinical Vision Correction



人民卫生出版社



波前像差 与 临床视觉矫正

Wavefront Aberration and Clinical Vision Correction

主 编

王 雁 赵堪兴

副主编

汤 欣 王肇圻 李 捷

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

波前像差与临床视觉矫正/王雁等主编. —北京:
人民卫生出版社, 2011. 1

ISBN 978 - 7 - 117 - 13683 - 9

I. ①波… II. ①王… III. ①屈光不正 - 研究
IV. ①R778. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 210249 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com	护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

波前像差与临床视觉矫正

主 编: 王 雁 赵堪兴

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 - 67605754 010 - 65264830

010 - 59787586 010 - 59787592

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 20

字 数: 499 千字

版 次: 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978 - 7 - 117 - 13683 - 9/R · 13684

定 价: 115.00 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销售中心联系退换)

编 委

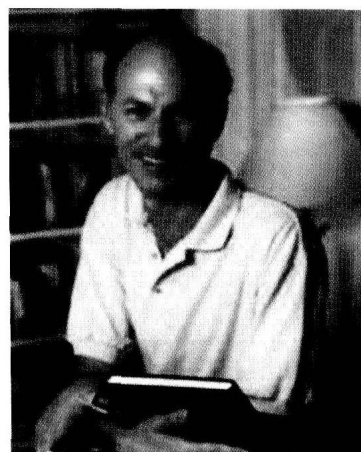
Larry Thibos	Indiana University, USA(美国印第安纳大学)
David Atchison	School of Optometry, Queensland University of Technology, Australia(澳大利亚昆士兰科技大学)
Steven C. Schallhorn	International Medical Advisory Board, IMAB, USA(美国国际医疗咨询委员会)
W. Neil Charman	University of Manchester, UK(英国曼彻斯特大学)
Junzhong Liang	Naval Medical Center San Diego, USA(美国圣地亚哥海军医学中心)
Guangming Dai	Scientist of Visual Optics, USA(美国视觉光学科学家)
姜文汉	中国社会科学院物理光学研究所 院士
褚仁远	复旦大学附属眼耳鼻喉科医院
瞿 佳	温州医学院眼视光学院
谢培英	北京大学眼视光中心
王 铮	中山大学中山眼科中心
陈跃国	北京大学眼科中心
陆文秀	北京新力眼科医院
郝燕生	北京大学眼科中心
郭欢庆	爱尔兰国立大学
方利华	南昌航空大学
刘 涛	美国印第安纳大学
刘永基	南开大学
刘 铭	南开大学

编写秘书 侯杰

特邀国外编委简介

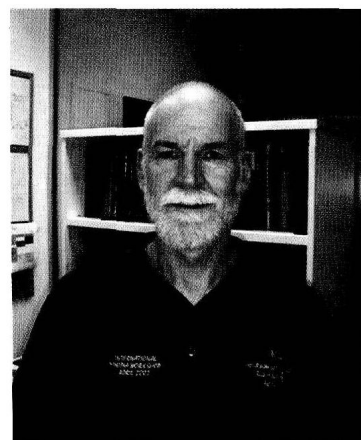
Larry Thibos, PhD

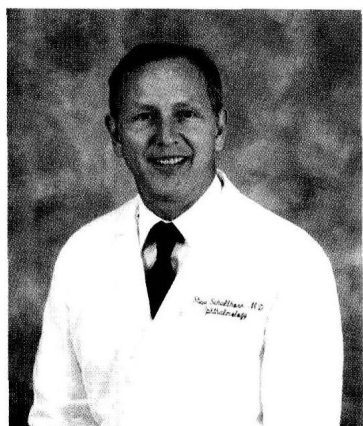
美国印第安纳大学视光学与视觉科学教授,国际著名视觉光学教授,从事人眼光学与视觉质量方面研究,研究范围涉及人眼光学像差对视觉质量的影响、视网膜结构对空间视觉限制及周边视野视觉特性等诸多方面。担任《Journal of the Optical Society of America》、《Optometry and Vision Science》等多家杂志主编,其发表于《Optometry and Vision Science》等杂志的论文被频繁引用,在视觉光学领域享有较高的学术地位,曾荣获 1997 年 Glenn A. Fry 奖、2000 年与 2007 年度 Garland Clay 奖等多项学术荣誉。



David Atchison, PhD

澳大利亚昆士兰科技大学视光学院和健康与生物医学创新研究院教授。美国光学学会委员。参与国际上多个学术及科研团体,澳大利亚三个标准技术委员会成员,担任 MS/24 眼视光学主席。主编《Optics of the Human Eye》、《The Eye and Visual Optical Instruments》,在《Optics》、《Visual Optics》、《Ophthalmology and Optometry》等学术期刊上发表论文 150 余篇。主要研究方向:眼球光学及其对视功能的影响,眼镜、角膜接触镜及人工晶状体的光学设计以及色觉。鉴于其在眼科学及视觉光学的研究成就曾获多项学术荣誉。





Steven C. Schallhorn, MD

英国《Optical Express》杂志首席医疗顾问,2007 年以前担任美国圣地亚哥海军医学中心屈光手术中心主任。作为美国国防部屈光手术中心创始人,是国际上较早开展 PRK、LASIK 以及人工晶状体植入手术的专家之一,对屈光手术的安全性、有效性以及术后视觉质量等方面的研究在国际上处于领先地位。已发表论文 200 余篇,参与论著编写 33 部。目前为美国国际医疗咨询委员会主席,AAO 屈光手术学会 (ISRS) 主席,AAO 眼科屈光技术评定委员会主席,AAO ONE 项目主编。担任《Cataract and Refractive Surgery》、《Ophthalmology》以及《Investigative Ophthalmology and Visual Sciences》等杂志的编审委员。在全球范围担任多种来自政府和民间组织有关屈光手术方面的顾问,并对美国海军应用 LASIK 手术起了重要的推动作用。

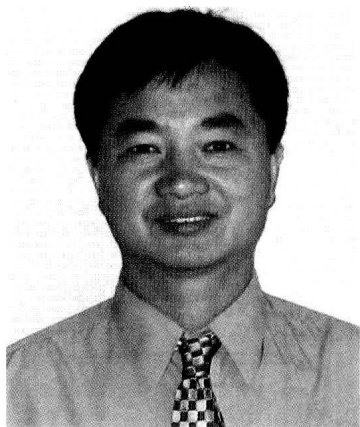


W. Neil Charman, PhD, DSc.

英国曼彻斯特大学教授,著名物理学家。在光学、视觉及视觉矫正以及光学仪器等学术期刊和专著上作为第一作者或参与者发表论文及论著 200 余篇。曾获得英国 Owen Aves 奖章以及美国 Prentice 奖章,并曾被授予美国纽约州立大学的名誉博士学位。

Junzhong Liang, PhD

美国圣地亚哥海军医学中心,美国加州 Oraya Therapeutics Inc 及 AVEI Inc 等咨询科学家。发明了 Hartmann-Shack 人眼波前像差仪,首次利用自适应光学对人眼高阶像差进行矫正,获得超常视觉并首次记录了人眼活体视网膜视锥细胞的图像。在自适应光学、视网膜高分辨成像、波前引导的激光视觉矫正、波前老视眼治疗、波前技术用于视觉和眼科学方面有近 20 年的研究经验。其眼波前测量和视觉矫正领域的先驱工作为波前像差的相关应用及研究奠定了基础,发表的经典论文(J. Opt. Soc. Am. A, 1994 和 1997)被 SCI 引用 1700 余次。



Guangming Dai, PhD

1986 年毕业于厦门大学物理系物理学专业。1995 年获得瑞典隆德大学的天文学博士学位。之后,先后在圣路易华盛顿大学的电子工程系和医学院做博士后工作,后在罗切斯特大学视光中心做研究工作。1997 年至 2001 年为资深软件工程师。2001 年进入美国 Visx 公司至今。研究领域包括波前光学、自适应光学算法、成像处理及验光和视光。美国眼科学会(AAO)、美国光学学会(OSA)以及美国眼科和视觉科学研究会(ARVO)会员,《Open Optics Journal》的编委会顾问委员。著有《视力矫正之波前光学》(英文)一书,并在包括《光学手册》(英文,第 3 版)等专业书籍里撰写部分章节。另外还在国际光学杂志上发表了 20 余篇论文,同时还拥有 20 余个美国专利和 20 余个待批专利。



序

视觉科学是眼科学的基础学科之一。在眼科,无论是何种专业,治疗的最终目的不单纯是达到解剖上的恢复,还要在消除疾患的同时,使视力乃至各种视觉功能均得到矫治和提高。因此我们面临的科学问题不但需要对本专业学科知识进展的了解及掌握,更需要对全科知识的整体把握和提高。正像托夫勒曾在他的《第三次浪潮》一书中所指出的:在新知识不断涌现的世界,需要赋予聪颖智慧的专业人员一种责任,使之对知识能够快速把握,紧随其步伐,以跟随其快速发展的趋势。

近年来,我国的眼科事业发展迅速,大量新知识、新技术的引进极大地提升了我国眼科的诊疗水平,同时也使我们在国际上有了更多的话语权,该书的编写就是很好的例证。本书主编不仅将视觉矫正和视觉光学最新概念、新技术贯穿始终,还特别邀请到了国外在视觉光学领域顶尖的学者、国内物理光学和眼科屈光手术学等领域的著名学者以及实践经验丰富的临床专家共同撰写该书,系统地讲述了物理光学、视觉光学和视觉生理光学的基础理论,并将其转化到临床应用实践中,体现了较好的先进性、科学性和权威性,同时兼具一定的可实践性。我在拜读学习的同时,也特别感谢国外学者以及国内同行专家对推动我国视光学和眼科学的发展所做出的贡献。

在我们的前辈中有许多著名专家,他们为我国视觉光学的奠基和发展贡献了毕生精力,由于受科学发展不同阶段的影响,在视觉光学的科学领域,我国的相关研究及临床应用转化和国际上相比尚有一段路要走。虽然有许多专著陆续出版,但迄今为止,国内尚无一本系统介绍此方面的专著,希望此书的编写和出版能填补该领域空白。

特作此序,以示庆贺。

中国工程院院士

谢立信

2010年6月于青岛

前言

医学在不断进步。在过去的 30 年里,大量新理论、新技术涌现并迅速渗透到医学领域。新理念拓展了新的专业知识,新技术带动了新领域的发展。人眼的视觉系统极其精妙而复杂,乃至达尔文进化论都无法完全解释清楚。虽然在几百年前人们就意识到人眼的视觉系统在极短的时间内就可以将外界大量的信息进行处理并加以识别,但有一事实毋庸置疑:人眼的视觉系统并非完美。著名的视觉科学家 Helmholtz 早在很多年前就指出:人眼存在着像其他任何光学系统一样的光学缺陷以及作为生物个体自身所特有的缺陷。然而,以往由于条件的限制,许多视觉现象及相关原理并未得到认知或并不被认识,更难提及精确有效的视觉矫正。

近年来,人眼波前像差技术的出现和应用引发了视觉科学领域的一场革命,该技术结合了现代光学理论,使人们开始对视觉及许多视觉现象产生了新的认识,并从根本上改变了视觉研究和视觉矫正的内容及方向。波前光学、波前屈光、波前像差引导手术以及其他波前矫正方法等概念、方法的引入与应用,使得全方位的视觉诊断得以实现,并在此基础上产生了新一代的视觉矫正工程和相关技术。根据波前像差理论,可以对人眼的光学系统进行设计和优化,矫正近视、远视、老视等视觉质量问题;基于波前技术产生的自适应光学能够使人眼的视网膜成像清晰度明显提高等,这些波前视觉光学和波前矫正的主要进展和内容,极大地促进了视觉领域的发展,并赋予了视觉矫正新的内涵。

本书正是基于学科发展的前沿,从人眼光学结构及光学特性出发,结合目前临床经常涉及的新概念、新方法,针对眼科医师、视觉光学工作者以及所有对眼科及人眼视觉与视觉矫正工作者感兴趣的问题,将内容展开并予以详述。

本书分为两大篇章。第一篇为基础知识篇:首先介绍光学及其视觉基础、眼球光学结构、视觉成像的光学基础等,之后密切结合临床,从现代视觉光学角度介绍视力、对比敏感度等常用视功能以及视觉质量评估的方法和手段,为读者提供现代视觉光学的基本原理和理论。其中,《眼球光学结构及其生理光学》、《视觉成像的生理光学基础及其影响因素》等章节是新的尝试。第二篇紧扣本书主题,从波前像差基本概念和基本测量入手,特别对人眼波前像差的特点、波前屈光的基本理念予以详尽描述,重点对波前像差的临床具体应用进行相对系统的阐述,包括波前像差引导的个体化角膜屈光手术、波前像差与眼内晶状体植入、波前像差与角膜接触镜等,特别还邀请到姜文汉院士课题组对源于自适应光学技术的波前像差在眼科特别是视网膜成像的应用进行了介绍。此外,首次将“波前屈光”的概念引入国内介绍给读者。

鉴于本书为此类书籍的第一次尝试,为确保其权威性和可读性,特别邀请目前国内外对

此领域具有较深入研究并有一定影响的著名专家和学者共同参与本书的编写。其中国外专家有在国际视光和波前视觉领域享有盛誉的 Larry Thibos 教授(美国)、David Atchison 教授(澳大利亚)、W. N. Charman 教授(英国),在国际角膜屈光手术领域具有较高学术地位并具有丰富临床实践经验的 Steven C. Schallhorn 教授(美国),人眼波前像差测量第一人 Junzhong Liang 博士(美国)以及 Guangming Dai 博士(美国)等。我们还荣幸地邀请我国中科院波前像差研究室姜文汉院士课题组,国内眼科和视觉光学著名专家褚仁远教授、瞿佳教授、谢培英教授、郝燕生教授以及目前活跃在视觉科学领域的学术精英和知名专家,他们将多年的学术成果和临床经验所得与我们分享,正是他们的贡献,使本书得以编纂并顺利出版。

在此书完成之际,首先要特别感谢我的导师赵堪兴教授从本书的写作伊始至完成对本书的具体指导,他对本人的培养、对未来的把握以及对学科发展的洞悉和前瞻均是人生宝贵的财富。

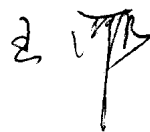
感谢所有参与并帮助完成此书的人。感谢各位前辈的支持和鼓励以及国内外同行的积极参与和指导;感谢为本书的稿件整理和校对付出了大量工作的编写秘书侯杰医师,图片绘制者方利华博士;感谢参与资料收集与文稿审校工作的我的学生王伟、饶丰、杨晓艳、张琳、李晶、李智敏、谢丽丽、于金玲、刘丽清、刘洋辰、薛超、鲍锡柳、魏升升等。本书的编写过程中还得到了天津市眼科医院图书馆刘清馆长、方旭老师的无私援助和支持,以及我的同事耿维莉、金颖、左彤等医师的支持和理解,在此致以真诚的谢意,谢谢你们!

感谢天津市眼科医院领导对本书出版的大力支持。

此外,还要深深地感谢我的家人在本书编写期间给予的鼓励和理解。

对于患者来讲,无论是现在还是未来,均需要更好的视力及完美的视觉质量;对于我们——眼科医师和视觉工作者,则需要了解和掌握更多的信息并相互分享,以获得更好的视觉矫正结果。希望本书的撰写能尽我们的绵薄之力。

鉴于我们的专业知识尚不十分全面,在该领域尚需不断深入,加之许多技术日新月异地发展,认识也在不断地更新,错误和不当之处在所难免,敬请批评指正,不吝赐教。



2010年6月于天津

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 光学及视觉基础

第一章 概述——人眼像差测量与波前矫正	7
一、引言	7
二、眼部像差测量的发展	7
三、像差描述	9
四、大视场像差	10
五、色差	10
六、像差矫正	10
第二章 光学及视觉基础	14
第一节 光学基础	14
一、物理光学和几何光学	14
二、干涉	16
三、衍射	17
四、偏振	18
五、散射	19
六、反射和折射	20
七、费马原理	21
八、光在单球面上的折射	22
第二节 模型眼、简化眼与 Purkinje 像	24
一、模型眼	24
二、Purkinje 像	27
第三节 屈光不正	30
一、屈光不正的光学基础及分类	30
二、屈光不正的光学矫正	33
三、屈光不正与高阶像差的关系	34
第三章 眼球光学结构及其生理光学	36
第一节 眼球光学结构及其生理光学特性	36

一、泪膜	36
二、角膜	37
三、前房及房水	43
四、瞳孔	44
五、睫状体	46
六、晶状体	46
七、玻璃体	49
八、视网膜	49
九、脉络膜	50
十、巩膜	50
第二节 人眼的非球面性与 Q 值	51
一、基本概念	51
二、描述非球面性的参数	51
三、Q 值	53
四、角膜 Q 值的临床应用价值	54
第三节 人眼的中心定位、轴与角	54
一、中心定位	54
二、人眼的轴	54
三、眼睛的角	55
第四章 视觉成像的生理光学基础及其影响因素	58
第一节 视网膜及人眼成像	58
一、视网膜及其成像基础	58
二、人眼成像的基本过程	59
三、视网膜像的位置及成像的限制因素	59
四、视网膜成像的大小	61
第二节 视觉成像与视觉生理	63
一、视网膜大脑图像处理	63
二、眼睛的明暗视觉及适应	64
三、景深和焦深	65
四、深度觉	67
五、色觉	67
第三节 影响人眼成像质量的光学因素	71
一、光线的折射	72
二、光线的散射	72
三、光的衍射	73
四、光学像差	73
五、瞳孔	75
六、物体的亮度和对比度	76
七、照明光的光谱成分	76

八、视网膜表面照度	76
第五章 人眼的光学质量评估	77
第一节 光学系统的质量评价	77
一、瑞利 1/4 波长定则	77
二、中心点亮度	77
三、点列图	77
四、分辨率法	77
第二节 人眼成像质量的判断	78
一、瞳孔平面评价指标	78
二、视网膜平面评价指标	79
第六章 视觉质量和视功能评估	89
第一节 视力	89
一、概念及限制因素	89
二、视力的分类	91
三、常用视力表设计	91
四、视力记录法	94
第二节 对比敏感度	95
一、概述	95
二、历史发展	95
三、生理学基础	95
四、人眼对比敏感度定义	96
五、正常人眼的对比敏感度曲线	98
六、对比敏感度与视力的关联	99
七、影响对比敏感度的因素	99
八、常见的对比敏感度损伤类型	99
九、测试方法	99
第三节 像差对人眼对比敏感度的影响	102
一、离焦与对比敏感度	102
二、散光与对比敏感度	103
三、高阶像差与对比敏感度	104

第二篇 波前像差、波前屈光与波前矫正

第七章 波前像差基础	109
第一节 波前像差的基础理论	109
一、波前和光程差	109
二、波前共轭和视力矫正	110
三、几何光学的经典像差	113

四、波前像差的泽尼克表述	114
第二节 波前像差的应用	119
一、视力矫正的像差问题	119
二、人眼像差的统计结果	127
第三节 色差及其对视功能的影响	134
一、人眼色差的三个标征	134
二、人眼色差的大小	136
三、色差对视觉的影响	137
四、单色像差存在时对色差的影响	138
五、患者色差对眼科临床的影响	138
六、色差的益处	139
七、色差矫正的展望	139
第八章 眼部波前像差测量	145
第一节 概述	145
第二节 常用的像差测量仪器的原理	147
一、像差仪的分类	147
二、以 Hartmann-Shack 原理为基础的像差仪	148
三、以 Tscherning 原理为基础的视网膜成像型像差仪	150
四、以 Scheiner-Smirnov 原理为基础的入射型光学像差仪	151
五、以视网膜检眼镜双程技术为原理的像差仪	153
六、人眼的生理光学结构与像差	155
第三节 波前像差测量过程中的注意事项	156
一、测量波长	156
二、瞳孔大小	156
三、仪器测量准确性、精确性和重复性的评估	157
四、被测者的主观配合	157
五、人眼的波前像差具有动态特性	157
六、Zernike 多项式系数的排列顺序	157
七、视场范围	157
第九章 人眼波前像差的特点及波前屈光	159
第一节 人眼波前像差描述	159
一、人眼像差的含义	159
二、波前像差的表示方法	161
三、人眼波前像差的计算	164
四、传统屈光度与波前像差 Zernike 的换算关系	164
第二节 像差的基本形态	165
一、主要高阶像差	165
二、总体像差形态	165

三、像差的临床意义和举例	168
第三节 人眼像差的分布、来源及影响因素	173
一、正常值及分布	173
二、人眼像差的主要来源	176
三、人眼像差的主要组成部分	177
四、影响人眼波前像差的因素	179
第四节 人眼像差对视觉质量的影响	183
一、单项像差对视觉质量的基本影响	183
二、像差组合及其相互作用	184
三、人眼像差的补偿	184
第五节 波前屈光	185
第十章 波前像差引导的个性化角膜屈光手术	190
第一节 概述	190
一、引言	190
二、术前诊断	190
三、手术要点	194
四、术后效果	197
五、小结	198
第二节 为何进行波前像差引导的个性化手术	198
一、手术个性化的需要	199
二、矫正高阶像差的需要	199
三、减少激光源性高阶像差的产生	199
四、减少手术源性高阶像差的产生	201
五、有效改善夜间视力	201
六、波前测量使手术更精确	202
第三节 波前像差引导手术的适应证	202
第四节 波前像差引导的个性化角膜激光手术技术要求	203
一、准分子激光飞点扫描及相关技术	203
二、自动跟踪技术	205
三、精确的波前像差测量	206
四、波前像差仪及激光连接系统	206
第五节 波前像差引导手术切削的物理学基础	207
一、Munnerlyn 公式	207
二、非球面的切削模式	210
三、波前引导的个性化切削模式	211
第六节 飞秒激光与像差	212
第七节 如何有效减少角膜屈光手术中高阶像差的产生	214
一、合理的手术设计	214
二、良好的固视和定位	215

三、角膜瓣的质量和制瓣方式	216
四、正确的手术操作	216
五、先进的眼球跟踪系统	216
六、切削模式的改进	217
七、角膜伤口愈合的有效控制	217
八、其他因素的有效控制	217
第八节 波前像差引导角膜屈光手术的临床特殊病例	218
一、对偏心切削效应的修正	218
二、近视欠矫伴角膜屈光分布形态异常的增强手术	221
三、有效光学切削区偏小的增强手术	224
四、角膜曲率分布不对称者的个性化屈光矫正术	225
第九节 Q 值引导的个性化角膜屈光手术	230
一、概述	230
二、角膜的形态与 Q 值	230
三、角膜屈光手术对角膜 Q 值的影响	231
四、Q 值引导的个性化角膜屈光手术	233
第十一章 波前像差与眼内晶状体	237
第一节 波前像差与不同类型白内障的关系	237
第二节 波前像差技术在人工晶状体的应用	239
一、人工晶状体眼的像差变化	239
二、白内障超声乳化术后角膜像差的变化	239
三、人工晶状体影响术眼像差的因素	240
第三节 非球面人工晶状体的特性	241
一、设计原理	241
二、发展历程	242
三、不同像差晶状体的选择	243
四、各种非球面人工晶状体的临床研究	244
五、影响非球面人工晶状体优越性的因素	245
六、前景展望	246
第四节 多焦点人工晶状体波前像差研究	247
第十二章 波前像差与角膜接触镜	251
第一节 角膜接触镜矫正特性	251
一、角膜接触镜光学性能优势	251
二、角膜接触镜材料和设计	255
三、角膜接触镜和泪膜质量与光学效应	257
四、角膜接触镜引起的视觉质量变化	260
第二节 角膜接触镜引发的波前像差和对比敏感度变化	263
一、SCL 引起的像差改变	263

二、RGPCl 引起的像差改变	264
三、角膜塑形镜引起的像差改变	265
四、CL 戴镜中瞬目与泪液变化对波前像差的影响	266
五、CL 引起的对比敏感度变化	267
第三节 特殊疾病的角膜接触镜矫正与视觉质量评价	270
一、圆锥角膜 CL 矫正的视觉质量	270
二、角膜屈光手术后 CL 矫正的视觉质量	273
三、眼外伤术后 CL 矫正的视觉质量	278
第十三章 波前像差与自适应光学	282
第一节 概述	282
第二节 波前校正	283
一、波前校正器	283
二、相位共轭	283
第三节 视网膜高分辨率成像	285
第四节 小结	289
第十四章 视觉矫正和波前技术的现状与未来	290
第一节 波前测量的局限性	290
第二节 波前技术的应用	290
一、波前像差与视觉矫正	290
二、波前技术的其他应用	293
中文索引	296
英文索引	300