

借



普通高等教育“十五”国家级规划教材

全国高等学校教材

供眼视光学专业用

屈光手术学

主 编·王勤美

副主编·陈跃国



人民卫生出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

全国高等学校教材

供眼视光学专业用

屈光手术学

主 编 王 勤 美

副主编 陈 跃 国

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 铮 (中山大学中山眼科中心)

王 雁 (天津医科大学)

王勤美 (温州医学院眼视光学院)

张丰菊 (大连医科大学附属第一医院)

严宗辉 (暨南大学附属深圳眼科中心)

张金嵩 (郑州大学第一附属医院)

沈 晔 (浙江大学医学院附属第一医院)

陈跃国 (北京大学第三医院)

秘 书 叶 恬 恬

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

屈光手术学/王勤美主编. —北京:人民卫生出版社,
2004. 8

ISBN 7-117-06368-8

I. 屈… II. 王… III. 眼外科手术 IV. R779.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 072076 号

屈 光 手 术 学

主 编: 王 勤 美

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078)北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: [http://www. pmph. com](http://www.pmph.com)

E - mail: [pmph @ pmph. com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 原创阳光印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 850 × 1168 1/16 印张: 11.75 插页: 6

字 数: 262 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-06368-8/R · 6369

定 价: 19.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

全国高等学校眼视光学专业规划教材

出版说明

近十几年来,随着我国眼视光学教育的迅速发展,眼视光学专业在各医学院校相继开办,急需一套规范的教材。全国高等医药教材建设研究会和卫生部教材办公室经过深入调研,决定聘请在本专业有丰富教学经验的专家教授编写出版本套教材。本套教材在编写工作中,遵循培养目标,主要针对本科五年制教学需要,突出眼视光学专业特色,注重全套教材的整体优化。突出教材的三基(基本理论、基本知识和基本技能)、五性(思想性、科学性、先进性、启发性和适用性)的特点。四年制及七年制教学可参考使用。

教材目录

1. 视光学理论和方法	主编 瞿 佳
2. 眼科学基础	主编 刘祖国 副主编 赵堪兴
3. 眼视光公共卫生学	主编 赵家良 副主编 管怀进
4. 视觉神经生理学	主编 刘晓玲
5. 双眼视觉学	主编 王光霁 副主编 崔 浩
6. 眼镜学	主编 瞿 佳 副主编 姚 进
7. 角膜接触镜学	主编 吕 帆 副主编 谢培英
8. 眼病学	主编 褚仁远 副主编 张 琳
9. 屈光手术学	主编 王勤美 副主编 陈跃国
10. 低视力学	主编 孙葆忱
11. 眼视光影像学	主编 宋国祥
12. 眼视光器械学	主编 吕 帆 副主编 徐 亮

眼视光学系列教材编委会名单

名誉主任委员 赵家良

主任委员 瞿 佳

委 员 (按姓氏笔画排列)

吕 帆 温州医学院

孙葆忱 北京眼科研究所

刘祖国 中山大学

赵家良 中国协和医科大学

徐 亮 首都医科大学

崔 浩 哈尔滨医科大学

褚仁远 复旦大学

瞿 佳 温州医学院

秘 书 周翔天 温州医学院

前言

从20世纪50年代至今,屈光手术经历了曲折的发展历程。自16世纪认识到屈光不正以来,人们一直以不懈的努力致力于探索屈光不正的矫正和治疗手段,不满足于框架眼镜和隐形眼镜的非手术矫正,研究并发展了许多屈光手术。

在眼视光学的体系中,屈光手术因其成为视觉矫正的三大手段之一而占有一席之地,《屈光手术学》与《眼镜学》、《隐形眼镜学》一起为三种矫正手段作了较为详尽的介绍,又与《低视力学》一起成为眼视光学中四类相对独立的解决问题的方法和技术,为组成眼视光学的高楼大厦添上了最后一块砖。

现在,人们把眼球作为一个“光学”器官来处理,在几何光学和物理光学的基础上建立起眼的模型,结合眼球作为一个生物器官的自然特性,从角膜到眼内研究出一个又一个方法来提高眼的视觉质量,甚至期望获得“超”视力。从非手术矫正到屈光手术,又回到非手术的新方法,科学技术的进步在我们小小的眼睛上发挥的淋漓尽致。

屈光手术学作为一门学科也仅仅是最近几年的事。这是一门飞速发展的学科,一门现代科技高度聚焦的学科,许多设备目不暇接,许多技术日新月异,因此这也是最难编写的一本教材。

好在我们有许多同事在一起不懈的工作着,我们的编者在百忙之中,在眼前无数个屈光手术的缝隙之中挤出他们宝贵的时间来,将他们各自上万例手术的经验教训写下来,为的是给我们的初学者和后来者一些启发,少走弯路、精益求精。因为在我们手下的是明亮而正常的眼睛,我们肩负着历史的重任,我们的共同目的是提高人们的视觉质量,我们最终要达到理想的境界。

诚挚感谢所有对屈光手术学和本教材做出贡献的人们,也要感谢为本教材的稿件和插图工作中付出辛勤劳动的叶恬恬、周骅、余野、张凤妍、王小娟、张雅丽、许琛琛、林叶等医生。

由于水平和时间所限,本书作为第一本屈光手术学的教材,一定存在许多不足和错误之处,敬请读者指正。

王勤美

2004年7月于温州

目 录

第一章 屈光手术的历史、现状和发展	1
第二章 屈光手术的基本理论和原则	5
第一节 相关眼组织的解剖和生理	5
一、角膜解剖生理与切口愈合	5
二、角膜生物力学	14
三、晶状体、睫状体和调节机制	17
第二节 屈光手术的分类	19
第三节 屈光手术的原则	20
第四节 理想的屈光手术	21
第三章 屈光手术的检查、评估和筛选	23
第一节 一般项目	23
第二节 主要项目	28
第三节 特殊项目	45
第四节 屈光手术的适应证	55
第五节 屈光手术的禁忌证	55
第四章 屈光手术的器械和设备	57
第一节 准分子激光机	57
一、准分子激光的产生机制	57
二、准分子激光机的基本构成和性能	58
三、准分子激光机的光学原理	59
四、准分子激光的种类及其特征	59
五、准分子激光的生物学特性	60
六、准分子激光机的副作用及对人体的影响	61
七、常用准分子激光机的特点	62
第二节 显微角膜板层刀	64
一、显微角膜板层刀的基本结构和附件	64
二、显微角膜板层刀的使用与注意事项	64

三、显微角膜板层刀的种类及其优缺点	65
第五章 激光角膜屈光手术	66
第一节 准分子激光角膜表面切削术	66
一、概述	66
二、手术机制	66
三、手术适应证和禁忌证	67
四、手术方法	71
五、手术并发症及其预防和处理	72
六、术后随访复查	77
七、影响手术预测因素和转归	78
第二节 准分子激光原位角膜磨镶术	79
一、概述	79
二、基本原理	79
三、适应证和禁忌证	80
四、手术方法	80
五、手术并发症及其预防和处理	86
六、术后随访复查、影响因素和转归	94
七、眼部手术后的 LASIK	95
第三节 准分子激光上皮下角膜磨镶术	96
一、概述	96
二、手术机制	97
三、适应证和禁忌证	97
四、手术方法	98
五、手术并发症及其预防和处理	99
六、术后随访复查、影响因素和转归	100
第四节 激光角膜热成形术	101
一、手术原理	101
二、适应证	101
三、禁忌证	101
四、手术方法	101
第五节 展望	102
一、历史与现状	102
二、设备的选择	103
三、手术方法	104
四、疗效评价	105
五、存在的问题	105
六、前景	106

第六章 非激光角膜屈光手术	107
第一节 放射状角膜切开术及其改良术	107
一、概述	107
二、手术机制	107
三、适应证和禁忌证	108
四、手术方法	108
五、手术并发症及其预防和处理	112
六、术后随访复查、影响因素和转归	113
第二节 角膜基质环植入术	114
一、概述	114
二、基本原理	115
三、手术方法	116
四、适应证和禁忌证	117
五、患者选择和术前检查	118
六、术后随访复查、影响因素和转归	118
七、手术并发症及其预防和处理	119
第三节 其他非激光角膜屈光手术	122
一、角膜松解切开术	122
二、角膜楔形切除术	124
三、角膜磨镶术	125
四、角膜内镜片术	126
五、角膜表面镜片术	126
六、原位角膜磨镶术	127
第七章 晶状体摘出人工晶状体植入	129
第一节 白内障摘出与人工晶状体植入	129
一、白内障手术简史	129
二、白内障手术如何实现从复明手术到屈光手术的转变	130
三、白内障手术的术前检查	131
四、白内障手术的手术适应证	131
五、白内障摘出手术方法	131
六、人工晶状体植入术	132
第二节 透明晶状体摘出与人工晶状体植入	138
一、概述	138
二、视光学原理	138
三、适应证与禁忌证	138
四、术前检查	139
五、手术方法	139

六、手术并发症及其预防和处理	139
七、手术后随访	139
第三节 展望	140
第八章 有晶状体眼人工晶状体植入	141
第一节 概述	141
一、有晶状体眼人工晶状体的历史	141
二、有晶状体眼人工晶状体的视光学意义	141
三、有晶状体眼人工晶状体的分类	142
四、有晶状体眼人工晶状体的生理要求	143
第二节 手术准备	144
一、术前检查	144
二、适应证	144
三、禁忌证	145
四、人工晶状体的计算	145
第三节 手术方法	146
一、前房型有晶状体眼人工晶状体植入	146
二、后房型有晶状体眼人工晶状体植入	148
三、术后处理	148
第四节 手术并发症及处理	149
一、术中并发症	149
二、术后并发症	150
第五节 有晶状体眼人工晶状体植入的评价	152
第九章 巩膜手术	154
第一节 老视手术	154
一、老视机制和手术原理	154
二、老视手术的分类	155
三、激光老视逆转术	156
四、老视手术的检查评估	157
第二节 后巩膜加固术	158
一、巩膜加固材料及保存	159
二、病例选择和检查	159
三、手术方法	160
四、术后处理	161
五、手术效果	162
六、手术并发症及预防和处理	162

第十章 屈光手术的联合手术	164
第一节 概述	164
一、手术适应证	164
二、手术时机	164
第二节 角膜与眼内屈光手术的联合	165
一、有晶状体眼人工晶状体植入术联合准分子激光角膜手术	165
二、透明晶状体摘除术联合 LASIK	165
三、眼内屈光手术联合角膜散光矫正术	165
第三节 眼内屈光手术的联合	166
一、双人工晶状体植入	166
二、有晶体眼和无晶体眼人工晶状体的联合植入	166
第四节 其他联合方式	167
中英文索引	168
参考文献	175

第一章

屈光手术的历史、现状和发展

早在 1708 年,有人就提出摘除透明晶体可以矫正高度近视,1894 年 Fukala 报告了手术结果。

1898 年,荷兰 Lanis 发现烧灼角膜可以改变屈光力,Wray (1914 年)和 O'Corinor(1933 年)报道了热烧灼矫正角膜散光。Bock (1939 年)用电凝固术、中村明(1941 年)用烧灼法都曾治疗过近视。

真正在角膜上施行手术以矫治近视的先驱者是日本佐藤勉(Sato, 1939 年),他从圆锥角膜患者在 Descemet 膜破裂后因角膜变平而使近视降低的现象得到启发,第一个采用放射状角膜切开术矫正近视眼。开始他是在角膜前表面做切口,但因保留直径 6mm 以上的角膜中心视区过大,同时角膜厚度 50% 的角膜切口深度不够,故疗效不满意,就改行角膜前后两面半切开。虽然术后早期收到了一定的效果,但由于当时人们尚未发现角膜内皮维持角膜透明的重要作用,他对角膜后面的切开严重损伤了角膜内皮细胞,约 3/4 的病例在 10 多年后因角膜水肿或大泡状角膜病变而失明或行角膜移植术。

另一位角膜屈光手术的先行者是哥伦比亚 Barraquer,他创立了板层角膜屈光手术,用直接改变角膜厚度的方法达到了改变角膜屈光力的目的,主要采用角膜镜片术(keratophakia)与角膜磨镶术(1963, keratomileusis)。

前苏联 Fyodorov (1973 年)偶尔在一个眼外伤患者发现角膜创口愈合后,其原有近视明显降低,于是创立了早期的放射状角膜切开术(radial keratotomy, RK),并于 1979 年首次报道角膜前表面放射状切开术矫治近视与散光比较满意的效果,这是现代放射状角膜切开术的开端,对发展角膜屈光手术作出了重大贡献。他提出了现代 RK 最重要的手术原则:①只能在角膜前表面进行切开;②保留角膜中心视区越小,屈光矫正效果越大;角膜切开深度越深,矫正效果越大;③建立了手术计算公式,在术前对患眼进行计算后决定手术量以获得术后较满意的效果。

美国 Bores 从 Fyodorov 那里学习后在美国开始了第一例手术(1978 年),他强调较深切开角膜这一手术原则对提高矫正效果的重要性,最终使切开角膜深度从原来的 75% 增加至 80% ~ 90%,明显提高了手术效果。至 1984 年底美国共施行了近 15 万例手术,丰富的临床经验和实验室研究为这一手术的发展作出了贡献:①改进了检查仪器(从光学测厚到超声角膜测厚仪)与手术器械(从刮须刀片到角膜钻石刀);②简化了手术计算公式并使手术操作规范化;③进行了系

统性的基础研究和临床研究。

我国朱志忠(1981年)在自制手术放大镜下进行了RK手术。通过30例52眼角膜放射状切开术及3个月随访,证明手术对3D以内近视疗效可靠、安全简便、无严重并发症。

几乎与RK同时,美国Kaufman(1980)提出角膜表面镜片术(epikeratophakia),因临床效果安全有效而受到各国重视,并有大量的临床报道,我国中山眼科中心(1990年)也开始了临床研究和应用。

1983年美国Trokkel等人首先用193nm的氟化氩(ArF)准分子激光进行角膜切削的实验研究。1985年德国Seiler等将其用于盲眼以矫正角膜散光。1987年美国McDonald等第一次应用于近视眼并获得良好的临床效果,此后全世界逐渐掀起准分子激光角膜表面切削术(photorefractive keratectomy, PRK)矫治近视的高潮。

1986年Ruiz报告用近视性原位角膜磨镶术(keratomileusis in situ)治疗高度近视。手术要点是用微型角膜刀切削出一片游离角膜瓣后,按照一定的屈光力在角膜基质床上进行第二次切削,切除部分角膜组织,再将游离角膜瓣缝回原位。通过控制第二次切削的面积和深度,获得不同的屈光矫正。这种手术避免了此前角膜磨镶术需将游离角膜片进行冷冻切削的问题,患者恢复期缩短,并增加了可矫正的近视度数。但因其负压环固定眼球时间长,且二次切削很难保持在同一中心,术后易发生中心视区偏离,屈光预测性不理想,散光不能控制。后来Avalos发现游离角膜瓣无需缝合而复位,可减少手术源性角膜散光并缩短手术时间。但在安全性、准确性和可预测性上,原位角膜磨镶术仍然不是一种理想的手术。虽然Ruiz于1994年发明了自动角膜成形刀(automatic corneal shaper, ACS),后来称为显微角膜板层刀(microkeratome),提出了自动板层角膜成形术(automated lamellar keratoplasty, ALK),其实质还是一种原位角膜磨镶术。

1990年希腊Pallikaris将以往的角膜磨镶术与准分子激光角膜切削术结合起来在兔角膜上研究手术,提出了准分子激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK),解决了PRK术后的haze问题,最后使角膜屈光手术走上了目前仍占主流的坦途。

但是角膜屈光手术继续在发展。1999年意大利Camellin等在美国白内障与屈光手术年会(ASCRS)上首次报道准分子激光上皮下角膜磨镶术(laser-assisted subepithelial keratomileusis, LASEK),采用20%浓度的酒精和机械的方法制成一个角膜上皮瓣,激光切削后回复原位以期减少haze。Pallikaris(2002年)又创用角膜上皮刀取代酒精制作上皮瓣,达到了安全、简便、快速的目的。2003年以来在美国得到推广应用的激光角膜刀,用超高频率的飞秒激光(femtosecond laser)进行角膜瓣的切削以代替微型角膜刀,具有很好的发展势头。

此外,非激光的角膜屈光手术也仍然在发展之中。1978年Reynolds首先提出通过在角膜周边放射状切口植入角膜基质环(intrastromal corneal ring, ICR)重塑角膜形状的概念,并在早期的理论和研究中得到证实,通过扩展和压缩环的直径改变角膜前表面曲率从而矫正近视或远视。1987年Fleming和Reynolds介绍角膜基质环用于矫正近视和远视,用PMMA材料360°的角膜基质环植入兔眼角膜2/3厚度,中央角膜明显变平,变平的量与环的厚度有关。后来Fleming建立了数学模型。1991年美国FDA批准在人盲眼进行第I阶段临床研究。1997年开始的第III阶段临床研究为454只近视眼植入角膜基质环。1998年法国Colin开始用于治疗圆锥角膜。

美籍华人Liang(1994年)等以Hartmann-Shack波前像差感受器测量人眼屈光系统整体像差,并采用自适应光学系统(adaptive optics)使受试者矫正视力达到2.0。从此引发人们期望矫

正人眼像差以获得“超常视力”(supernormal vision)的种种探索。1999年瑞士和美国分别开始波前像差引导的个体化角膜切削的临床研究。我国也从2002年开始了这方面的临床研究。

在角膜上进行远视眼手术矫治也起始于Barraquer(1964)报告的角膜磨镶术(keratomileusis),是用微型角膜刀将角膜前层切下,冷冻后用车床将其中央或周边部进行球面切削,再缝回原位使角膜中央或周边部变薄,从而矫正近视或远视。角膜镜片术(keratophakia)是将角膜板层切开,另将一人眼角膜切削成凸透镜,夹镶于切开的板层之间以矫正远视。此外也有采用合成材料的角膜镜片术。

矫正散光的手术早就开始尝试。Snellen(1869年)曾提出在角膜前表面进行松弛性切开,使陡峭的子午线曲率变平以矫正高度角膜散光。Botes(1894年)则于角膜缘行楔形切除术使扁平的子午线变陡。1890年代Lans等提出角膜松解切开术,又称为散光性角膜切开术(astigmatic keratotomy, AK)及角膜楔形切除术(wedge resection),方法是切除一条或一对新月性的楔形角膜组织。

除在角膜上施行手术以矫正近视,远视和散光以外,人们逐渐认识到眼内手术对矫治屈光不正的作用,而且越来越多地被更多的医生和患者所接受。

早在1708年Boerhaave就提出可摘除透明晶状体以矫正高度近视眼的屈光不正,法国Fukala(1889年)再次提出并开展了手术。由于当时条件的限制,术后视网膜脱离、继发性青光眼及机化膜形成等严重影响了手术效果。后来随着白内障手术的发展不断有人采用不同术式摘除透明晶状体以治疗高度近视,但真正以晶状体置换的方式作为一种可供高度近视患者选择的手术,还是在人工晶体和小切口超声乳化技术出现之后。

人们起初开展白内障手术以来,是为了去除混浊的晶状体以免阻挡进入眼内的光线,而且手术方式对眼球损伤大,人们并没有将其作为屈光手术。随着技术的不断进步,晶状体手术的安全性和精确性大大提高,并发症大大减少,同时眼底检查和激光设备和技术也提高了手术的安全性,人们在反复考虑利弊之后,终于把透明晶状体置换术作为矫治高度近视和高度远视的一种可选择的屈光手术。

同时,人们也认识到白内障手术在提高手术操作的基础上应该进一步提高患者术后的视觉质量,例如,从被动考虑如何避免产生术后屈光不正包括散光,到主动设计以手术的方式使伴有或不伴有屈光不正的白内障患者在术后屈光不正(包括散光)得到很好的矫正或控制,获得理想的视觉效果,实现白内障手术从“复明手术”到“屈光手术”的质的飞跃。

有晶状体眼人工晶状体植入(phakic intraocular lens, PIOL)作为屈光手术的历史可以追溯到上世纪50年代。在人工晶状体矫正无晶状体眼屈光状态的基础上,Strampelli设计了用于超高度近视有晶状体眼的负屈光度人工晶状体,Barraquer首次报告了PMMA材料的房角固定的前房型有晶状体眼人工晶状体结果。Baikoff(1989年)在Kelmen成功用于无晶状体眼的前房型人工晶状体的基础上设计了前房型人工晶状体(anterior chamber intraocular lens, AC IOL)。Worst设计了虹膜爪型(iris-claw)有晶状体眼人工晶状体。Fyodorov(1986年)介绍了一种用于有晶状体眼的单片式硅胶人工晶体,STAAR公司在此基础上改良并混入胶原提高了生物相容性,最终成为后来的STAAR眼内植入性接触镜(implantable contact lens, ICL)。纯粹的后房型有晶状体眼屈光性晶状体(posterior chamber phakic refractive lens, PC PRL)的概念源于前苏联的Fyodorov,第一枚有晶状体眼屈光性晶状体其横断面像“蘑菇”(mushroom)。1987年以来Medennium研发

了一系列硅胶的后房型有晶状体眼屈光性晶状体,2000年获得CE认证,现正进行FDA III阶段临床研究,已有250例手术。

近视眼由于众所周知的复杂性和难治性,引起人们极大的研究兴趣,数以百计的手术和方法层出不穷,其中固然不乏无效的尝试,也有不少有益的探索。

有许多巩膜手术期望能够治疗近视眼,最早是Müller(1903年)采用赤道部巩膜环切术。原苏联Malbran(1954年)首次报道用后巩膜加固术(posterior scleral reinforcement)治疗近视眼21例。Snder和Thompson(1972年)改进了手术,使之更简单、安全、有效。在原苏联的手术患者就超过了1万例。

人们也一直在不断地探索老视手术的可行性。前睫状巩膜切开术(anterior ciliary sclerotomy, ACS)是Thornton(1996年)提出,通过放射状切开角巩缘外巩膜而增加巩膜的弹性及利用眼内压对巩膜的作用使巩膜扩张。Schachar(1990年)对经典的调节和老视学说提出挑战,并开展巩膜扩张术(scleral expansion band surgery)在睫状体部位的巩膜层间植入巩膜扩张带(scleral expansion band, SEB)以期逆转老视。激光老视逆转术(laser presbyopia reversal, LAPR)是由美籍华人JT Lin(2001年)介绍并应用于临床,采用红外或紫外激光进行睫状体部位的巩膜切开。

回顾历史,屈光手术的发展历程并非坦途,但是人们为了实现自己的梦想,从未在失败中放弃过努力,并且总是一步一步向着理想的屈光手术前进。科学的进步也将把越来越多的新技术带给我们,完全有理由相信我们将继续前进,接近并最终达到人类理想的境界。

(王勤美)

第二章

屈光手术的基本理论和原则

第一节 相关眼组织的解剖和生理

一、角膜解剖生理与切口愈合

(一) 角膜解剖

角膜呈完全透明状态,约占纤维膜的前 1/6。成年人角膜水平径平均 11.7mm (11.0 ~ 12.5mm),女性略小;垂直径略短,平均 10.2mm (10.0 ~ 11.5mm)。3 岁以上儿童,其角膜直径已接近成人。中央瞳孔区附近大约 4mm 直径的圆形区内近似球形,其各点的曲率半径基本相等,而中央区以外的中间区和边缘部角膜较为扁平,各点曲率半径也不相等。从角膜前面测量,水平方向曲率半径为 7.8mm,垂直方向为 7.7mm;角膜后表面的曲率半径为 6.2 ~ 6.8mm。角膜厚度各部分不同,中央部最薄,平均为 0.5mm,周边部约为 1mm。角膜的表面积为 1.3cm²,为眼球总面积的 1/14。

角膜分为五层,由前向后依次为:上皮细胞层(epithelium)、前弹力层(lamina elastica anterior)、基质层(stroma)、后弹力层(lamina elastica posterior)和内皮细胞层(endothelium)。

1. 角膜上皮层(corneal epithelium) 是角膜最外边一层,解剖上与结膜相延续。角膜中央最薄,厚约 50 ~ 60 μ m,约占全角膜厚度的 10%,由 5 ~ 6 层细胞所组成。角膜周边上皮增厚,约 70 ~ 80 μ m,细胞增加到 8 ~ 10 层。根据不同研究者的报告,上皮层的屈光指数 1.375 ~ 1.543,差异较大。

复层上皮细胞共分为三种:基底细胞(basal cells)、翼状细胞(wing cells)和表层细胞(superficial cells)。在基底细胞与翼状细胞层间偶尔可见淋巴细胞及吞噬细胞。

(1) 基底细胞层:位置最深。为一单层细胞,其底部紧接前弹力层,细胞的顶部与翼状细胞连接,每个细胞的大小及形状基本一致,为多角形、高柱状,高 18 μ m、宽 10 μ m。

基底细胞底部的细胞膜厚约 8nm,其后面隔着 11nm 宽的间隙有一层基底膜。沿底部细胞膜有许多半桥粒(half-desmosomes),从半桥粒发射出一些微细纤维,穿过间隙与基底膜相连接,甚者继续向深部延伸,穿过基底膜进入前弹力层。这些半桥粒对上皮层在前弹力层上的粘附起

了很大的作用。

电镜显示基底膜为完整的嗜锇酸层,厚约 $480\text{\AA}$ 。在角膜不同的部位基底膜的厚度不同,基底膜在中央部薄,在周边部基底膜厚,基底膜与后面的前弹力层混合在一起,界限不清楚。

相邻基底细胞的侧壁细胞膜以桥粒(desmosomes)及粘连斑(maculae occludentes)相连接,但后者较为少见。在基底细胞之间可以看到单树突或多树突的无髓鞘神经。在基底细胞前面为翼状细胞,两者的细胞膜之间为桥粒所连接,偶尔也可见粘连斑。

(2)翼状细胞:为多角形,在角膜中央区有2~3层,周边部变为4~5层。翼状细胞的前面呈凸面,其下面呈凹面。它向侧面延伸变细,形似翼状,与其相邻的细胞及基底细胞相连接,故名。当基底细胞进行有丝分裂向前移入翼状细胞层时,仍保持其多角形,但逐渐变细。

翼状细胞层的细胞膜显示出明显的交错对插(interdigitation)。翼状细胞之间及翼状细胞与基底细胞之间以桥粒相连接。翼状细胞层的桥粒连接比基底细胞层多,且在翼状细胞层的表面细胞桥粒连接更多,翼状细胞层中的粘连斑比基底细胞层也更为常见。

(3)表层细胞:表层细胞分为两层。细胞长而细,细胞长约 $45\mu\text{m}$,厚度约 $4\mu\text{m}$ 。其细胞核扁平,长约 $25\mu\text{m}$ 。

在翼状细胞层与表层细胞之间,桥粒连接与粘连斑更为多见。在上皮细胞层中,粘连小带(zonula occludens)仅见于表层细胞,这种粘连小带见于邻近角膜表面的细胞侧壁,紧接角膜前的泪膜。假若细胞的表层保护完好,其前面的细胞膜显示出许多小的微皱褶(microplicae)及微绒毛(microvilli)。微绒毛高 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$,粗约 $0.5\mu\text{m}$;微皱褶高 $0.5\mu\text{m}$,粗 $0.5\mu\text{m}$ 。微绒毛及微皱褶是表面上皮细胞正常结构的一部分,对角膜前泪膜的滞留起着重要作用。

2. Bowman 膜(Bowman's membrane) 又名前弹力层。过去认为这是一层特殊的膜,电镜显示该膜主要由胶原纤维所构成。

Bowman 膜厚约 $8\sim 14\mu\text{m}$,由胶原及基质所构成。除了 Schwann 细胞延伸到该层以外,前弹力层没有细胞成分。Schwann 细胞的延伸部分沿着神经穿过的隧道到达角膜上皮层。前弹力层的前面是光滑的,与角膜上皮的基底膜相毗邻。后面与实质层融合在一起。在角膜周边部,前弹力层变薄,可出现细胞,甚至毛细血管。

前弹力层中的胶原纤维比实质中的胶原纤维细,排列松散且不规则。胶原纤维粗细均匀一致,直径为 $14\sim 16\text{nm}$ (Jakus,1961)。胶原纤维周围的间隙为粘蛋白质所填充,与实质层的成分类似。角膜周边部的前弹力层纤维排列松散,其胶原纤维逐渐与球结膜的胶原纤维相融合。

此层抵抗力弱、易受损、无再生能力,PRK 术后被激光消去,LASIK 术后可保留。

3. 角膜基质层(corneal stroma) 由胶原纤维所构成,厚约 $500\mu\text{m}$,占整个角膜厚度的90%。角膜基质层共含有200~250个板层,板层相互重叠一起。每一板层厚 $2\mu\text{m}$,宽 $9\sim 260\mu\text{m}$,长度横跨整个角膜。板层与角膜表面平行,板层之间也平行。角膜板层由胶原纤维组成,胶原纤维集成扁平的纤维束,纤维束互相连合,形成规则的纤维板,纤维板层紧密重叠,构成基质层。

板层的主要成分除胶原纤维以外,尚有纤维细胞(fibroblasts, keratocytis)及基质,还可见 Schwann 细胞,偶见淋巴细胞、巨噬细胞及多形核白细胞。

电镜下每一个切面均可见胶原纤维的纵切、斜切及横切面。胶原纤维相互平行,大小一致,间隔相等,其直径为 $32\sim 36\text{nm}$,其长度横跨角膜直径。纤维束被基质包绕并使其彼此分离。在角膜周边部,其结构逐渐接近巩膜,板层及其纤维成分走向不规则,纤维直径增加到 $60\sim 70\text{nm}$,