

主编 李镜海

肖 瑛

近视 手术治疗学

JINSHISHOUSHUZHILIAOXUE



人民卫生出版社

近视

手术治疗学

JINSHISHOUSHUZHILIAOXUE

主 编 李镜海 肖 瑛

副主编 王传富 周 芳 蔡可丽

编著者 (按姓氏笔画排列)

马晓华 王传富 生 晖

刘美光 刘云川 李镜海

李 艳 李 运 李建桥

肖 瑛 周 芳 赵桂秋

秦雪娇 程振英 蔡可丽

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

近视手术治疗学/李镜海等主编. —北京:
人民卫生出版社, 2001

ISBN 7-117-04574-4

I. 近… II. 李… III. 近视-眼外科手术
IV. R779.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 075212 号

近视手术治疗学

主 编: 李镜海 肖 瑛

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: 北京通县永乐印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12 插页: 4

字 数: 271 千字

版 次: 2001 年 11 月第 1 版 2001 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 00 001—3 000

标准书号: ISBN 7-117-04574-4/R·4575

定 价: 27.50 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)

前 言

近视是一种常见病，在我国的发病率逐年增高，各种治疗近视的方法不断出现，良莠不齐。20 世纪 80 年代以来，近视的手术治疗迅速发展，是目前眼科专业发展最快的领域之一。20 世纪 80 年代末至 90 年代初，手术治疗近视以放射状角膜切开为主，20 世纪 90 年代中期以后，以激光角膜切削即 PRK 和 LASIK 为主要方法，还有一些手术方法也已崭露头角，具有良好的发展前景，但国内目前尚无该领域的专著，在我国近视手术开展日益普及的情况下，由于缺乏详细实用的参考书，临床医生在手术适应证的选择、术中术后并发症的处理等方面缺乏正确的指导，故不断有一些并发症发生，有的甚至是严重的并发症。编写一部详细、规范、实用的近视手术治疗的参考书，实为急需及必要。

本书作者均长期从事近视眼的基础和临床研究，采用各种手术方法治疗近视患者 3 万余例，积累了一定的经验，我们愿将 10 年来从事近视手术治疗的经验和教训做一总结，供广大眼科医生参考。

本书共 12 章，重点介绍各种手术矫治近视的方法，其中有的章节，如角膜内镜片术与基质内角膜环植入术，我们尚未亲自实践，仅在广泛搜集了国外有关资料后向读者作一介绍。由于水平所致，内容难免有不当之处，恳请眼科同道多多指正。

李镜海 肖 瑛

2001 年 4 月

目 录

第1章 总论	1
第1节 近视手术的名称、定义和分类	1
一、角膜手术	1
二、晶状体手术	2
三、巩膜手术	3
第2节 角膜的解剖与生理	3
一、角膜的解剖	3
二、角膜的生理	6
第3节 近视手术应注意的眼病	7
一、眼睑疾病	7
二、感染性炎症	7
三、慢性开角型青光眼	8
四、干眼症	8
第4节 近视手术病人的选择	8
一、手术咨询	8
二、术前检查	9
第5节 与近视手术有关的光学问题及角膜地形图	10
一、与近视手术有关的光学问题	10
二、角膜地形图	13
第6节 药物对屈光手术后角膜修复的影响	26
一、正常角膜创伤的愈合	26
二、药物对屈光手术后角膜修复的影响	26
第2章 放射状角膜切开术	31
第1节 放射状角膜切开术发展历史	31
第2节 手术前准备	33
一、手术条件	33
二、器械配备	33
三、病人的筛选	35
第3节 手术方法	36
一、术前检查	36
二、术前准备	36
三、手术方案的设计	36

四、手术步骤	38
第4节 影响手术疗效的因素	40
一、角膜中央光学区的大小	40
二、切口深度	41
三、切口条数	41
四、术前屈光度	41
五、年龄	41
六、性别	42
七、周边切口加深	42
八、其它影响因素	42
第5节 手术并发症及其处理	42
一、术中并发症及其处理	42
二、术后并发症及其处理	43
第6节 放射状角膜切开术疗效评价	44
第7节 手术切口愈合过程	45
 第3章 准分子激光角膜切削术	46
第1节 历史	46
第2节 准分子激光角膜切削术原理	47
第3节 术前检查及病人选择	48
一、术前检查	48
二、病人的选择	50
第4节 手术技巧	51
一、检测步骤	51
二、手术步骤	51
第5节 术后处理	53
第6节 术中术后并发症及处理	53
一、手术中的并发症及处理	53
二、术后早期并发症	55
三、术后中晚期并发症	55
第7节 术后角膜愈合	57
第8节 临床效果分析及影响因素	58
一、有效性	58
二、预测性	59
三、稳定性	59
四、安全性	59
第9节 术后角膜地形图改变	60
一、PRK 术后角膜地形图的分类	60
二、临床意义	62

第 10 节	术后角膜厚度的变化	62
第 11 节	术后角膜知觉的变化	63
第 12 节	术后眼内压的变化	63
第 4 章	准分子激光原位角膜磨镶术	64
第 1 节	发展历史	64
一、	角膜板层技术的发展	64
二、	准分子激光技术的发展	65
三、	角膜板层技术与准分子激光技术的结合	66
第 2 节	板层角膜刀的类型和特点	66
一、	几种常见的板层角膜刀	66
二、	选择板层角膜刀应注意的问题	69
第 3 节	手术技巧	71
一、	手术病人的选择	71
二、	术前检查	72
三、	手术参数的设定	73
四、	手术步骤	73
第 4 节	术后处理	76
第 5 节	手术并发症的预防及处理	77
一、	概述	77
二、	与微型角膜板层刀相关的术中并发症	77
三、	术后并发症及处理	83
四、	对眼部的其它影响	94
第 6 节	术后角膜愈合	95
一、	角膜上皮的愈合	95
二、	角膜基质的愈合	96
三、	角膜神经的愈合	96
第 7 节	临床效果分析及影响因素	96
一、	治疗效果	96
二、	影响因素	97
第 8 节	术后角膜地形图的改变	98
一、	LASIK 术后角膜地形图改变	98
二、	激光屈光性角膜手术后的角膜地形图分类	98
三、	PRK 与 LASIK 术后的角膜地形图比较	100
第 9 节	术后角膜厚度的改变	100
一、	术后角膜中央厚度的改变	100
二、	角膜瓣的厚度	101
三、	基质床厚度的改变	101
四、	实际切削厚度与预切削厚度的关系	101

第 10 节 术后角膜感觉的改变	102
第 11 节 术后眼压的改变	103
一、非接触式眼压计测量眼压值的改变	103
二、Goldmann 压平眼压计测量眼压值的改变	103
三、LASIK 术后眼压值的矫正	103
四、LASIK 术后眼压读数下降的意义	104
第 12 节 术后其它方面的改变	104
第 5 章 基质内角膜环植入术	105
第 1 节 历史	105
第 2 节 原理	106
第 3 节 适应证	106
第 4 节 手术方法	107
一、术前检查和准备	107
二、手术步骤	107
第 5 节 术后处理	107
第 6 节 并发症及处理	108
一、术中并发症	108
二、术后并发症	108
第 7 节 效果及展望	109
第 6 章 角膜内镜片植入术	110
第 1 节 历史	110
第 2 节 原理	111
一、改变角膜前表面的曲率半径	111
二、改变角膜的屈光指数	111
第 3 节 内植镜的种类	112
一、同种异体角膜内植镜	112
二、异种角膜内植镜	112
三、人工合成的角膜内植镜	112
第 4 节 适应证	113
第 5 节 手术方法	113
一、方法一	113
二、方法二	113
第 6 节 术后处理	114
第 7 节 并发症及处理	114
一、术中并发症	114
二、术后并发症	115
第 8 节 效果及展望	115

第7章 表面角膜镜片术	117
第1节 历史.....	117
第2节 原理.....	118
第3节 表面角膜镜片的种类.....	119
第4节 适应证.....	120
第5节 手术方法.....	121
第6节 术后处理.....	122
第7节 并发症及处理.....	123
一、术中并发症.....	123
二、术后并发症.....	123
第8节 效果及展望.....	124
第8章 晶状体的屈光手术	126
第1节 有晶状体眼的前房型人工晶体植入术.....	126
一、简史.....	126
二、人工晶体的设计.....	127
三、适应证.....	127
四、手术方法.....	127
五、手术效果.....	128
六、并发症.....	128
第2节 有晶状体眼的后房型人工晶体植入术.....	129
一、简史及人工晶体设计.....	129
二、适应证.....	129
三、手术方法.....	130
四、手术效果.....	130
五、并发症.....	130
第3节 透明晶状体摘除及人工晶体植入术.....	131
一、简史.....	131
二、基本原理.....	132
三、适应证.....	132
四、手术方法.....	132
五、手术效果.....	134
六、并发症.....	134
第9章 后巩膜加固术	136
第1节 历史.....	137
第2节 基本原理.....	138
一、后巩膜加固术的机制.....	138

二、亚手术治疗的机制·····	139
第3节 术前检查与准备·····	140
一、术前检查·····	140
二、手术适应证和禁忌证·····	141
三、术前准备·····	142
第4节 加固材料与制备·····	142
一、加固材料·····	142
二、巩膜加固片的形状·····	143
三、巩膜植片的制备和保存·····	143
第5节 手术方法和技巧·····	145
一、单条带式巩膜加固术·····	145
二、Y型植片式后巩膜加固术·····	147
三、X型植片式后巩膜加固术·····	148
四、片式巩膜加固术·····	149
五、巩膜亚手术法·····	150
第6节 术后并发症和处理·····	150
一、术后处理·····	150
二、并发症及其处理·····	151
第7节 术后效果及评价·····	152
一、视功能·····	152
二、屈光度·····	153
三、眼轴·····	153
四、关于高度近视眼底血循环的改善·····	154
第10章 近视散光的手术治疗 ·····	155
第1节 散光的定义·····	155
一、规则性散光·····	155
二、不规则性散光·····	156
第2节 矫正散光的原则·····	156
第3节 角膜切开治疗近视散光·····	157
一、梯形角膜切开术·····	157
二、环形角膜切开术·····	160
三、全弧度、深度依赖性角膜切开术·····	160
四、弧形板层角膜切开术·····	161
五、成对的弧形角膜横切开·····	161
第4节 准分子激光角膜切削术治疗近视散光·····	162
一、手术方式·····	163
二、不规则散光的治疗·····	166
第5节 人工晶体植入术治疗近视散光·····	166

一、手术方法·····	166
二、临床效果·····	167
第 11 章 矫治近视的二次手术 ·····	168
第 1 节 放射状角膜切开术后的二次手术·····	168
一、二次手术病人的选择·····	168
二、手术方法·····	169
三、疗效评价·····	169
第 2 节 准分子激光角膜切削术后二次手术·····	169
一、二次手术病人的选择·····	169
二、手术方法·····	170
三、疗效评价·····	170
第 3 节 准分子激光原位角膜磨镶术后二次手术·····	170
一、二次手术病人的选择·····	171
二、手术方法·····	171
三、疗效评价·····	171
第 4 节 基质内角膜环植入术后二次手术·····	172
第 12 章 近视手术方式的选择及联合手术 ·····	173
第 1 节 中、低度近视术式的选择·····	173
一、放射状角膜切开术·····	173
二、准分子激光角膜切削术·····	174
三、准分子激光原位角膜磨镶术·····	174
四、基质内角膜环植入术·····	174
第 2 节 高度近视术式的选择·····	175
第 3 节 超高度近视术式的选择·····	176
一、表层角膜镜片术·····	176
二、晶状体性屈光性手术·····	176
第 4 节 影响术式选择的其他因素·····	178
一、病人的年龄·····	178
二、病人的职业及爱好·····	178
三、病人术前检查情况·····	178

第1节 近视手术的名称、定义和分类

由于人种及文化特点,我国是近视多发国家之一。一个世纪以来,人们设计了各种手术方法矫正近视,根据手术的部位,可将屈光手术分为角膜手术、晶状体手术、巩膜手术。

一、角膜手术

(一) 放射状角膜切开术(RK) 从1979年前苏联眼科医生 Fyodorov 发表第一篇现代放射状角膜切开术的成功报告以来,RK的手术器械和技术已有了很大进步。该手术是在保留3~4.5mm中央光学区条件下,使用钻石刀在周边角膜行4~12条放射状切口,切割深度达角膜厚度的90%以上,使中央区间接变扁平以达到矫正近视的目的。RK可矫正低、中度近视,一般情况下,最多能矫正-6.0~-8.0D的近视,对高于-10.0D的近视,其手术效果很差。RK的缺陷在于视力波动、眩光、回退、潜在外伤和眼球破裂的危险和角膜瘢痕。

对RK的切口数量、长度、深度、光学区大小与术后效果之间关系的许多研究均表明,短切口有益,数理模型的分析也支持短切口。可以认为,放射状角膜切开术的最佳方法应是4条切口,长度为2.0~3.0mm,光学区为3.0mm,称为小切口的放射状角膜切开术(Mini-RK)。Mini-RK可作为低、中度近视的首选方法之一,也可用来矫正其他屈光手术后的残余近视。

(二) 准分子激光角膜切削术(PRK) 由Marshall提出的准分子激光切削术是通过激光切削掉角膜光学区的上皮及前基质层,重塑角膜前表面曲率,达到降低角膜屈光力的目的。适用于各种类型的近视、单纯近视散光,对于超过-10.0D的高度近视效果较差。术后并发症有上皮缺损、眩光、类固醇性青

光眼、角膜混浊及屈光回退现象。经临床证实 PRK 治疗低、中度近视具有安全性、预测性好及效果佳的特点。

(三) 自动板层角膜成形术 (ALK) 和准分子激光角膜原位磨镶术 (LASIK)

ALK 使用自动角膜定型装置, 用微型角膜刀在角膜基质上切去一定厚度的角膜组织, 从而改变了角膜的屈光度, 经研究证实, 对高度近视疗效确实。LASIK 是将 ALK 第 2 步骤改用准分子激光切削, 使高精度的切削与原位磨镶术相结合, 故手术的预测性、稳定性及安全性明显提高。这两种手术保留上皮和前弹力膜, 局部皮质类固醇应用少, 角膜雾状混浊轻, 术后有效视力恢复快, 适用范围广。但设备复杂, 手术技术要求高, 潜在并发症如感染、不规则散光、上皮植入、过矫应予重视。LASIK 治疗近视近年来逐渐得到人们广泛欢迎。

角膜切削除应用准分子激光外, 其他激光也在研究中。目前近红外激光 Nd: YLF 受到重视, 比准分子激光具有更优越的特点: 不损伤角膜上皮和前弹力膜而直接在基质内切削, 不形成明显瘢痕混浊, 损伤小, 操作安全简单, 故具有广阔的发展前景。

(四) 角膜表面镜片术 (EP) 自 1963 年 Barraquer 行第 1 例角膜表面镜片术至今, 手术技术不断改进。方法是去除角膜上皮, 并在其表面移植经加工切削成不同屈光度的角膜板层镜片, 缺点是预测性差, 故而应用较少。

(五) 角膜基质内环植入术 (ICR) 这是一种将不同厚度的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 环植入周边角膜基质的 2/3 深层, 增加周边厚度, 改变角膜前曲率半径以矫正近视的新型手术。兔眼和尸眼的长期研究表明耐受性良好, 初步临床应用显示 ICR 预测性好, 可重复, 不影响角膜中心区和旁中心区的结构特性, 无严重并发症, 被认为是一种很有希望的手术。

(六) 角膜松解切开术 (relaxing incision) 和角膜楔形切除术 (wedge resection) 这是矫正散光常用的方法。散光在 6.00D 以下可做角膜松解术, 即在角膜中央区 7mm 以外的旁中央区, 在角膜屈光力强的子午线上做一对称的弧形切口, 切口长度为 45°弧长, 切口深度为角膜厚度的 90%; 散光在 6.00D 以上的可行角膜楔形切除术, 即在角膜 7~8mm 光学区外, 在角膜屈光力低的子午线上切除一弧形窄条组织, 其切除长度为 45°弧长。切口要行紧张缝合, 术后 1 年左右拆线。

综上所述, 以 RK、PRK、LASIK 为代表的角膜屈光性手术日益成熟, 同时由于手术技术和设备不断改进, 进一步提高了手术的安全性、预测性、有效性和稳定性, 拓宽了手术的适应证, 对近视眼的治疗将取得更加令人满意的效果。

二、晶状体手术

(一) 透明晶状体摘除或人工晶体植入术 早在 1890 年法国医生 Fukala 首次进行透明晶状体摘除治疗高度近视, 由于受手术条件的限制, 术后并发症较多, 故而之后不久此手术步入了低潮。20 世纪 60 年代以来, 眼科显微手术的开展和普及, 为该手术的开展带来新的生机。该术目前仍为屈光性手术中争议最大的手术之一, 其手术步骤与白内障摘除相同, 较为简单, 行之有效。小切口无缝线晶状体手术更具有安全可靠、损伤小、切口愈合快、术后散光小等优点。尤其是透明晶状体摘出联合后房型人工晶体植入

术有着独特的吸引力,但调节力的丧失是很大的缺陷。关于术前是否应行预防性视网膜光凝尚有争议,术后的主要并发症是视网膜脱离,应注意长期随访。一般认为该手术对中老年人更为合适,对青年患者风险增加。

(二) 有晶状体眼前房型人工晶体植入术 由于人工晶体质量等因素,这一有着悠久历史的手术一直不能从并发症中解脱,特别是角膜内皮损害。新型双凹型支撑型前房型人工晶体的问世使并发症大为减少, W-F 虹膜型人工晶体(双凹和凹凸型两种)效果更为满意,但目前尚处于临床应用探索阶段,需长期观察术后并发症。

(三) 有晶状体眼后房型人工晶体植入术 1986 年 Fyodorov 首次报道了该手术,术中在虹膜与晶状体前囊膜之间植入由硅胶制成的单片式人工晶体,即可植入式接触镜,光学部分为 5.5~6.0mm,具有可折叠性、对组织损伤小、植入较为容易等优点,缺点是人工晶体厚度大、术后反应重。后来人工晶体材料不断改进,采用猪胶原(<0.1%)与水凝胶的共聚物作为材料,证明此类人工晶体具有安全性和有效性。总之,该术具有疗效好、预测性高及保留调节功能等优点,但该术尚处于临床应用早期阶段,有待长期观察。

三、巩膜手术

(一) 巩膜缩短术 从理论上讲,眼轴每缩短 1mm 近视屈光度可减 2.5D,所以早期人们曾经想通过巩膜缩短治疗近视眼。但实践中发现,对未发现视网膜脱离的近视眼进行巩膜缩短是很困难的,并发症很多,远期效果不确切,因此这种手术已被淘汰。

(二) 巩膜加固术 1930 年由苏联学者 Shevelev 提出的巩膜加固术,目前已在国内外普遍应用。是目前为止治疗高度进展性近视的最佳预防方法。该术是在近视眼患者巩膜后段植入生物材料(如同种异体巩膜、硬脑膜及自体阔筋膜等)或非生物材料,通过机械性加固、改善眼球后段血液及生物刺激达到阻止近视发展、防止并发症发生的作用。此外该手术对部分患者有轻度降低近视屈光度,改善视功能的作用。

第 2 节 角膜的解剖与生理

一、角膜的解剖

角膜(corneal)为透明的组织,约占纤维膜的前 1/6。我国成年男性角膜横径平均值为 11.04mm,女性为 10.05mm,竖径平均值男性为 10.13mm,女性为 10.08mm。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;后部表面的曲率半径为 6.22~6.8mm。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。在

屈光性手术中,了解角膜的厚度和角膜的曲率半径可以很好地指导手术,在术中依照不同的弯曲度和不同的角膜厚度切开和切削角膜,避免切口的深度不当。

角膜由5层组织构成,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)。

(一) 上皮细胞层 来源于外胚叶,厚约 $50\mu\text{m}$,占整个角膜厚度的10%,由5~6层细胞所组成。角膜周边部上皮增厚,细胞增加到8~10层。

上皮细胞层为复层上皮,细胞分为3种:基底细胞(basal cells),翼状细胞(wing cells),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 基底细胞层为一单层细胞,位置最深,细胞的底部紧接前弹力层,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。细胞为多角形,高柱状,其高 $18\mu\text{m}$,宽 $10\mu\text{m}$ 。

基底细胞底部的细胞膜厚约 8nm ,其对侧有一层基底膜。底部细胞膜与基底膜之间被大约 11nm 宽的间隙所分开。沿底部细胞膜有许多半桥粒(half-desmosomes)。从半桥粒发射出微细的纤维,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。

2. 翼状细胞 翼状细胞为多角形,在角膜中央区有2~3层,在周边部变为4~5层。翼状细胞的前面呈凸面,其后面呈凹面。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。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。细胞核变为扁平,且与角膜表面平行,细胞质致密。

3. 表面细胞 表面细胞分为两层。细胞长而细,细胞长约 $45\mu\text{m}$,厚度约 $4\mu\text{m}$ 。细胞核扁平,长约 $25\mu\text{m}$ 。假若细胞的表面层保护完好,其前面的细胞膜显示出许多小的微皱褶及微绒毛。微绒毛高 $0.5\mu\text{m}$,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。

(二) 前弹力层 又名Bowman膜。过去认为前弹力层是一层特殊的膜,用电镜观察显示该膜主要由胶原纤维所构成。

前弹力层厚约 $8\sim 14\mu\text{m}$,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。其后面与实质层融合在一起。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,其直径约 $14\sim 16\text{nm}$ (Jakus 1961)。胶原纤维周围的间隙为粘蛋白基质所填充,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。

(三) 基质层 角膜基质层由胶原纤维所构成,厚约 $500\mu\text{m}$,占整个角膜厚度的 $9/10$ 。实质层共包含有 $200\sim 250$ 个板层,板层相互重叠在一起。每一个板层厚 $2\mu\text{m}$,宽 $9\sim 260\mu\text{m}$,其长度横跨整个角膜。板层与角膜表面平行,板层与板层之间也平行。角膜板层由胶原纤维组成。胶原纤维集合成扁平的纤维束,纤维束互相联合,形成规则的

纤维板，纤维板层层紧密重叠，构成实质层。

在板层中，除其主要成分胶原纤维以外，尚有纤维细胞（fibroblasts, keratocytis）及基质。还可以看到 Schwann 细胞，并偶见淋巴细胞、巨噬细胞及多形核粒细胞。

在电镜下，每一个切面均可看到胶原纤维的纵切、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 32~36nm，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 60~70nm，纤维间隙不规则。

角膜基质（cornea stroma）包括粘蛋白（mucoprotein）及糖蛋白（glycoprotein）。基质充满了纤维与细胞没有占据的空隙，形成每一个胶原纤维的外套（coating）。

在整个角膜基质层中均有纤维细胞。在光镜下不能确定纤维细胞是在板层间或板层内，电镜下观察，纤维细胞位于板层间，偶尔延伸至板层内。纤维细胞有很多分枝突起，并向各个方向伸展，与其相邻的纤维细胞分枝突起相连接。在连接部位往往有间隙，宽约 20nm。偶尔也可看到细胞之间的紧密连接（tight junction）。纤维细胞的细胞质中，一般的细胞器均可看到，但为数不多。在细胞核附近可见高尔基体。线粒体小且不多见，粗面内质网较多。

（四）后弹力层 后弹力层又名 Descemet 膜，是角膜内皮细胞的基底膜。该膜很容易与相邻的基质层及内皮细胞分离。在妊娠第 4 个月时由内皮细胞分泌，胎儿时期后弹力层比内皮细胞层薄，出生后两者厚度大致相同。以后，后弹力层逐渐增厚，后弹力层坚固，对化学物质和病理损害的抵抗力强。当整个角膜基质层破溃化脓时，它仍能存留无损，故临床上可见后弹力层膨出。正常角膜，后弹力层可以再生且有一定的弹性，如有小的损伤撕裂时，将为内皮细胞形成新的后弹力层所修复，如伤口较大时，后弹力层伤口两侧强力收缩，内皮细胞移行覆盖，并产生新的透明膜，但广泛的后弹力层损伤则难以愈合，须由实质层来的纤维母细胞产生纤维组织修补伤口，形成瘢痕混浊。角膜周边部，后弹力膜增厚，向前房突起，其表面为内皮细胞所遮盖。这些突起为 Hassall-Henle 小体。这种小体起始于青年时期，随着年龄的增长而逐渐增多。

（五）内皮细胞层 角膜内皮为一单层细胞，大约由 500000 个六边形细胞所组成。细胞高约 5~6 μ m，宽约 18~20 μ m。细胞核位于细胞的中央部，为椭圆形，直径约 7 μ m。在婴幼儿，内皮细胞进行有丝分裂，但在成年后不再进行有丝分裂，当内皮细胞损伤后，其缺损区由邻近的内皮细胞增大、扩展和移行滑动来覆盖。

（六）角膜的血管 角膜之所以透明，其重要因素之一是角膜组织内没有血管，血管终止于角膜缘，形成血管网，营养成分由此扩散入角膜。角膜缘周围的血管网由睫状前血管构成。睫状前动脉自四条直肌肌腱穿出后，在巩膜表层组织中向前，行至距角膜约 4mm 处发出分支穿入巩膜达睫状体，参与虹膜大环的组成。其本支不进入巩膜，继续前行至角膜缘，构成角膜缘周围的血管网。本支在形成血管网之前发出小支至前部球结膜，是为结膜前动脉，与来自眼睑动脉弓的结膜后动脉相吻合。

（七）角膜的神经 角膜的感觉神经丰富，主要由三叉神经的眼支经睫状神经到达角膜。睫状神经在角膜缘后不远处，自脉络膜上腔穿出眼球，发出细支向前伸延互相吻合，并与结膜的神经吻合，在巩膜不同深度形成角膜缘神经丛。自神经丛有 60~50 支有髓神经从角膜缘进入角膜，进入角膜后神经鞘消失，构成神经丛分布于角膜各层。浅

层的神经丛发出垂直小支穿过前弹力层，并分成细纤维分布于角膜上皮之间，所以角膜知觉特别敏感。

二、角膜的生理

角膜是屈光间质的主要组成部分，角膜的屈光力平均为 43D，角膜透明，无色，没有血管，光线可以进入眼内，角膜的功能的维持需要充分的营养和正常的代谢。

(一) 角膜的透明性 正常角膜是透明的，这一特性对角膜是极其重要的，一旦受到破坏，必将影响物体在视网膜上成像的清晰度。角膜的透明性除了有其特殊结构之外，还要有完整的上皮和内皮，电解质与渗透压的平衡，正常的代谢和眼内压以及眼球表面水分的正常蒸发。

1. 解剖结构 角膜无血管、无色素，角膜上皮细胞和内皮细胞排列规则，实质层纤维板层排列规则，上皮不角化，角膜表面的泪液形成规则的屈光面，角膜不同层的细胞具有相同的屈光指数，使光线顺利通过角膜。

2. 上皮和内皮的完整性 当角膜上皮或内皮受到化学、物理或各种辐射性损伤时，角膜基质随之发生水肿；任何上皮擦伤或缺损都能引起局限性的角膜水肿和雾状混浊。内皮细胞细胞间的紧密连接形成角膜房水屏障功能，使房水不能向角膜渗透。

3. 角膜内皮的泵的作用 角膜内皮的泵对保持角膜的脱水状态甚为重要，角膜水肿时内皮损伤是其主要原因。当内皮受损后，内皮钠泵作用失调，不能将基质内的水分泵入前房。细胞内液与细胞外液的化学组成存在着差异。水在细胞内外的转移取决于细胞内外渗透压的大小。决定细胞外液渗透压的电解质主要是钠盐；而决定细胞内液渗透压的电解质主要是钾盐。在细胞膜上的钠泵能主动地把钠排出细胞外，同时将钾吸入细胞内，维持角膜处于相对的脱水状态。

(二) 角膜的渗透性 角膜的渗透性，不管从生理的角度，还是从药物治疗的角度都有其重要意义。由于角膜没有血管，其营养物质的供给，如氧和葡萄糖等，均有赖于从周围液体中扩散渗透而来；临床上局部所用药物，也大都藉此特性使药物到达角膜的病变区或眼内，当然，除此之外，还有许多其他因素，如药物本身的性质和角膜各层特性等也都在不同程度上影响着药物进入角膜和眼内的程度。上皮和内皮细胞富含脂类、脂溶性和非极性物质易于通过，而基质层则较易被水溶性及极性物质通过。滴入结膜囊内的药物，无论何种制剂，在它们到达角膜上皮表面之前，首先要克服水溶性泪液膜，而完全脂性物质是难以通过这层泪液膜。由于药物要通过不同特性的障碍层，因此理想的渗透性药物应该具有双相溶解性，即既有水溶性，又有脂溶性。

(三) 角膜的营养和代谢 一般认为角膜的营养物质有三个来源：角膜周围毛细血管、泪液和房水。在三者中房水是其主要来源。营养物质到达角膜之后，通过一系列的代谢过程所取得的能量，用来供给组织的正常需要，对角膜来说主要是用来维持它的透明性和角膜的脱水状态。葡萄糖和氧气是参与角膜代谢的两种主要物质。葡萄糖的代谢，是在无氧和有氧两种情况下产生 ATP 的。

角膜呼吸所需的氧来自四个途径，角膜前泪液膜、房水、角膜缘毛细血管网和睑结膜毛细血管。角膜上皮所消耗的氧主要是经过角膜前泪液膜从大气中获得；在闭眼时由