

眼科 诊断与治疗

主编 刘兆荣



科学出版社

眼科诊断与治疗

刘兆荣 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书内容包含眼科学基础,眼睑疾病,泪器病,结膜病与干眼,角膜与巩膜病,玻璃体疾病,视网膜疾病,视神经、视路和瞳孔路疾病,青光眼,晶状体疾病,屈光不正,眼外肌病,眼外伤,眼的调节与集合异常,眼眶病,共 15 章。简要概述了眼科的基础理论——组织的解剖结构和光学成像知觉神经的生理结构,重点讲述了眼部疾病的发生、发展及诊治方法。从宏观上,将眼科疾病的诊治分为诊断步骤、门诊资料分析、诊断对策、治疗对策 4 个模块。对每个具体的病种从临床表现、诊断、治疗原则、治疗目标等几个方面进行介绍。内容以眼科常见病、多发病的实际诊疗步骤为主线进行编写,具有很强的可操作性和实用性。

本书适合眼科实习医生和基层眼科医生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

眼科诊断与治疗 / 刘兆荣主编. —北京: 科学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-03-053668-6

I. ①眼… II. ①刘… III. ①眼病-诊疗 IV. ①R771

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 138026 号

责任编辑: 朱 华 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张欣秀 / 封面设计: 范 唯

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 8 月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 510 000

定价: 158.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

随着医学的快速发展,近年来,我国眼科学的各种新理论、新技术基本上已经与发达国家同步发展。许多新理论、新技术和先进的设备在眼科临床诊治中得到广泛应用,眼病诊断和治疗方面取得了快速进步。为适应眼科医学的发展、教学培训模式的转变,满足社会发展过程中人们对视功能医疗保健需求的增长和变化,眼科疾病的诊断与治疗技术需要随着我国社会发展趋势做出相应的调整。许多临床眼科工作者急需理论和实际操作技术水平融合一体的工具书。鉴于此,编者结合多年来积累的临床经验和知识,同时翻阅大量眼科方面的相关书籍和文献,收集最新有关眼科诊治方面的知识,编写了本书,旨在为临床眼科工作者快速学习、查阅使用。

本书用 15 章的篇幅,分别讲解了眼科学基础,眼睑疾病泪器病,结膜病与干眼,角膜与巩膜病,玻璃体疾病,视网膜疾病,视神经、视路和瞳孔路疾病,青光眼,晶状体疾病,屈光不正,眼外肌病,眼外伤,眼的调节与集合异常,眼眶病等内容。简要概述了眼科的基础理论——组织的解剖结构和光学成像知觉神经的生理结构,重点讲述了眼部疾病的发生、发展及诊治方法。从宏观上,对眼科疾病的诊治分为诊断步骤、门诊资料分析、诊断对策、治疗对策 4 个模块。对每个具体的病种又细分为临床表现、诊断、治疗原则、治疗目标等操作方法,是融合理论和实际操作于一体的实用工具书。

本书内容以眼科常见病、多发病的实际诊疗步骤为主线进行编写,具有很强的可操作性和实用性,适合眼科实习医生和基层眼科医生参考使用。由于作者水平有限,本书难免存在不足之处,恳请同行和广大读者批评指正。

作 者

2017 年 5 月

目 录

前言

第一章 眼科学基础	1
第一节 眼球的解剖和生理结构	1
一、眼球及眼球内容物	1
二、眼的附属器	2
三、视路	2
第二节 眼部生理光学	3
一、眼球的屈光介质	3
二、模型眼和简略眼	4
三、视力和视角	4
四、形觉	4
五、光觉	5
六、色觉	6
七、立体视觉	7
第三节 眼镜光学	8
一、屈光度的概念	8
二、球面透镜	8
第二章 眼睑疾病	10
第一节 睑缘炎	10
一、鳞屑性睑缘炎	10
二、溃疡性睑缘炎	10
三、眦部睑缘炎	11
第二节 睑腺病	12
一、睑腺炎	12
二、睑板腺囊肿	13
三、睑板腺梗塞	13
四、眼睑脓肿	14
第三节 眼睑与睫毛位置异常	15
一、倒睫与乱睫	15
二、睑内翻	15
三、睑外翻	16
四、眼睑闭合不全	16
五、上睑下垂	17
六、睑球粘连	17
第四节 眼睑痉挛	18
第五节 眼睑皮肤松弛症	18
第六节 眼睑先天性异常	19

一、内眦赘皮	19
二、双行睫	20
三、先天性睑裂狭小综合征	20
四、先天性眼睑缺损	21
第七节 眼睑肿瘤	21
一、眼睑色素痣	21
二、睑黄色瘤	22
三、眼睑传染性软疣	23
四、眼睑鳞状细胞乳头瘤	23
五、眼睑皮样囊肿	24
六、眼睑血管瘤	24
七、眼睑基底细胞癌	25
八、眼睑鳞状细胞癌	26
九、眼睑皮脂腺癌	27
十、眼睑黑色素瘤	28
第三章 泪器病	29
第一节 先天性泪器异常	29
第二节 泪道疾病	30
一、泪道阻塞	30
二、泪小管炎	30
三、慢性泪囊炎	31
四、急性泪囊炎	32
第三节 泪腺疾病	33
一、急性泪腺炎	33
二、慢性泪腺炎	33
第四节 泪器肿瘤	34
一、泪腺多形性腺瘤	34
二、泪腺多形性腺癌	34
三、泪腺样囊性癌	35
四、泪囊肿瘤	35
第四章 结膜病与干眼	37
第一节 细菌性结膜炎	37
第二节 沙眼	38
第三节 病毒性结膜炎	40
第四节 免疫性结膜炎	41
一、春季角结膜炎	41
二、泡性结膜炎	42

三、过敏性结膜炎	42	二、中心性渗出性脉络膜视网膜病变	89
第五节 变应性结膜病	43	三、年龄相关性黄斑变性	90
一、睑裂斑	43	四、卵黄样黄斑变性	91
二、翼状胬肉	43	五、黄斑囊样水肿	91
三、结膜结石	45	六、黄斑裂孔	92
四、结膜下出血	46	七、黄斑部视网膜前膜	93
第六节 结膜色素痣	46	第四节 高度近视眼底改变	93
第七节 干眼	47	第五节 视网膜脱离	94
第五章 角膜与巩膜病	50	一、孔源性视网膜脱离	94
第一节 角膜炎	50	二、牵拉性视网膜脱离	95
第二节 角膜变性与营养不良	56	三、渗出性视网膜脱离	95
第三节 角膜的先天异常	60	第六节 视网膜变性疾病	96
第四节 接触镜引起的角膜并发症	61	一、视网膜色素变性	96
第五节 巩膜病	61	二、结晶样视网膜病变	97
一、巩膜炎	61	三、眼底黄色斑点症	97
二、先天性巩膜异常	63	四、视网膜劈裂症	98
第六节 角膜移植总论	63	第七节 视网膜肿瘤	100
第六章 玻璃体疾病	69	一、视网膜母细胞瘤	100
一、玻璃体变性和后脱离	69	二、视网膜大动脉瘤	101
二、玻璃体积血	70	三、视网膜血管瘤	102
三、玻璃体炎症	71	第八节 全身疾病的眼底改变	105
四、增生性玻璃体视网膜病变	71	一、糖尿病性视网膜病变	105
五、玻璃体寄生虫	72	二、动脉硬化和高血压视网膜改变	107
六、家族性渗出性玻璃体视网膜病变	72	三、血液病眼底改变	109
七、玻璃体先天异常	73	四、大动脉炎的眼部改变	112
第七章 视网膜疾病	75	五、眼缺血综合征	113
第一节 视网膜血管性病变	75	六、亚急性细菌性心内膜炎眼底改变	114
一、视网膜中央动脉阻塞	75	七、药物和营养物质毒性引起的眼底改变	115
二、视网膜静脉阻塞	76	八、视网膜结核	118
三、视网膜静脉周围炎	79	九、视网膜梅毒	119
四、节段状视网膜动脉周围炎	81	十、巨细胞病毒性视网膜炎	120
五、急性视网膜坏死	82	第八章 视神经、视路和瞳孔路疾病	122
六、巨细胞动脉炎	83	第一节 视盘水肿	122
七、早产儿视网膜病变	85	第二节 视神经炎	122
第二节 视网膜色素上皮病变	86	一、视盘炎	122
一、急性色素上皮炎	86	二、球后视神经炎	123
二、急性后部多灶性鳞状色素上皮病变	87	第三节 缺血性视神经病变	123
三、特发性浆液性视网膜色素上皮脱离	87	一、前部缺血性视神经病变	123
四、眼底黄色斑点症	88	二、后部缺血性视神经病变	124
第三节 黄斑病	89	第四节 脱髓鞘性视神经病变	125
一、中心性浆液性脉络膜视网膜病变	89		

一、多发性硬化	125	第八节 皮质类固醇性青光眼	159
二、视神经脊髓炎	126	第九节 色素性青光眼	160
三、弥漫性轴周性脑炎	127	第十节 剥脱性青光眼	161
四、遗传性视神经萎缩	128	第十一节 新生血管性青光眼	162
五、中毒性视神经病变	129	第十二节 虹膜角膜内皮综合征	164
第五节 视神经萎缩	131	第十三节 恶性青光眼	165
第六节 视盘发育异常	132	第十四节 继发性青光眼	167
一、视神经发育不良	132	一、玻璃体和视网膜脱离复位手术后 继发青光眼	167
二、先天性视盘小凹	133	二、白内障手术后继发青光眼	167
三、视盘玻璃疣	133	三、继发于穿透性角膜移植术的青 光眼	172
四、视盘缺损	134	四、激光周边虹膜切除术治疗原发性 闭角型青光眼	175
五、牵牛花综合征	135	五、外伤性前房积血继发性青光眼 手术	176
第七节 视神经肿瘤	135	第十章 晶状体疾病	177
一、视神经胶质瘤	135	第一节 白内障	177
二、视神经脑膜瘤	136	第二节 晶状体脱位	178
三、视盘血管瘤	136	第三节 无晶状体眼	181
四、视盘色素细胞瘤	137	第十一章 屈光不正	185
第八节 视交叉病变	138	第一节 人类眼球的基本构造、发育及 特点	185
一、垂体瘤	138	一、眼球的结构及作用	185
二、视交叉附近脑膜瘤	138	二、眼球的发育及特点	186
三、颅咽管瘤	138	第二节 视力检查与视力表	186
四、视交叉胶质瘤	139	一、视力表	187
五、蝶鞍区的炎症损害	139	二、视力检查	187
六、鞍区的血管性损害	140	第三节 眼的屈光与调节	188
第九节 视束病变	140	一、屈光原理	188
第十节 外侧膝状体病变	141	二、眼的屈光异态	189
第十一节 视放射病变	141	第四节 近视眼的病因、症状、发病机 制及危害	189
第十二节 视皮质病变	142	第五节 近视眼的分类及临床诊断	192
第十三节 瞳孔异常	143	第六节 近视眼的预防及非手术治疗	195
一、麻痹性瞳孔散大	143	第七节 近视眼的手术治疗	209
二、麻痹性瞳孔缩小	144	一、屈光矫正术	209
三、Argyll-Robertson 瞳孔	144	二、放射状角膜切开术	210
四、紧张性瞳孔	145	三、准分子激光	210
第九章 青光眼	147	四、准分子激光屈光性角膜切削术	210
第一节 原发性开角型青光眼	147	五、准分子激光角膜磨削术	210
第二节 低眼压性青光眼	150		
第三节 高眼压症	151		
第四节 急性闭角型青光眼	152		
第五节 慢性闭角型青光眼	154		
第六节 炎症相关性青光眼	156		
第七节 青光眼睫状体炎综合征	157		

六、表层角膜镜片术	212	五、外伤性前房角后退	243
七、透明晶状体摘除术加人工晶体植入术	212	六、外伤性晶状体脱位	243
八、前房负镜片术	212	七、外眼及眼前节异物	244
九、后巩膜加固术	212	第二节 眼球后段机械性眼外伤	244
十、近视眼适合做后巩膜加固术	212	一、眼球内异物	244
十一、近视眼并发症	213	二、外伤性玻璃体积血	245
第八节 远视眼	213	三、外伤性视网膜脱离和增殖性玻璃体视网膜病变	246
第九节 散光	214	四、视网膜震荡与挫伤	247
第十节 屈光参差	215	五、视神经损伤	248
第十一节 老视	216	六、眼球破裂	249
第十二章 眼外肌病	217	第三节 眼附属器机械性眼外伤	249
第一节 隐斜	217	一、眼睑外伤	249
第二节 共同性内斜视	218	二、泪小管断裂伤	250
一、调节性内斜视	218	三、爆裂性眼眶壁骨折	251
二、非调节性内斜视	220	四、眶内异物	251
三、继发性内斜视	226	第四节 化学性眼外伤	252
第三节 共同性外斜视	227	一、眼部酸性烧伤	252
一、先天性共同性外斜视	227	二、眼部碱性烧伤	253
二、后天性共同性外斜视	228	第五节 热烧伤性眼外伤	254
第四节 麻痹性斜视	230	第六节 眼放射性损伤	255
一、麻痹性斜视	230	第十四章 眼的调节与集合异常	256
二、滑车神经麻痹(上斜肌麻痹)	231	第一节 调节与集合异常	256
三、展神经麻痹	232	一、调节异常	256
四、双上转肌麻痹(上直肌、下斜肌麻痹)	233	二、集合功能异常	261
五、动眼神经麻痹	233	第二节 老视	265
第五节 A-V 综合征	234	第三节 视疲劳	267
第六节 眼球震颤	235	第四节 斜视	271
第七节 眼外肌手术	238	第五节 眼球震颤	287
一、直肌后退术	238	第十五章 眼眶病	293
二、直肌缩短术	239	第一节 总论	293
三、下斜肌后退术	239	第二节 眼眶炎性病变	294
第十三章 眼外伤	241	第三节 甲状腺相关性免疫眼眶病	296
第一节 眼球前段机械性眼外伤	241	第四节 眼眶血管性病变	297
一、角膜外伤	241	一、动静脉瘘	297
二、角巩膜缘和前部巩膜外伤	241	二、海绵状血管瘤	298
三、外伤性前房积血	242	第五节 眼眶肿瘤	298
四、外伤性虹膜根部离断	242	参考文献	300

第一章 眼科学基础

第一节 眼球的解剖和生理结构

一、眼球及眼球内容物

眼球是由巩膜、角膜及其内容物组成的大体上像球状的眼的主要部分，位于眼眶内，后端有视神经与脑相连。眼球的构造分眼球壁和内容物两部分。

(一) 眼球壁

眼球壁分三层，由外向内依次为纤维膜、血管膜和视网膜。

1. 纤维膜 厚而坚韧，由致密结缔组织构成，为眼球的外壳，可分为前方的角膜和后方的巩膜。

(1) 角膜：占眼球前部约 1/5，为透明的折光结构，呈外凸内凹的球面。周缘较厚，中部薄，嵌入巩膜中。角膜表面被有球结膜。角膜内面与虹膜之间构成眼前房，内有眼房水。

(2) 巩膜：占眼球后部约 4/5，乳白色，不透明，用来保护眼球内部结构。巩膜前方接角膜，交界处有环状的巩膜静脉窦，是眼房水流出的通道，起着调节眼压的作用。巩膜的后腹侧，视神经纤维穿出的部位有巩膜筛板。

2. 血管膜 是眼球壁的中层，位于纤维膜与视网膜之间，富含血管和色素细胞，有营养眼内组织的作用，并形成暗的环境，有利于视网膜对光色的感应。血管膜由后向前分为脉络膜、睫状体和虹膜三部分。

(1) 脉络膜：呈棕色，用来营养眼球。衬于巩膜的内面，其后壁有一呈青绿色带金属光泽的三角区，称照膜，由于这一区域的视网膜没有色素，所以反光很强，有助于动物在暗光环境中对光的感应。

(2) 睫状体：是血管膜中部的增厚部分，呈环状于晶状体周围，形成睫状环，其表面有许多向内面突出并呈放射状排列的皱褶，称睫状突。睫状突与晶状体之间由纤细的晶状体韧带连接。在睫状体的外部有平滑肌构成的睫状肌，肌纤维起于角膜与巩膜连接处，向后止于睫状环。睫状肌受副交感神经支配，收缩时可向前拉睫状体，使晶状体韧带松弛，有调节视力的作用。

(3) 虹膜：是血管膜的最前部，呈环状。位于晶状体的前方，将眼房分为前房和后房。虹膜的周缘连于睫状体，其中央有一孔以透过光线，称瞳孔。虹膜内分布有色素细胞、血管和肌肉。虹膜肌有两种：一种为瞳孔括约肌，围于瞳孔缘，其收缩可缩小瞳孔，受副交感神经支配；另一种为放射状肌纤维，称为瞳孔开肌，其收缩可开大瞳孔。猪的瞳孔为圆形，其他家畜的为椭圆形。马瞳孔的游离缘上有颗粒状突出物，称为虹膜粒。

3. 视网膜 是眼球壁的最内层。有许多对光线敏感细胞，能感受光的刺激，可分为视部和盲部。

(1) 视部：衬于脉络膜的内面，且与其紧密相连，薄而柔软。生活时略呈淡红色，死后混浊，变为灰白色，易于从脉络膜上脱落。在视网膜后部有一视盘，为一卵圆形白斑，表面略凹，是视神经纤维穿出视网膜处，没有感光能力，又称盲点。视网膜中央动脉由此分支呈放射状分布于视网膜。在眼球后端的视网膜中央区是感光最敏锐部分，成一圆形小区，称视网膜中心，相当于人眼的黄斑。视网膜视部的外层是色素上皮层，内层是神经层。神经层由浅向深部由 3 级神经元构成。最浅层为感光细胞，有两种细胞，即视锥细胞和视杆细胞。前者有感强光和辨别颜色的能力；后者有感弱光的能力。第 2 级神经元为双极神经元，是中间神经元。第 3 级为多极神经元，称为神经节细胞，其轴突向视网膜乳头集中，称为视神经。

(2) 盲部: 无感光能力, 外层为色素上皮, 内层无神经元。被盖在睫状体及虹膜的内面。

(二) 眼球内容物

眼球内容物是眼球内一些无色透明的折光结构, 包括晶状体、眼房水和玻璃体, 它们与角膜一起组成眼的折光系统。

1. 晶状体 呈双凸透镜状, 透明而富有弹性, 位于虹膜和玻璃体之间。周缘由晶状体韧带连于睫状突上。其实质由多层纤维构成。

2. 眼房水和眼房 眼房是位于角膜和晶状体之间的腔隙, 被虹膜分为前房和后房。眼房水为无色透明液体, 充满于眼房内, 主要由睫状体分泌产生, 然后在眼前房的周缘渗入巩膜静脉窦而至眼静脉。眼房水有运输营养物质和代谢产物、折光和调节眼压的作用。

3. 玻璃体 为无色透明的胶冻状物质, 充满于晶状体与视网膜之间, 外包一层透明的玻璃体膜。玻璃体除有折光作用外, 还有支持视网膜的作用。

4. 眼的屈光装置 由角膜、房水、晶状体和玻璃体四部分构成, 共同特点是无色、透明, 允许光线通过, 故统称为眼的屈光装置。任何一部分的病变, 均会影响视力, 形成屈光不正, 如近视或远视。

二、眼的附属器

眼的附属器虽然与视觉没有直接的关系, 但它们也是不可缺少的。眼的附属器主要有眼睑、结膜、泪器、眼外肌和眼眶。

1. 眼睑 分为上下两部分, 俗称为上下眼皮, 其游离缘称为睑缘。上下睑缘间的裂隙称睑裂, 其内外连接处分别称为内眦和外眦。正常平视时睑裂高度约 8mm, 上睑遮盖角膜上部 1~2mm。内眦处有一小的肉样隆起, 称泪阜, 为变态的皮肤组织。眼睑起保护眼睛的作用。

2. 结膜 是一层极薄的黏膜, 表面光滑, 质地透明, 覆盖于眼球的前面和眼睑的后面。覆盖于眼睑后面的为睑结膜, 覆盖于眼球前面的为球结膜, 二者连接部位称为穹窿部结膜, 此部结膜组织疏松, 多皱褶, 便于眼球运动。结膜的分泌腺可分泌液体(泪液的组成部分), 起湿润眼球表面的作用。

3. 泪器 分为泪腺和泪道两部分, 泪腺就是分泌眼泪的, 泪道则是眼泪排泄的通道, 泪道包括泪小点、泪小管、泪囊和鼻泪管。眼泪除了表达感情外, 更重要的一个作用是湿润眼睛, 此外还有杀菌、预防感染的作用。如果缺少眼泪的话, 眼睛就会干涩、不舒服, 严重的还会导致角膜溃疡。

4. 眼外肌 每个眼睛有六条眼外肌, 分别为上下直肌、内外直肌、上下斜肌, 它们能协调地运动, 使眼球上下左右转动。正常情况下, 两只眼睛的眼外肌能非常准确地同步运动, 两只眼球能步调一致地转动, 只要有一条眼外肌出了问题, 两只眼球在看东西时就会不听指挥, 眼球运动受限, 眼珠偏斜。

5. 眼眶 为方锥形的骨窝, 其开口向前、尖朝后。眶外侧壁稍偏后, 眼球暴露较多, 有利于外侧视野开阔, 但也增加了外伤的机会。眼眶外壁较厚, 其他三面骨质较薄, 且与额窦、筛窦、上颌窦毗邻, 当这些鼻旁窦病变时, 可累及眶内。在眼眶底部有一小孔, 视神经就通过它进入大脑。

三、视 路

景物在视网膜上成像, 视网膜上的神经细胞在受到光刺激后, 产生神经冲动, 通过神经系统传至大脑中的视觉中枢。这种视觉信息的传导径路称为视路, 它从视网膜神经纤维层起, 至大脑枕叶皮质纹状区的视觉中枢, 包括视网膜、视神经、视交叉、视束、外侧膝状体、视放射和枕叶皮质视觉中枢。

视网膜是把光的视觉信息转换为神经冲动的地方, 并由此经过双极细胞传至神经节细胞, 由神

经节细胞发出的神经纤维（即轴突）向视盘汇聚。

视神经是中枢神经系统的一部分。它从视盘起，到视交叉前膝止，全长 42~50mm。按其部位可分为眼内段、眶内段、管内段和颅内段四部分。眼内段是从视盘开始，神经纤维穿过巩膜筛板为止的一段，这一段神经纤维处于眼球之内，故名。它长 1mm 左右。眶内段从巩膜筛板之外起，至颅骨视神经管，长约 30mm，呈“S”形，以利于眼球的转动。因位于眼眶之内而得名。管内段则是神经纤维通过颅骨视神经管的部分，长 6~10mm。颅内段则是指视神经出视神经管后进入颅内至视交叉前膝的部分，长约 10mm。

视交叉呈长方形，是一 $12\text{mm} \times 8\text{mm} \times (2 \sim 5)\text{mm}$ 的神经组织，位于蝶鞍上方。在这里来自视网膜鼻侧部的神经交叉后至对侧，即来自左眼的神经纤维转至右侧，而右侧的神经纤维转至左侧。来自颞侧的神经纤维则不交叉。经过视交叉后位置重新排列的一段视神经束称为视束，长 4~5cm，开始时视束呈圆形束，以后逐渐成为扁圆柱状。

外侧膝状体属于间脑的一部分。外观如马鞍状，视路的周围神经元在此终止，而中枢神经元则从此开始。每一个外侧膝状体大约有 100 万个膝神经细胞，与视神经和视束内的神经纤维数目大致相同。从外侧膝状体至枕叶皮质之间的一段，因神经纤维呈扇形散开，故称为视放射，是由外侧膝状体交换神经元后的新神经纤维组成。

视皮质位于两侧大脑半球枕叶皮质后部内侧，每侧与双眼同侧一半的视网膜相关联，右侧的视皮质与右眼颞侧、左眼鼻侧视网膜相关，左侧的视皮质与左眼颞侧、右眼鼻侧视网膜相关。视神经纤维最后终止于此，视觉信息在此再现。

第二节 眼部生理光学

一、眼球的屈光介质

眼球的屈光介质包括角膜、前房、晶状体和玻璃体。

1. 角膜 位于眼球的最前面，透明、无色、没有血管，光线可以透过进入眼内。从后面看角膜为正圆形；从前面看为横椭圆形，中央瞳孔区附近直径大约 4mm 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，各点曲率也不相等。洪荣照认为，视轴长者，角膜曲率半径也相应长些；反之，其角膜曲率半径也偏短。角膜厚度各部分不同，中央最薄。角膜的表面积为眼球总面积的 $1/14$ 。角膜的透明性除了有其特殊的结构之外，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及眼球表面水分的正常蒸发。

2. 前房 前房的前界为角膜内皮，后界为虹膜面及晶状体的瞳孔区。从角膜顶点平面至虹膜根部平面之间的距离约为 4.2mm，至虹膜瞳孔区的平面距离为 3.6mm，两者相差 0.1mm，前者大于后者，其原因在于晶状体使虹膜瞳孔区向前移位。前房内充满房水，房水的相对密度为 1.006，折射率为 1.336。

3. 晶状体 为富有弹性的形似双凸透镜的透明体，位于虹膜后面、玻璃体前面。晶状体分为前后两面，两面相接部的边缘为赤道。前面的曲面度较小，曲率半径为 9mm，前曲面的顶点或前面的中心点称为前极，后面的曲率半径为 6.8mm，后曲面顶点或后面的中心称为后极。前后极间的直线称为晶状体轴，轴的长度也即晶状体的厚度为 4~5mm，晶状体直径为 9~10mm，晶状体借助韧带（晶状体韧带）与睫状体连接以固定其位置。晶状体赤道为圆形环，与睫状突相距约 0.5mm。随年龄增长，睫状肌变弱，晶状体囊样弹性减低，晶状体核增大而硬，调节力减退而出现老视。

晶状体无血管，营养主要来自房水。晶状体自身的可塑性和弹力向前凸出，增强屈折能力。晶

状体的球面像差很小,甚至在极度调节时,通过晶状体中央的光线结焦于周边光线之前,即出现球差过矫正。调节时其后面曲率半径基本不变。晶状体内含的不溶化蛋白,含量随年龄增大而增多,增至一定量时,晶状体混浊,即出现白内障。

4. 玻璃体 为透明胶质体,主要成分为水,约占 99%。充满眼球后 4/5 空腔内,其形状符合于所在空腔,前面以晶状体及其韧带为界,形成前面扁平的球形。玻璃体其他部分与睫状体及视网膜相毗邻。赖于玻璃体内血管生长因子与血管生长抑制因子的平衡,维持玻璃体的透明。玻璃体对于波长为 300~1400nm 的光透过率为 90%。

二、模型眼和简略眼

光线通过角膜和晶状体后,行进于玻璃体而到达视网膜,玻璃体的折射率与房水的折射率相同,将上述角膜和晶状体的基本形态和折射力的平均值画出,并确定玻璃体的深度平均值,可做成一种模型眼,便于从理论上研究眼球的光学成像。模型眼参数基本包括了角膜和晶状体的前后等各个折射面的参数,并能用比较精确的数据标示出眼球整体屈光状态的主点、节点和焦点,这样的模型眼称为精密模型眼,如 Gullstrand 精密模型眼。

为了方便临床计算或使用,可以简化眼睛光学系统,如 Gullstrand 简化模型眼,其特征是分别使用单一面代表角膜和晶状体的整体效果。

在临床上,还可以将简化模型眼再进一步简化,其中比较简单且比较普及使用的是 Emsley 改良简略眼。此种光学模型眼将所有的光学折射面综合成单一折射面,此折射面于角膜后 5.3mm,分隔空气和折射率为 4/3 的媒质。

三、视力和视角

视力是指视网膜分辨影像的能力。视力的好坏由视网膜分辨影像能力的大小来判定,然而当眼的屈光介质(如角膜、晶体、玻璃体等)变得混浊或存在屈光不正(包括近视、远视、散光等)时,即使是视网膜功能良好的眼视力也会下降。眼的屈光介质混浊,可用手术来治疗,而屈光不正则需要用透镜来加以矫正。

所谓的普通视力是针对中心视力而言的。眼识别远方物体或目标的能力称为远视力,识别近处细小对象或目标的能力称为近视力。在健康检查时,主要是检查远视力,视力是指分辨细小的或遥远的物体及细微部分的能力。在一定条件下,眼睛能分辨的物体越小,视觉的敏锐度越大,视力的基本特征在于辨别两点之间距离的大小。静视力是指人和观察对象都处于静止状态下检测的视力,驾驶员在驾驶车辆时所捕获的外界信息绝大部分是通过视觉得到的,因此研究驾驶员视觉特性对驾驶安全意义重大。这里从显现兼容模型出发,从工程心理学和人机角度分析了驾驶员的视觉信号和视觉特性两大因素,建立了针对驾驶员的信号和视觉特性模型。通常所说的视力是指远视力并且是中心视力,它反映的是视网膜最敏感的部位——黄斑区的功能,远视力检查通常用视力表来进行。

人眼睛的最大特征是辨认细节的能力,常以视角分辨率来表示,并称为视力。表达视力的标准是人眼能辨认的最小字符对人眼的张角。通常所说的视力是指视觉器官的最小可分视力而不是最小可见视力。

四、形 觉

1. 概念 形觉是视觉系统重要的感觉功能之一,是人的眼睛辨别物体形状的能力。形觉的产生首先取决于视网膜对光的感受,其次是视网膜能识别出由两个或多个分开的不同空间的刺激,通过视中枢的综合和分析,形成完整的形觉。形觉包括视力,也就是我们通常所说的分辨力和视野等。

在医学上,把人眼的分辨力大小称为视锐度或视力,视力可分为光觉视力、色觉视力、立体视力和形觉视力。一般所说的视力即指形觉视力,它是指识别物体形状的精确度,即区分细小物体的能力,也就是两个相邻点能被眼分辨的最小距离。视力一词习惯上指中心视力,而中心视力(也称视敏度)是最基本的形觉内容,而且多指远视力。完整的视力概念除中心视力外,还应包括周边视力,即视野。医生们常用视力表来检查视力,用视野计来检查视野。

2. 分布结构 视网膜细胞的分布与感光特性视网膜的结构很特别,也很复杂,它是由只有一个细胞厚的外色素层和神经层,即固有视网膜构成。视觉细胞是视网膜中的感光组织,根据它们的形状分别称为视杆细胞和视锥细胞。视杆细胞细长,呈杆形;视锥细胞短粗,呈锥状。它们共同形成了视网膜的外层。视网膜中大约有 1.2 亿个视杆细胞和 650 万个视锥细胞,但它们的分布很不均匀。视杆细胞几乎完全分布在视网膜中心凹和盲点以外的全部区域,而视锥细胞除了少量散布在整个视网膜上外,比较集中地分布在视网膜的中心凹区域。感光细胞中含有感光物质,称为视色素,视色素受到光线刺激作用而分解,从而引起神经冲动。视杆细胞和视锥细胞的视色素是不同的,视杆细胞主要在黑暗条件下起作用。生理学家在视网膜中发现了紫红色色素,它在受到光照时慢慢褪色,而在黑暗中重新再生,被称为视紫红质,这种物质与视杆细胞的视觉过程有密切联系。

3. 图像 视网膜图像刺激、成像质量与老视眼的形成或发展调节关系的紊乱必然会使得视网膜上不能获得清晰的图像,或者造成成像的区域狭小、视野不够,进而导致眼睛的疲劳和老视的加速发展。尤其是 Wallman 发现并提出的“阅读是一种特殊的形觉剥夺”的观点,可视为视光学理论的一个重要突破。阅读时只有视网膜黄斑中心凹部位的视锥细胞能够获得充分的视觉刺激,而其他的大部分视网膜视杆细胞因缺乏足够的刺激而活性降低,从而导致图像质量不佳、视力下降。而且, Schaeffel 的研究表明,近距离作业时由于老视眼的调节能力低下而使眼球相对远视,视网膜无法获得清晰的图像,最终也会促使眼肌的过度疲劳。

4. 应用 纽爱适的光量子涂层与视网膜细胞的能量刺激。这个涂层结构在可见光条件下能够发出有效活化视觉(视锥)细胞的特定波长(分别为 420~450nm 和 510~580nm)光量子。人们在戴用纽爱适后,眼睛的晶状体处于相对放松的舒展状态、瞳孔尺寸也相对更大,这样,纽爱适镜片发出的光量子就能够有效到达视网膜各部分,并活化更大区域的视网膜细胞。我们可以从眼科电生理的检测中得到这些变化的验证。

五、光 觉

光是人的眼睛可以看到的电磁波中的一部分,其波长为 400~760nm,即可见光谱,波长在其范围之外的是不可见光谱,如红外线、紫外线。当可见光线穿过角膜、晶状体、玻璃体在视网膜上被感光细胞所吸收,感光细胞即产生一系列复杂的化学变化,将其转换为神经兴奋,并通过视神经传至大脑,在大脑中产生光的感觉,从而形成光觉。因此,光觉是指视网膜对光的感受能力,它是视觉的基础。为了产生视觉,进入眼睛的光线必须达到能引起视细胞兴奋的能量,并且要有足够的作用时间。

光觉的调节主要依靠视网膜的适应功能,另外通过瞳孔的大小变化来控制入眼光量,也能起到部分调节作用。产生光觉的物质基础是视色素。在光线作用下,视网膜感受器中视色素可产生光化学变化及生物电变化,从而表现出明暗视觉。在人眼睛的视网膜中,有视锥细胞和视杆细胞两种不同的感光细胞。视锥细胞和视杆细胞在处理可见光时是有分工的,锥体感光细胞集中于黄斑区的中心凹处,专门处理较强的光,而较暗的光则由黄斑区以外的视网膜中视杆细胞处理,中间强度的光则由视锥细胞和视杆细胞共同处理。若有的人杆状感光细胞有功能障碍时,在暗的光线下,感光细胞不能正常工作,大脑就不能接收到光的信号,这就是夜盲。大部分鸟的眼睛中缺少视杆细胞,所

以在夜晚就不能看见东西,因而夜盲症在中医中也称雀目。光觉仅仅能感受光的强弱,而不能识别物体的形状与颜色。识别物体的形状与颜色,则是色觉与形觉。

六、色 觉

光谱上 380~760nm 波长的辐射能量作用于人的视觉器官所产生的颜色感觉,又称色觉。在可见光谱上从长波端到短波端依次产生的色觉为红、橙、黄、绿、蓝、紫。相邻的颜色间还存在着各种中间色,如橙黄、绿蓝等。人眼对光谱各波长的辨别能力是很不一样的,对光谱某些部位,如 480nm 和 565nm 特别敏感,在这两个部位上,波长变化不到 1nm,人眼便可看出颜色的差别,而比较不敏感的部位是在 540nm 附近及光谱的两端。在整个光谱上人们可以分辨 100 多种不同的颜色。物体表面的颜色取决于物体反射和吸收照射在其上的光波的情况。一个表面在白光照射下呈现红色,是由于它吸收了短波长的光而反射了长波长的光。

颜色有三个基本特性:色调、饱和度和明度。色调是区别不同色彩的特性,如颜色能够借以区别为红、橙、黄、绿、蓝等;饱和度是指彩色的纯洁程度,光谱上的各单色光的饱和度最大,其掺入的白色越多,就越不饱和;明度是彩色光的明亮程度,彩色物体表面的光反射率越高,明度就越大。

人眼视网膜中存在两种感光细胞,视锥细胞和视杆细胞。视锥细胞能分辨颜色,视杆细胞对微光起作用,但不能分辨颜色。视网膜上只存在视杆细胞或视锥细胞很少的动物,如犬、猫、鼠、猫头鹰、猪等都没有色觉。类人猿具有与人一样的色觉。白天活动的鸟、爬行动物、多刺鱼类、昆虫都有色觉。由于视锥细胞主要分布在视网膜中央,视杆细胞多分布在边缘部位。因此,有正常色觉的人,在视网膜中央部位能分辨各种颜色,但向边缘部位过渡时,由于视锥细胞减少,辨别颜色的能力便逐渐减弱。人的视网膜能够感受颜色的区域因颜色而不同,白色最宽,然后依次是蓝色和黄色,红色和绿色最窄。因此,与中央区相邻的外周部位先失去红色、绿色的感觉,在视网膜更外周部位,对黄色、蓝色的感觉也消失,只有明暗的感觉。

1. 颜色混合 人们不仅对单色光产生色觉,而且对几种单色光的混合光也可以产生同样的色觉。例如,520nm 的单色光产生绿色,510nm 与 530nm 的单色光混合也可以产生绿色,而且人眼感觉不出这两者有什么差别。光谱中色光混合是一种加色混合。用三种原色光:红(R)、绿(G)、蓝(B)按一定比例混合可以得到白色光或光谱上任意一种色光。为了匹配某一特定颜色(C)所需的三原色数量称为三刺激值,分别以 R、G、B 表示。颜色方程: $(C) \in R(R) + G(G) + B(B)$ 。

1854 年格拉斯曼将颜色混合现象归纳为三条定律,即补色律、中间色律和代替律。每一种色光都有另一种同它相混合而产生白色的色光,这两种色光称为互补色。例如,蓝色和黄色,绿色和紫色,红色和青色混合都能产生白色。两种非补色混合则不能产生白色,但会产生一种新的混合色或者介乎两者之间的中间色。如混合红色与绿色,按混合的比例不同,可以得到介乎它们之间的橙、黄、黄橙等各种颜色。看起来相同的颜色可以由不同的光谱组成,但他们在颜色混合中的效果却相同。只要感觉上是相似的颜色,都可以相互代替,所得到的视觉效果是同样的。例如,颜色 A=颜色 B,颜色 C=颜色 D,则 $A+C=B+D$;又如 $A+B=C$,而 $X+Y=B$,则 $A+(X+Y)=C$ 。这就是代替律,它是一条很重要的定律,现代色度学就是以它为基础而建立的。颜色混合定律只适用于色光的混合,而不适用于染料、颜料的混合。染料、颜料的色混合是一种减色混合,它的三原色是黄色、青色、紫色。根据加色法原理,将黄色光与蓝色光按一定比例混合可以得到白色光,但是,混合黄色和蓝色颜料得到的却不是白色而是绿色。颜料的色混合得到的颜色是颜料吸收了一定波长的光线以后所反射的光线的波长。例如,将黄颜料和青颜料混合,黄颜料从白光中吸收了蓝光,而青颜料吸收了红光,在入射的白光中只剩下绿光,因此,我们便得到绿色的感觉。

2. 颜色对比 在视野中,相邻区域不同颜色的相互影响称颜色对比。同样一种颜色,放在暗

背景上看起来觉得明亮些,而放在亮背景上则显得暗些,这是明度对比的结果。

3. 颜色适应 当人眼注视某一颜色一段时间后就会引起颜色视觉的变化,这就是颜色适应。如注视某一色光,在对该色光适应之后,再把眼睛转到另一种色光时,就会发现后一种色光受先前的色光的影响而带上了适应光的补色成分。眼睛注视一个红色的光圈几分钟后,把视线移向一白色背景时,会见到一个蓝绿色的光圈出现在白色的背景上。颜色适应的这种效应称负后像。

4. 色觉异常 对某些颜色辨别能力差,或对某些颜色甚至所有颜色都不能辨别的现象称为色觉异常。有8%左右的男性及0.5%左右的女性的色觉有缺陷。色觉异常根据情况可分为三色觉异常(色弱)、二色觉(部分色盲)及单色觉(全色盲)。色弱患者又有红色弱和绿色弱之分。患色弱的人虽然仍可具有三色视觉,但对颜色的感受性却很低。常见的色盲是红绿色盲,红绿色盲对红光和绿光反应不敏感,不能区分红光与黄光或绿光。蓝黄色盲则较罕见,患者只有红、绿色感觉。单色觉者完全丧失对任何颜色的辨别能力,这种人很少,他们只有明暗的感觉,把一切物体都看成是灰色和白色的。

色盲多是先天的,也有后天的。先天性色盲与遗传有关,一般是隔代遗传。先天性色盲目前尚无法医治。后天色盲往往由各种原因造成,如视网膜疾病、视神经障碍、脑损伤、药物中毒及维生素缺乏等。采用假等色图案可以检查色觉异常,具有正常色觉的人能很容易地分辨出图案,而那些色觉异常者却不能从背景中分辨出图案来。

七、立体视觉

人的立体感是这样建立的:双眼同时注视某物体,双眼视线交叉于一点,称注视点,从注视点反射回到视网膜上的光点对应的,这两点将信号转入大脑视中枢合成一个物体完整的像。不但看清了这一点,而且这一点与周围物体间的距离、深度、凹凸等都能辨别出来,这样成的像就是立体的像,这种视觉也称立体视觉。欠缺立体视觉者称为立体盲。

立体视觉是人眼在观察事物时所具有的立体感。再进一步讲,人眼对获取的景象有相当的深度感知能力,而这些感知能力又源自人眼可以提取出景象中的深度要素。之所以可以具备这些能力,主要是因为人眼的如下几种功能。

1. 双目视差 由于人的两只眼睛存在间距(平均值为6.5cm),因此对于同一景物,左右眼的相对位置是不同的,这就产生了双目视差,即左右眼看到的是有差异的图像。

2. 运动视差 是由观察者和景物发生相对运动所产生的,这种运动使景物的尺寸和位置在视网膜的投射发生变化,使产生深度感。

3. 眼睛的适应性 人眼的适应性调节主要是指眼睛的主动调焦行为。眼睛的焦距是可以通过其内部构造中的晶状体进行精细调节的。焦距的变化使我们可以看清楚远近不同的景物和同一景物的不同部位。一般来说,人眼的最小焦距为1.7cm,没有上限。而晶状体的调节又是通过其附属肌肉的收缩和舒张来实现的,肌肉的运动信息反馈给大脑有助于立体感的建立。

4. 视差图像 在人脑融合双眼图像的过程中,首先要依靠双眼观察景物的同一会聚机制,即双眼的着眼点在同一点上。这种机制使得人的左右眼(人的左右眼距是确定的)和景物上的着眼点(左右眼分别到着眼点的光轴——z-axis与双眼距线段构成的两个夹角是确定的)在几何上构成了一个确定的三角形。通过这个三角形我们就可以判断出所观察的景物距人眼的距离了。为实现这种机制,人眼肌肉需要牵引眼球转动,肌肉的活动再次反馈到人脑,使双眼得到的视差图像在人脑中融合。

除了以上的几种功能外,研究表明人的经验和心理作用也对景象的深度感知能力有影响,如图像的颜色差异、对比度差异、景物阴影甚至是所观看显示器的尺寸和观察者所处的环境,但这些要素相对上述功能来讲,在建立立体感上是微不足道的。

第三节 眼镜光学

一、屈光度的概念

光线由一种物体射入另一种光密度不同的物质时,其光线的传播方向产生偏折,这种现象称为屈光现象,表示这种屈光现象大小(屈光力)的单位是屈光度(缩写为“D”)。1D 屈光力相当于可将平行光线聚焦在 1m 焦距上。屈光力越强,焦距越短。2D 屈光力的透镜焦距为 50cm。如果想知道透镜的焦距,将屈光力除以 100cm,也就是 1.00 m,结果即为屈光度。例如,5D 屈光力的焦距为 20cm (100cm 除以 5D=20cm)。凸透镜的屈光力以“+”号表示,凹透镜的屈光力以“-”表示。1 屈光度或 1D 等于常说的 100°。

眼睛折射光线的作用为屈光,用光焦度来表示屈光的能力,称为屈光度。眼睛不使用调节时的屈光状态,称为静态屈光,标准眼静态屈光的光焦度为 658.64D。人眼在使用调节时的屈光状态,称为动态屈光,其光焦度强于静态屈光的光焦度。由于眼睛屈光度不正确,造成不能准确在视网膜成像,也就是视力缺陷,一般情况需要配戴眼镜,通过镜片补充和矫正眼睛本身的屈光度,达到视网膜正确成像的目的。在一些光学仪器上,如相机、望远镜、显微镜等器材上,都考虑到了使用者在不方便配戴眼镜观看时各人眼睛的视力差异,所以都具有屈光度调节装置。因此,“屈光度”这个概念是针对眼镜而言的,如 200°的近视眼屈光度为-2D,150°的老花镜的屈光度为+1.5D。

二、球面透镜

球面透镜上各径线的弯曲度相同,故其各径线的屈光力相等。球面镜又分为凹、凸球面透镜。

1. 凸球面透镜 由很多基底向中心的棱镜片组成。平行光经过凸透镜向中心集合而成交点。凸球面透镜共有 3 种:①双凸球面透镜;②平凸球面透镜;③弓形凸球面透镜。凸透镜以“+”表示。

2. 凹球面透镜 由很多尖端向中心的棱镜片组成。平行光经过凸透镜后散开,不结成真实的焦点,而是沿着光路向后延长成为虚交点。凹球面透镜亦有三种:①双凹球面透镜;②平凹球面透镜;③弓形凹球面透镜。凹透镜以“-”表示。

3. 几个常用名词解释

(1) 主焦点:为平行光经过透镜折射后与主轴交叉之点,因此主焦点是平行光的焦点,也是最近的焦点。

(2) 焦点距离:当一束平行光以与凸透镜的主轴穿过凸透镜时,在凸透镜的另一侧会被凸透镜汇聚成一点,这一点称为焦点,焦点到凸透镜光心的距离就为这个凸透镜的焦距。一个凸透镜的两侧各有一个焦点。其焦距的绝对值相等,但符号相反。例如,将一个光点放在透镜的主焦点处,则光线经过透镜屈光后都变成平行光。这种情况正如正视眼的屈光。正视眼的中心凹正好位于眼屈光系统的主焦点上,如在中心凹放一光点,经过眼屈光介质的作用,使射出眼外的光都是平行的。

(3) 透镜的屈光度:透镜的折光能力称为屈光度,通常用“D”代表。决定透镜屈光力大小的因素有三个:①透镜物质本身的折射率;②透镜表面弯曲半径的大小;③透镜介质与其周围介质之间的折射率的比较。

(4) 共轭焦点(联合焦点, conjugate focus):发光点(光由此发出而后散开的点)与焦点(光线集合的点)相互对应。这种情况可见于近视眼。近视眼的中心凹位于眼的屈光系统的后主焦点之后,故由近视眼中心凹发出的光,在眼前的有限距离处的某一点焦合。反之,在 5m 以内某一点发出的散开光可在近视眼的中心凹处集合。所以近视眼的中心凹与有限远以内的某一点成为联合焦点,因而近视眼的远点在有限远以内。

(5) 平常焦点: 如由无限远(5m)以内的某一点, 向凸透镜投射散开光, 此散开光通过凸透镜后, 必于某点结成焦点, 此焦点亦必较主焦点为远。根据发光点与透镜间的距离不同, 一个透镜可有很多焦点, 但其中只有两个主焦点。光源距透镜越远, 其散开光所形成的焦点距主焦点越近。若将光源放在主焦点处, 光经过凸透镜后则成平行光, 不成焦点, 所以一个透镜在主焦点与无限远之间的轴线上有无数平常焦点。

如物体位于主焦点以内, 由物体所发的光经透镜屈折后, 光线是散开的, 不成焦点。沿着散开光向后延长可于主轴上形成虚焦点。这和远视眼的光学情况相类似。因为近视眼的中心凹在眼屈光系统的主焦点之前, 所以远视眼在不调节的情况下, 从中心凹发出的光, 经过眼的屈光后光线是散开的。沿散开光的相反方向延长, 在眼球的后面形成虚焦点, 此即远视眼的远点。因此, 远视眼只能使集合性光在中心凹处形成焦点。

(6) 次轴或副轴: 当光斜着透过一个密而厚的介质平板时, 光经过2次折射后, 射出线虽仍与投射线平行, 但射出线向一侧移位。光通过球面透镜时也有这种移位现象。当光斜着投射于镜片表面时, 投射光经过透镜的两个弯曲表面的屈折作用后使射出光向一侧移位, 但仍按原来的方向前进。这种投射光称次轴光。

(7) 光学中心点: 是次轴光线与主轴光线交叉之点, 它是一个固定点, 可以在镜片的任何部分或在镜片边缘以外的一点, 不要与几何中心点相混淆。凸透镜的光学中心点总是在最厚处, 凹透镜则总是在最薄处。就薄透镜而言, 光学中心点也是结点的别名, 所以经过薄透镜光学中心点的任何光线都可看作不产生屈折。

(8) 镜片的几何学中心点: 该点在镜面直径一半的地方, 所以每镜面各有一个几何学中心点。

4. 凸透镜的成像

(1) 利用透镜成像的一般公式: $1/u + 1/v = 1/f$ 。

式中, u 代表物距, v 代表像距, f 代表焦距。凸透镜及凹透镜均可用这个公式。实物及实像用 u 及 v , 虚物及虚像用 $-u$ 及 $-v$ 。凸透镜的焦距为 f , 凹透镜者为 $-f$ 。从上述公式可以看出, 如物距(u)为 ∞ , 则 $1/u=0$; 像与焦点相重合。

(2) 利用作图的方法画出像的大小、部位及虚实: 要画出像的位置与大小, 先要找出物体两端的联合焦点, 因为物像是由很多联合焦点所组成。其法为先从物的一点做两条光线: 一条平行主轴, 经透镜发生屈折后穿过主焦点; 另一条是由物体的同一点发出的光, 经过光学中心点(次轴)与前者相交。在研究凸透镜成像时, 应记住三个事实: ①物与像可以互换位置; ②物与实像位于透镜的两侧; ③实像必定是倒的。

依照物体所在位置, 凸透镜的成像有五种情况: ①物体位于主焦点处, 无像形成; ②物体位于主焦点的稍远处, 像大于物, 并且是实的、倒的; ③物体位于两倍焦距处, 像与物同大, 并且是实的、倒的; ④物体位于两倍焦距之处, 但未到无限远处, 像小于物, 并且是实的、倒的; ⑤物体位于焦距以内, 因折光后光线是散开的, 要将它向后延长交叉。这种像是虚的、直立的, 并且大于物。

5. 凹透镜的成像 凹透镜所成的像总是直立的、虚的, 而且小于物。所以凹透镜是缩小镜片。