

眼屈光学基础

陈长生 编著 朱学敏 审阅



新时代出版社

8
S

78
5.5

眼屈光学基础

陈长生 编著

朱学敏 审阅

YX86/24

新时代出版社

(京) 新登字105号

内 容 简 介

《眼屈光学基础》一书的内容属于眼屈光学基础理论部分,它为临床眼屈光学的研究、发展和提高提供一些基础知识和理论依据。希望能使眼屈光学的理论不断充实和完善,内容更加丰富,更加系统。

由于近几年来各门科学技术的发展和应用,各学科、各研究领域的相互渗透和影响,促使眼屈光学基础理论出现了很多新观点、新成果、新技术,在这本书中得以反映。我收集、整理和引用了一些国内、外的资料,并加以研究、总结、概括,使其系统化。

本书共分十二章。光学基础知识、几何光学、物理光学等三节构成第一章,以后依次为:无脊椎动物的视觉器官、脊椎动物和人的视觉器官、眼球光学、影响视网膜像的因素、眼位与眼球运动、光觉、形觉、色觉的生理学基础、立体视觉、调节与辐辏、眼镜光学等。

有些章节既新颖又具特点,从全书内容看可以体会到视觉的高级神经网络活动,它类似于电子网络系统,从更高的水平来说是心理知觉系统,包含着极其复杂的机理和许多有趣的现象,读后会产生浓厚的兴趣。本书适合眼科医生、验光师、研究眼屈光人员阅读。

眼屈光学基础

陈长生 编著

朱学敏 审阅

*

新 时 代 出 版 社 出 版 发 行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

河北省涿州中学印刷厂印装

*

850×1168毫米 32开本 6¹/₂印张 165千字

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷 印数:0001—2500册

ISBN 7-5042-0123-5/R·5

定价: 6.75元

序

眼屈光学这门科学涉及的学科领域范围广泛,应当深入研究,有助于它的发展和提高,也有利于广大人民群众和四化建设事业。科学技术是第一生产力,如能把眼屈光学的理论搞深搞透,在临床实践中不断提高和发展,将会给人类带来幸福和健康的视功能。

眼屈光学基础一书,内容丰富,作者收集、总结和论述了很多与眼屈光有关的基本概念和理论基础,对学习和研究眼屈光学是一本很有参考价值的著作。这本书适合眼科医生、验光师及从事眼屈光学方面研究的人员阅读。

朱学敏

前 言

眼屈光学是眼科学的重要内容，在眼科学中占有很重要的位置。眼球本身就是一个非常精密的光学仪器，包含着深奥的理论和复杂的机理。有些问题还不清楚或正在从事研究。眼屈光学又可分为两大部分：一部分是眼屈光学基础，另一部分是临床眼屈光学。国内论述临床眼屈光学部分的著作较多，但论述眼屈光学基础的著作却较少，专写眼屈光学基础的书未曾见到，因此，很有必要写出《眼屈光学基础》这本书。为临床眼屈光学的研究、发展和提高，提供一些基础知识和理论依据。使眼屈光学的理论不断充实和完善，使其内容更加丰富，更加系统。

眼屈光学涉及的学科领域相当广泛，如生理学、组织学、解剖学、病理学、心理学、遗传学、仿生学、生物化学、生物物理学、生物光学、物理光学、几何光学、电子技术等。在本书的各个章节中都有不同侧重的描述。近年来由于各门科学技术的发展和应用，各学科、各研究领域的相互渗透和影响，促使眼屈光学基础理论出现了很多新理论、新观点、新技术和新成果，为在这本书中得以体现，我收集、整理并引用了一些国内、外的资料，加以总结概括、综合研究，使其更加系统化。在写这本书的过程中，特别注意学习了毕华德教授有关眼屈光学方面的论述，参考和学习了朱学敏主任的专著《验光与配镜》一书，以及国内著名眼屈光学专家吴燮灿教授、缪天荣教授的部分著作，受益很深。对于这本书的写成具有重要的作用。尤其书稿完成之后，经朱学敏主任的精心修改、热情帮助和鼓励，在此表示深深的谢意。

本书共分十二章，第一章包括光学基础知识、几何光学和物理光学等三节作为光学基础。依次为：无脊椎动物的视觉器官、脊椎动物和人的视觉器官、眼球光学、影响视网膜像的因素、眼

位与眼球运动等五章，其内容新颖又有一定特点。光觉、形觉、色觉的生理学基础、立体视觉、调节与辐辏、眼镜光学等六章中分别增添了一些新内容。从上述内容中可以体会到视觉的高级神经网络活动，它类似于电子网络系统，从更高的水平来说是心理知觉系统，包含着极其复杂的机理和很多有趣的现象。

在编写过程中由于作者水平有限，经验不足，因此书中的缺点和错误难免，热切希望眼科界老前辈和同行们给予批评指正并提出宝贵的修改意见。

陈长生

目 录

第一章 光学基础知识	1
第一节 基本概念	1
一、光	1
二、光源	1
三、光的速度	2
第二节 发光	2
第三节 发光强度、照度、亮度、光通量、眩光、照度的均匀度、对比度	3
一、光强	3
二、照度	3
三、亮度	4
四、光通量	4
五、眩光	5
六、照度的均匀度	5
七、对比度	5
第四节 几何光学	6
一、定义	6
二、符号规则	6
三、折射率	7
四、像的形成及共轭点	7
五、折射力、聚散度、折合聚散度	8
六、折合厚度和折合距离	9
七、距离效果	10
八、放大率	11
九、光学系统的基点	12
十、光的反射及其定律	14
十一、光的折射及其定律	20
第五节 物理光学	34
一、光的衍射	34
二、光的干涉	35
三、光的散射	36

四、光的偏振·····	37
五、光的双折射现象·····	39
六、热辐射·····	39
七、光电效应·····	40
八、荧光和磷光·····	41
第二章 无脊椎动物的视觉器官 ·····	42
第一节 复眼的组织结构和功能特征·····	42
一、复眼的组织结构和功能·····	42
二、复眼的解剖结构和功能·····	44
第二节 各种无脊椎动物视觉器官的特征·····	46
一、眼虫的视觉器官·····	46
二、鲎的视觉器官·····	46
三、蜂的视觉器官·····	47
四、甲壳类的视觉器官·····	48
五、蜘蛛的视觉器官·····	49
六、海扇的视觉器官·····	50
七、软体动物头足纲的视觉器官·····	51
第三节 无脊椎动物与脊椎动物眼的异同·····	53
第三章 脊椎动物与人的视觉器官 ·····	55
第一节 脊椎动物和人的视网膜结构及其功能·····	55
一、视网膜的组织结构共分为十层·····	55
二、视网膜结构的特点·····	56
第二节 视觉中枢的结构和生理功能·····	64
一、初级视觉中枢·····	64
二、高级视觉中枢·····	66
第三节 视区以外部位的视觉信息处理·····	71
一、视前区·····	71
二、颞下叶·····	72
三、上丘·····	73
第四节 脊椎动物和人的光感受器·····	75
第四章 眼球光学 ·····	78
第一节 眼球的解剖和生理光学作用·····	78
第二节 眼球组织的光学特性及其功能·····	78
一、视轴与光轴·····	78
二、眼球各部组织的光学特性及其功能·····	78
第三节 模型眼·····	86

VII

第四节 眼屈光	90
第五章 影响视网膜像的因素	92
第一节 球面像差	92
第二节 色像差	94
第三节 像散	95
第四节 畸变	98
第五节 影响视网膜像的其它因素	99
第六章 眼位与眼球运动	100
第一节 眼位	100
一、休息眼位	100
二、正眼位	100
三、运动眼位	101
第二节 眼球运动	102
一、眼球运动与控制视轴的关系	102
二、注视点的分布	104
三、眼球运动和视觉	106
第七章 光觉	108
第一节 光感受器细胞和视觉兴奋	108
一、光感受器细胞	108
二、色素上皮细胞与光感受器细胞的关系	109
三、视觉兴奋	109
第二节 光感受器的物理状态	113
一、视细胞的结构及功能	113
二、光感受器内有机物质及排列	113
三、光感受器膜的流动性	113
第三节 光感受器的光学特性	114
一、光感受器的二向色性	114
二、光感受器的双折射	115
第四节 视色素的光化学过程	115
一、视色素的光漂白过程	115
二、视色素的再生过程	117
第五节 暗适应过程	117
一、暗适应与视色素的关系	118
二、暗适应的光化学过程与神经过程	118
第六节 明适应过程	120

第七节 光感受器的感光机理	120
一、酶学说	120
二、光导学说	120
三、相继变性学说	121
四、离子学说	121
第八节 光觉的检查方法	123
一、基本概念	123
二、光觉检查方法	123
第八章 形 觉	125
第一节 形觉阈值	125
一、最小视认阈	125
二、最小分离阈	125
三、最小辨别阈	125
四、最小辨认阈	125
第二节 视角与视力	126
一、视角	126
二、视力	127
三、周边视力	127
第三节 视力表	127
一、斯内伦视力表	128
二、国际标准视力表	128
三、斯内伦视力表和兰多尔特视力表的缺点	129
四、对数视力表	129
五、视力与照明度的关系	130
第四节 视力测定法	130
一、远视力测定	130
二、近视力测定	131
第五节 介绍几种视力表	133
一、对数视力表	133
二、国际标准视力表	134
第九章 色觉的生理学基础	136
第一节 视细胞与视色素	136
第二节 视觉光谱敏感度曲线	136
第三节 视色素的测定方法	138
一、眼底反射分光光度法	138
二、显微分光光度法	139

X

三、电生理的方法	140
第四节 色光感受野	141
第五节 色觉异常	143
一、概念	143
二、色盲	143
三、色弱	145
四、色觉异常与视色素的关系	146
五、两种色觉学说的辩证统一	146
第六节 色觉有关的概念	147
一、色比配实验	147
二、基色	147
三、色调	147
四、亮度	147
五、饱和度	147
六、色光的混合	148
七、补色	148
八、对色理论	148
九、颜颜色理论	148
十、光谱	148
第七节 色盲检查法	148
一、假同色板检查法	148
二、色线束检查法	149
三、颜色混合测定器检查法	149
四、其它色觉检查法	149
第十章 立体视觉	150
第一节 视觉过程	150
第二节 视野	151
第三节 立体视觉的概念	153
第四节 立体视觉的形成过程	154
一、单眼视觉	154
二、双眼视觉	154
三、同时视觉	158
四、融合及融像运动	159
五、双眼性细胞	161
第五节 视觉信息与立体知觉	162
一、实际空间与视觉空间的关系	162
二、与立体视觉有关的因素	163

第十一章 调节与辐辏	165
第一节 调节作用	165
一、眼的调节	165
二、调节机制	165
三、引起调节的刺激因素	166
四、物理性调节和生理性调节	168
五、远点、近点、调节范围和调节广度	169
六、关于调节的一些名词解释和生理现象	170
七、调节近点的测定方法	171
第二节 辐辏作用	173
一、辐辏作用	173
二、辐辏分类	173
三、辐辏的远点和近点	174
四、辐辏范围和辐辏广度	175
五、辐辏作用的测定方法	175
第三节 调节与辐辏的相互关系	175
一、调节与辐辏的关系	175
二、相对调节和相对辐辏	177
三、调节性辐辏/调节比率 (AC/A)	178
四、调节与辐辏的相互增强作用	181
第十二章 眼镜光学	182
第一节 眼镜简史	182
第二节 眼镜的光学中心及其关系	183
一、瞳孔中心和眼镜片光学中心的关系	183
二、眼镜片的几何中心和光学中心的关系	184
三、眼球的视轴和眼镜片光学中心的关系	185
四、眼镜片的倾斜度	185
第三节 眼镜的像放大率	186
一、眼镜的像放大率	186
二、相对眼镜放大率	186
第四节 眼镜的度数及其计算	187
一、眼镜的度数及距离效果	187
二、眼镜计算有关的公式	188
第五节 眼镜镜片的联合和转换	189
一、镜片的联合	189
二、镜片的转换	190

Ⅺ

三、圆柱透镜的联合和转换	192
四、球柱透镜的联合和转换	194
参考文献	198

第一章 光学基础知识

第一节 基本概念

一、光

光是宇宙间极其重要的物质之一，人类和一切生物都生活在光的世界里。若是没有光的照射，生物的一切活动，包括人类的生命活动在内就会停止。人类和自然界中的光的关系十分密切。而眼睛视觉的物理基础就是光。事实上正是由于光的刺激，动物机体在不断进化的过程中，才逐步演化为感觉光的器官——眼睛。所以，光是产生视觉的基础。

光是由光源发出的一种电磁波，这部分电磁波的波长特别短，约在红光的 $0.77\mu\text{m}$ 到紫光的 $0.39\mu\text{m}$ 之间，波长在 $0.77\mu\text{m}$ 以上到 $1000\mu\text{m}$ 左右的电磁波称“红外线”，在 $0.39\mu\text{m}$ 以下到 $0.04\mu\text{m}$ 左右称“紫外线”，红外线和紫外线不能引起视觉，但可以用光学仪器或摄影来看见发射这种光线的物体。在光学上，光也包括红外线和紫外线。能引起视觉的那部分电磁波叫可见光。也就是说：由于到达地面的太阳光谱的能量峰值在 556nm ，地球上生物长期适应而产生视觉的波长范围在 556nm 附近。正常人眼的视觉范围大致在 $380\sim 780\text{nm}$ 之间，这个范围中的电磁辐射称为可见光。

人们之所以对可见光有不同颜色感觉，是由于可见光的波长不同而引起的。而白光是由若干种色光混合而成的，一个物体如果能完全吸收照射它的光，它就呈现黑色。

当白光进入三棱镜时，由于各种不同的光折向不同而发生色散变成光谱，这就是棱镜分光。我们眼睛的色散，也是这类现象。

二、光源

凡是本身能够自行发光的物体，统称为光源。从光产生的原

因分为天然光源，如太阳和其它恒星等；人造光源如白炽灯、日光灯、氙灯等。

从物体本身的温度高低又可分为热光源，如太阳、金属、煤炭等；冷光源如某些化学发光、荧光、磷光以及某些生物的发光，但其本身的温度并不高。

还有，在光学中，很多场合下都要用到的“点光源”。任何光源都是有一定形状和大小的，只是它的大小比起它与被照物体的距离来，小到可以忽略不计时，才称它为点光源。

还有一种现象就是物体本身不发光，只有被光照射后才反射出光来而引起我们的视觉，例如月亮、其它行星以及白天才能看见的各种物体等。

三、光的速度

光的传播速度取决它的频率和波长，因为每种电磁波都有一定的频率和波长，其关系式是： $V = f\lambda$ 。用 V 代表传播速度， f 代表频率即每秒钟振动次数， λ 代表波长。因可见光波长很短，用 $\text{\AA}$ 作为度量单位， $1\text{\AA} = 10^{-8}\text{cm}$ ，通常以 nm 表示。

光的传播速度甚大，在真空中光速为 300000km/s ，在水中的光速为 225000km/s ，在玻璃中为 200000km/s ，在光密媒质中传播慢，在光疏媒质中传播快，光线在不同媒质中传播时，也因波长的不同而速度不一。

当光从真空进入某一媒质时，其速度减慢且发生偏折现象，如以 u_1 代表光在真空中的传播速度，而以 u_m 代表光在某一媒质中的传播速度，则折射率 $n = u_1/u_m$ ，因为 u_m 总比 u_1 小，所以 n 总大于1.00。各种不同波长的光在真空中光速相等，但在某媒质中的传播速度不同，因此，各种波长的光在某媒质中有各自的折射率。

第二节 发 光

太阳表面温度约 6000°C ，内部温度约 20000000°C ，所以发光极强。金属和煤炭在灼热时，达到 500°C ，则发出可见的暗红

色光，温度再升高，光的颜色变黄，热到 1500°C 时变成白灼。从能量转换的角度来看，在冷发光的情况下，一般能把其它形式的能量绝大部分转化为光能，如萤火虫就能把用来发光的那部分化学能百分之九十几转化为光能。对比之下，热发光的效率低多了。如白炽灯只能把消耗电能的百分之几转化为光能。从而可以看出所谓发光就是表示物质吸收任何形式的能量（电、化学等）后，发出一定性质的可见光。

当电流通过气体时，可发出某一标准色彩的光，常见的有霓虹灯、水银灯。其原理是电流中的电子冲击气体原子外轨上的电子，使脱轨而进入较高能级，这一脱轨电子很不稳定，迅即跳回原来的轨道，同时放出一定频率一定波长的光子，也就是发出一定色光，所以称为非连续谱。

除了电子活动可以引起发光之外，分子扰动也发出光能。凡固体或液体由分子扰动而发出的光，其中包括许多连续不同波长的光，所以一般都是连续谱。温度稍低，长波光较多，光较红，温度增高，发出的光中短波较多，渐成白炽。因此，一定温度可使发光呈一定色彩的白光。

第三节 发光强度、照度、亮度、光通量、

眩光、照度的均匀度、对比度

一、光强

即发光强度，指发光体发射光束的密度；表示光源在一定方向范围内发出可见光辐射的强弱程度。国际单位制（SI）对光强所定单位为坎德拉（cd）。

二、照度

指物体表面被照明的程度，用单位面积所接受的光通量来表示，其单位为勒克斯（lx），即 lm/m^2 。1 勒克斯等于 1 流明的光通量均匀分布于 1m^2 面积上的光照度。照度和距离的平方成反比，距离越远，照度越小。所有照度单位，都指垂直面所接受的

流明为单位标准，如接受面积和光线投向呈一斜角，则照度减弱。

在 100W 白炽灯泡下 1m 处的照度约为 80lx。中午阳光下室外照度可达 10^5 lx。晴天室内的照度可达 10^3 lx，室内标准照明应达到 20~50lx，对于任何工作场所来说，工作面的照度不得低于 10lx，才能符合卫生学的要求。通常用照度计测量照度。这类仪器受光照后，基本上能将光波按相对光谱视见函数转换成电能，在仪表上直接读出照度值。

三、亮度

表示发光体或反射光表面发光的强弱，即从某一指定方向所观察到的，在该方向上单位投影面积所发出的光强。亮度单位为坎每平方米 (cd/m^2)。荧光灯管的亮度约为 $10^4 \text{cd}/\text{m}^2$ ，白炽灯灯丝约为 $200 \times 10^4 \sim 7500 \times 10^4 \text{cd}/\text{m}^2$ ，而太阳的亮度约为 $16 \times 10^8 \text{cd}/\text{m}^2$ 。

一个物体能被看见，是由于它所发出的或反射的光具有足够的亮度。而日常所看见的东西大多为非发光体，于是它反射光线的强弱，取决于照度的高低及反射率的高低。在同样照度下，浅色物体的反射率高，亮度就大；相反深色物体的反射率低，亮度就小。亮度 (B) 和照度 (E) 以及反射率 (P) 之间的关系是： $B = PE / \pi$ ，100lx 的照度，照射在均匀漫反射的白色墙壁上，其亮度约为 $25 \text{cd}/\text{m}^2$ 。亮度除和照度有关外，亦和接受面的反射系数有关，如一白纸的反射系数是 80%，亮度也只有 80%。此外，如接受面倾斜，则亮度亦改变。它在照明卫生学上有一定意义。在临床眼屈光学上，尤其对防治青少年近视眼方面也有很重要的价值。

四、光通量

人眼能感觉到的辐射能量。一个光源在单位时间内所发出的各可见光波段光束的总和，称为光源的总光通量，其单位为流明 (lm)，即 $\text{cd} \cdot \text{sr}$ 。1 坎向四面八方射出光线，在 1 立体角内通过的光量，称为 1 lm。所谓立体角定义为球心对球面面积所张的角，因为球面面积是 $4\pi r^2$ ，因而 1 坎的光源，向四面八方共发出