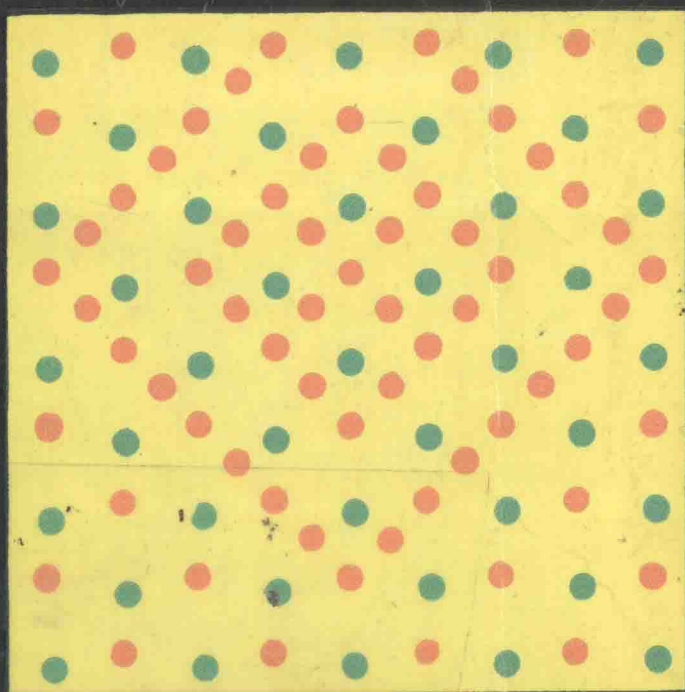


色觉与色盲

苌 疆 编 著



人 民 卫 生 出 版 社

色觉与色盲

苅 疆 編著

郭秉宽 杨德旺 审阅

人民卫生出版社

内 容 提 要

色觉与色盲问题，不但复杂，且与人们日常生活关系密切。本书从理论与应用两方面，阐明色觉的重要性及其与临床有关的内容；对色盲的临床表现，遗传规律，以及色觉的检查方法等方面作了较详细的介绍。

书中资料全面，内容丰富，编排合理，概念明确。可供眼科工作者、高等医学院校研究生和学生、中小学教师，以及其他科技人员参考。

色 觉 与 色 盲

裴 疆 编著

人民卫生出版社出版
(北京市崇文区天坛西里10号)

人民卫生出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

850×1168毫米32开本 $8\frac{3}{8}$ 印张 2插页 223千字

1989年11月第1版 1989年11月第1版第1次印刷

印数：00, 001—3,830

ISBN7-117-01012-6/R·1013 定价：8.15 元

〔科技新书目194—143〕

序

色觉在视觉器官的功能中所占的位置，仅次于中心视力和周边视力。色觉不仅为人们认识客观世界的美丽色彩提供条件，丰富了人们的日常生活，更重要的是为人们执行一些特殊任务提供物质基础。

没有色觉，人们就不可能欣赏绚丽多彩的周围环境，没有美的感受，也就不可能有艺术；没有色觉，人们就不能执行航空、航海、交通运输和军事指挥等各项任务。这些看来属于普通常识和老生常谈的话，可能不太为人们所重视。但若要追问一下，有关色觉的理论基础、临床表现和应用等问题时，大多数人都将瞠目结舌，无以对答。

从上述观点出发，《色觉与色盲》一书正是从理论与应用两方面，阐明色觉的重要性及其临床意义，从而帮助人们理解和回答以上的问题。因此具有很大的实用价值，必将受到广大读者的欢迎。

作为负责对本书的评阅者，我只能从全书的整体出发，作一全面评价：资料全面，内容丰富，编排合理，概念明确。至于个别细节和字句，由于实际上未能逐一过目，很难绝对排除其中可能存在的某些有待商榷的地方，这就必须依靠广大读者的美意合作来加以解决。

趁本节即将出版之际，写上几句，以作为对本节的介绍和对广大读者的交待。

郭秉宽

1988年6月

前 言

色觉系视觉器官的重要功能之一。其与物理、解剖、生理、生化及心理等学科，均有一定关系。

对于色觉的研究，在50年代前仅限于物理及心理学方面，即理论多于实践，推理多于研究；此后，Ruston及Marks等应用眼底反射、显微分光光度计及电生理等技术，先后证明了金鱼、灵长类的视网膜，有对光谱敏感性不同的三种锥体。上述研究，与视网膜双极细胞和神经节细胞的颞颥反应的研究相结合，使人们认识到色觉的形成过程，在视细胞的感觉阶段为三色机理；而色觉信息由此向视中枢传递的过程，则又按色颞颥机理进行。从而使Young-Helmholtz的三色学说和Hering的色颞颥学说这两个古老论点，在新的基础上得到了统一。

但色觉问题极为复杂。如果说30年前对此问题的认识，不能达到今天的水平，乃由于当时条件的限制，那么，我们今天的认识水平，也同样受着条件的限制，也不可能是完善的。而实际上，也确有许多问题尚未得到解决。

色觉与色盲问题，因与日常生活的关系十分密切，所以科技人员，尤其是眼科工作者，对此问题均应有基本的知识。鉴于国内尚缺少这方面的专业书籍，现将笔者多年来收集的文献资料，并结合自己的临床实践，编撰成《色觉与色盲》一书，重点介绍与临床有关的内容。

本书是在人民卫生出版社及我校、院领导的大力支持和许多眼科同道的热情鼓励下完成的。编撰过程中，承蒙郭秉宽老教授的亲切关怀，他与杨德旺教授分别审阅了全文；汪芳润教授、胡诞宁教授和俞自萍教授对有关部分作了审修；并请李海生院长写了眼电生理内容，刘履端等同志绘制了插图；李春武讲师对全文及其图表作了认真的修改。此外，邹宜昌教授和王世英主任亦给

予热诚帮助。在此一并致以诚挚地谢意!

由于笔者知识水平有限，经验不足，书中缺点错误在所难免，尚祈读者不吝赐教。

芾 疆

1988年8月于第二军医大学

目 录

第一章 光与色	(1)
第一节 可见光线	(1)
第二节 物体的颜色	(4)
一、光的选择反射与选择吸收	(4)
二、光的分解作用	(5)
第三节 颜色的基本特征	(6)
一、色调	(6)
二、亮度	(6)
三、饱和度	(8)
第四节 表色和测色	(8)
一、Munsell色票系统	(8)
二、CIE表色系统	(13)
三、颜色匹配与颜色方程	(18)
第五节 光源	(20)
一、黑体	(21)
二、色温	(21)
三、标准光源	(22)
四、自然光的色温	(23)
第二章 颜色视觉	(25)
第一节 色混合	(25)
一、加色混合	(26)
二、减色混合	(28)
三、面积色混合	(30)
四、双眼色混合	(30)
五、颜色混合与声音混合的区别	(31)
第二节 色对比	(31)
一、同时色对比	(31)
二、继时色对比	(33)
三、后像	(33)

第三节 昼光视觉和暗光视觉	(34)
一、昼光视觉	(34)
二、暗光视觉	(35)
三、Purkinje 现象	(35)
四、光色间歇	(36)
五、“颜色再现”和“记忆色”	(36)
第四节 颜色对情感和机体的影响	(37)
一、积极色与消极色	(37)
二、寒色与暖色	(38)
三、亮度与情感	(39)
四、颜色的象征	(39)
五、色光对眼压的影响	(40)
六、色光对肌肉的影响	(40)
七、颜色对肾上腺活动的影响	(40)
第五节 影响色觉的因素	(41)
一、视网膜的部位	(41)
二、时间	(42)
三、年龄	(42)
四、缺氧	(43)
五、身体姿势	(44)
六、声音刺激	(44)
七、嗅觉刺激	(45)
八、温度刺激	(45)
九、药物	(46)
十、眼内离子浓度	(46)
十一、电流	(47)
十二、其他	(47)
第六节 颜色的应用	(48)
一、在建筑方面的应用	(48)
二、标志和信号	(50)
三、彩色印刷	(53)
四、彩色电影和彩色电视	(53)
五、保护色和伪装	(55)

第三章 色觉概论	(57)
第一节 色觉的发展	(57)
第二节 辨别颜色的能力	(59)
一、色调识别阈和辨色能	(59)
二、人类能辨别颜色的种类	(60)
第三节 色觉学说	(61)
一、Polyak细分割学说	(61)
二、Granit调变体学说	(62)
三、Hartridge多色学说	(62)
四、Edridge-Green学说	(62)
五、Ladd-Frankling进化学说	(63)
六、Young-Helmholtz三色学说	(63)
七、Hering 颧颜色学说	(67)
八、色觉理论的现代概念	(70)
第四节 视色素与色觉	(72)
一、视色素的测定	(73)
二、视色素与色觉异常	(75)
第五节 色觉的解剖生理基础	(78)
一、视觉过程	(78)
二、解剖生理学基础	(80)
第四章 先天性色觉异常	(87)
第一节 历史	(87)
第二节 先天性色觉异常的分类	(90)
一、分类方法	(90)
二、各种先天性色觉异常的特点	(92)
第三节 先天性色觉异常的患病率	(114)
一、我国人先天性色觉异常的患病率	(114)
二、世界各国先天性色觉异常的患病率	(115)
三、我国各少数民族先天性色觉异常患病率	(118)
四、各型先天性色觉异常的患病率	(119)
第四节 先天性色觉异常与职业	(121)
一、先天性色觉异常的人是怎样识别颜色的	(121)

二、对驾驶人员的色觉要求	(122)
三、我国高校招生对色觉的要求	(123)
四、色觉异常者从事各项工作的实例	(123)
五、对色觉应合理要求	(124)
六、对信号色的要求	(126)
第五章 先天性色觉异常的防治	(131)
第一节 先天性色觉异常的遗传	(131)
一、先天性红绿色盲的遗传方式	(131)
二、红绿色盲基因携带者	(138)
三、染色体异常疾患与色盲遗传的关系	(143)
四、红绿色盲与其他遗传性疾病的关系	(145)
五、红绿色盲基因在X染色体上的位置	(145)
六、关于红绿色盲基因座位的学说	(147)
七、其他先天性色觉异常的遗传	(150)
第二节 遗传咨询	(150)
一、对红绿色盲应有的认识	(151)
二、配偶的选择	(151)
三、色盲基因携带者的分析	(152)
四、遗传预测	(153)
第三节 先天性红绿色觉异常的治疗	(153)
一、针刺疗法	(154)
二、电针疗法	(155)
三、电刺激疗法	(157)
四、电子振荡器疗法	(157)
五、滤光片疗法	(158)
六、Ku式色觉矫正器	(159)
七、训练法	(160)
八、药物疗法	(160)
第六章 后天性色觉异常	(163)
第一节 后天性色觉异常的特点	(163)
第二节 后天性色觉异常的分类	(164)
一、病因分类	(164)
二、症状分类	(183)

第七章 色觉异常的检查	(192)
第一节 颜色物体检查法	(193)
一、绒线法	(193)
二、彩色铅笔法	(194)
三、彩色球法	(194)
四、彩色棒法	(194)
五、彩色纸片法	(194)
六、彩色圆斑法	(195)
七、色彩命名法	(195)
第二节 颜色灯光检查法	(195)
一、Edridge-Green灯	(195)
二、Williams 灯	(195)
三、Sloan颜色阈值检查法	(195)
第三节 假同色图检查法	(196)
一、Stilling假同色表	(197)
二、石原色盲检查图	(198)
三、Рабкин多色表	(201)
四、美国AO色盲检查图	(205)
五、东京医学院色盲检查图	(206)
六、标准假同色表	(208)
七、AO H-R-R假同色图	(210)
八、大熊色盲色弱程度检查图	(210)
九、Boström假同色图	(210)
十、俞氏色盲检查图	(211)
十一、汪氏色觉检查图	(215)
十二、贾氏色盲检查图	(217)
十三、李氏色觉检查图	(217)
十四、其它色盲(觉)检查图	(218)
十五、各种色盲(觉)检查图性能比较	(218)
十六、使用色盲(觉)检查图的注意事项	(219)
第四节 色觉仪器检查法	(221)
一、色盲检查镜	(221)
二、Farnsworth-Munsell 100色调检查法	(230)

三、Panel D-15检查法	(231)
四、色觉稳定性检查法	(235)
五、Sahlgren饱和度检查法	(236)
第五节 色觉异常的电生理检查	(236)
一、视网膜电图	(237)
二、视诱发电位	(238)
第六节 颜色视野	(241)
一、颜色视野简介	(241)
二、颜色视野范围	(242)
三、影响正常视野的因素	(245)
名词索引	(250)

第一章 光 与 色

颜色视觉, 简称色觉(color vision), 系指人或动物的视网膜受不同波长光线刺激后产生的一种感觉, 为视觉器官的功能之一。依von Kries (1894) 的双重学说 (duplicity theory), 色觉属于昼光视觉 (day-light vision), 亦称锥体视觉 (cone vision)。产生色觉的条件, 除视觉器官之外, 还必须有外界的条件, 如物体的存在及光线等。色觉涉及物理、化学、解剖、生理、生化及心理等学科, 是一个非常复杂的问题。

第一节 可 见 光 线

色觉仅在一定强度的光的作用下才能产生。光是由太阳或其他光源发出的放射能, 具有电磁波及粒子双重性质, 对眼睛产生的折射及干涉现象等, 属于波动性质; 当其被视网膜吸收后产生的热能及化学变化, 乃属于粒子的性质。

在整个电磁波范围内, 能引起人们视觉的可见光线, 只有波长为 $800 \sim 400\text{nm}$ 的一小部分(图1-1)。

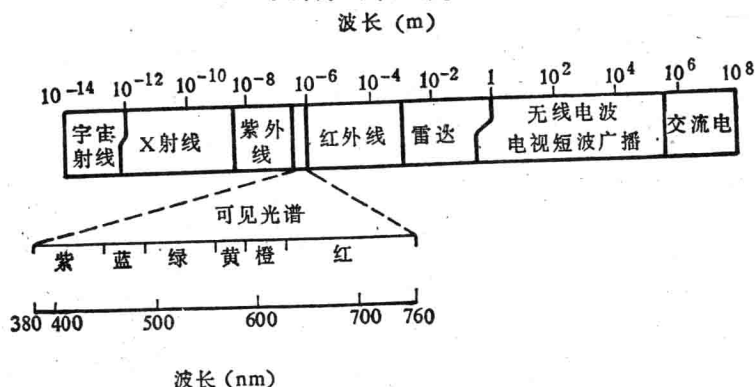


图 1-1 电磁波辐射范围及可见光线

由太阳发出的光, 尚包含有红外线及紫外线等部分。可见光

线经眼睛的屈光间质到达视网膜，发生能量转换，引起神经冲动，此冲动沿视路到达大脑皮层的高级视觉中枢（枕叶矩状裂附近）而产生视觉。能使视网膜产生视觉的可见光线范围，一般情况下为760~390nm；但在特殊情况下，可达302~860nm。无晶状体的眼睛甚至可达290nm。但眼睛对上述范围两侧边缘光线的敏感度，要比其中间部分低数万倍。

人体的器官，是在长期适应环境过程中发生和发展起来的。所以，每一种感觉器官的结构和机能，都有适应外界一定事物的特性。视觉器官对可见光线部分最适应，对其他电磁波则不敏感，此一特性乃人类长期进化的结果，使其在太阳光下能够最好地感受外界的事物。从生物学的观点来看，眼睛对红外线不敏感是绝对必要的，大家都知道热的物体可以发光，温度为37℃的眼球内壁，即可产生红外线。假若视网膜能感受红外线的话，则眼睛的内视现象即会妨碍对外界事物的观察，人们将只能看到眼球内部大小血管内的血液流动，而不能看到外界的景象。从生物学观点来看，同样也可以理解视觉器官在短波方面的界限，它是位于可见光谱短波部分的边缘。因到达地球表面的光谱范围，实际上终止于290nm左右，波长更短的光线，多被大气层中的臭氧所吸收，故眼睛没有感受波长短于290nm光线的必要。

除可见光线外，Brandes 和 Dorn (1897) 尚注意到X线也可以引起光的感觉，后来为 Röntgen (1897) 所证实。其中以镭的作用较强。因为此种现象，仅在暗适应的眼才能看到，故 Nagel (1901) 认为主要是杆体 (rod) 的功能。

视觉器官对各种不同波长的光线，可感觉为不同的颜色，故可见光线亦称色光 (color light)。通常在光谱中，人们的眼睛能容易地区别六种颜色，即红、橙、黄、绿、蓝及紫，它们之间的界限并不十分明确。据 Nutting 综合的有关资料，光谱中标准颜色的大致范围为 (表1-1)：

当要求观察者指出光谱上最纯颜色的位置时，他们的感觉并不严格地集中在一个特定的波长上。黄色较为集中，位于波长为575nm的部位。蓝色在475nm附近。绿色则很不集中，大约在

表 1-1 光谱中标准颜色的位置 (波长nm)

颜色	平均数	极 端 数	中 位 数
红	677	644~703	573
橙	607	581~630	610
黄	579	564~585	575
绿	524	505~534	519
蓝	474	452~486	468
紫	418	405~433	419

512~530nm 之间。红色极不一致,某些观察者认为在 642nm 处,另一些则认为在 760nm 的部位。

另外,对于某些波长,我们看到的颜色和波长的关系,并不是固定不变的。因为某些颜色受光强度的影响,随光的强度不同而起变化。其变化规律是:光谱上除了 572nm (黄)、503nm (绿) 和 478nm (蓝) 三处外,其他各色当光的强度增加时,均略向红或蓝偏位。这种颜色随光强度而变化的现象,称为 Bezold-Brücke 效应 (Bezold-Brücke effect)。例如:660nm 红光的强度由 2000 楚蓝德 (troland; troland 原名称为 phot, 1 楚蓝德 = 刺激亮度 $\text{cdm}^2 \times \text{瞳孔面积 mm}^2$)。cd 为发光强度单

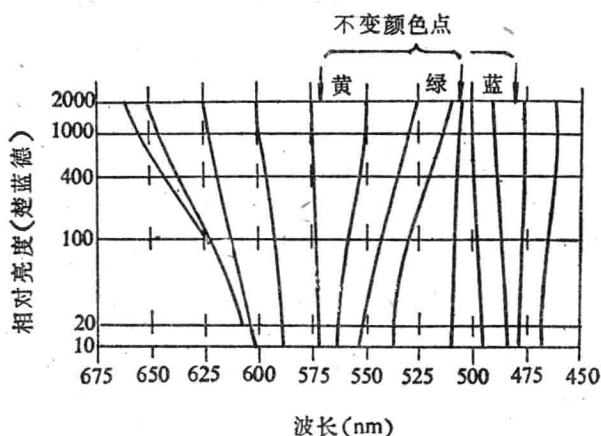


图 1-2 各种波长的恒定颜色线

位 = 0.981 国际烛光单位) 降到 100 楚蓝德时, 就必须减少波长 34nm, 才能保持原来的色调; 525nm 的绿光, 在同样条件下, 则需增加 21nm, 才能保持原色调不变。如图 1-2 所示, 每条线上的颜色, 在视线上表现为同样的色调。随着光强度的增加, 各条线均向红或蓝方倾斜, 只有黄、绿、蓝三条线, 不受光强度的影响, 方向保持不变。

第二节 物体的颜色

物体的颜色, 从物理学的角度讲, 即物体对不同波长光线的反射、吸收或透过现象。发光体以外的物体, 均依发光体来的光线性质而决定其颜色。

一、光的选择反射与选择吸收

物体的颜色, 取决于该物体对不同波长光线的选择反射与选择吸收的情况。当光线照射某物体时, 如果各种波长的光全部被反射, 则该物体即呈白色。反之, 如果各种波长的光全被吸收, 则该物体即呈黑色。又如某种物体只反射 700nm 波长的光, 其他波长的光全被吸收, 则该物体即呈红色。同理只反射 460nm 波长的光, 则该物体即呈蓝色。这种依表面选择反射及选择吸收而呈现的颜色, 称为表面色 (apparent color)。透明物体的颜色, 依其能透过什么样波长的光线而定。能透过红色波长光线的呈红色, 能透过绿色波长光线的呈绿色。此种依其透过波长而决定的颜色, 称为透色 (transparent color)。

物体所以能吸收或反射某种波长的光, 或让某种波长的光透过, 概由其物理性状或其分子的化学性质所决定。在化学元素周期表中, 长周期的元素, 常生有色的分子, 且能与无色分子结合而成有色的化合物。为什么某种化学元素或分子能吸收一种波长的光而反射其他种波长的光, 现有的知识尚无法解答。

除此之外, 物体的颜色与光源的成分亦有决定性的关系。光源中含有什么样的波长, 物体只能在这些波长中进行选择反射或选择吸收, 而不能创造出光源里缺乏的某种波长的颜色。倘若以

某种光线照射树叶时,如光线中不含 $500 \sim 530\text{nm}$ (绿)的波长,树叶即不能反射出这种波长,当然树叶也就不会呈现绿的颜色。

各种光源所发光的光谱,是不相同的。例如钠的光谱中,即只有波长较长的黄色光,缺乏波长较短的蓝及紫色光。而紫外线灯,只发出波长较短的紫外线及紫色光,在它的光谱中缺少长波长的红光。倘若我们拿一朵白花,置各种不同的光线中,我们即会发现花的颜色,会随光源的颜色不同而改变:置花于黄色光中,花呈黄色;置花于红色光中,花呈红色;置花于其他色光中,亦均依光源的颜色不同而发生相应的变化。

因此,物体之所以呈现各种颜色,不仅只决定于物体本身所具有透过或反射某种波长光线的特性,而且还要看光源中是不是包含有它所能反射或透过的波长。如果光线中不含这种波长,它的颜色也就不会显露出来。所以颜色与光源的关系非常密切。

二、光的分解作用

太阳光是由红、橙、黄、绿、蓝及紫等各种不同的色光组成。当这些色光被分解的时候,即可呈现不同的颜色,常见的分解现象有以下几种:

(一) 折射作用 当太阳光通过三棱镜时,因为各不同波长色光的折射率不同,即发生折射现象。紫色光的波长最短,折射率最大;红色光的波长最长,折射率最小。由于这个原因,由各种不同波长组成的太阳光的可见光线部分,可被分解开来,呈现各种颜色。雨后初晴时天空的彩虹,急性充血性青光眼患者看灯光时出现的虹视症状,都是由于天空中及角膜组织内的小水滴对光线的折射所致。

(二) 干涉现象 即各种不同波长的光线在进行过程中,出现互相减弱或互相加强的现象。由于光波干涉而呈现颜色的现象,在日常生活中经常遇到。如肥皂泡及水面的油层所呈现的美丽颜色,即为光的干涉现象。因为肥皂泡乃一层很薄的水分子,被肥皂分子相互吸引而连成一片。当阳光照到肥皂泡的时候,一部分在肥皂泡的第一表面(肥皂泡分子与空气的交界面)被反