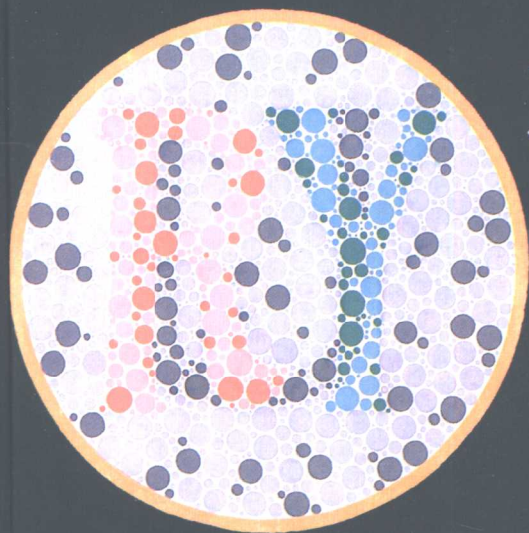


第二版

色觉 检查图



COLOUR VISION TEST

王克长
王新宇

编绘



人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

色觉检查图/王克长等编绘. —2 版. —北京:
人民卫生出版社, 2001
ISBN 7-117-04594-9

I. 色... II. 王... III. 色觉试验-眼科检查-图谱
IV. R770.42-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 080205 号

色 觉 检 查 图

第二版

编 绘: 王克长 王新宇

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: 中国科学院印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/24 印张: 4 1/6

字 数: 42 千字

版 次: 1992 年 12 月第 1 版 2002 年 1 月第 2 版第 6 次印刷

印 数: 73 016—81 015

标准书号: ISBN 7-117-04594-9/R · 4595

定 价: 26.00 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)

内 容 提 要

本书是根据颜色视觉理论和色度学互补色理论，按照假同色原理绘制而成，经用全自动测色色差计测定，用色准确，完全符合要求。全书共 66 幅检查图，其中数字图 38 幅，拉丁字母图 13 幅，动物图 15 幅。全图能对红、绿、黄、蓝（紫）色觉做全面检查，并能对红、绿、蓝（紫）色弱做重、中、轻三度分类，对色视觉检查可达定性和半定量标准。全书图数较多，一图一意，便于掌握认读速度，不易造成误查漏查，是一本检查功能全面、使用方便、分类合理的色觉检查工具书。

本书可广泛适用于医院、防疫、军队、学校、科研等部门使用。



序 言

色觉检查是视功能检查的重要内容之一，是选拔从业人员体格检查的必查项目，也是个人选择职业的重要参考。目前国内虽已有色觉检查图出版，但还远不能满足日益发展的社会各方面对色觉检查的要求。王克长医师经过十多年潜心研究、不懈努力，根据色视觉理论和互补色理论，应用假同色的原理，自己动手，设计绘制了多幅色觉检查图，内容丰富、全面，经全自动测色色差计测定，完全符合要求，这也为能逼真的印刷出版创造了条件。该图是在吸取了国内、外色觉检查图的长处后，又有所创新。可对红、绿、黄、蓝（紫）色觉做全面检查，又可对红、绿、蓝（紫）色弱做轻、中、重三度分类，即对色觉异常可做定性和半定量分析。经临床试用，确实使用方便，灵敏度高，结果可信，是值得推广使用的一套色觉检查工具。今逢即将出版之际，特志数语，作为介绍。希眼科同道们，在实际应用中，发现问题，随时指教，以便更正！

杨 钧

1992 年 1 月于北京



再 版 前 言

视功能检查包括视力、视野、色视觉、视觉电生理等几个方面，其中以视力、色视觉检查最为常用，是体格检查的必查项目。颜色视觉的检查以《色觉检查图》使用最为方便、快捷、且较准确。

颜色视觉是客观刺激与人的神经系统相互作用的结果。一定波长范围的电磁波作用于人的视觉器官，经过视觉系统的信息加工，而产生颜色视觉。在视觉通路中，某一部分有异常改变，都可能造成视力或色视觉的改变。

在我们人类，色视觉异常最多见的是先天性改变；后天性改变可以由某些疾病或外伤引起。但先天性色视觉异常改变做为患者本人并不自觉，即色盲者本人，并不知道自己是某色色盲，而是在体格检查中才能发现。也就是说，色视觉异常的人，在生活工作中辨色自以为和别人一样，而实际他们感觉到的颜色，跟正常人有很大差别，常常是“人云亦云”。在蔚蓝的天空中飘着一面鲜艳的红旗，对正常人，是再明显不过了；而对红绿色盲者就不觉得显眼，或者视而不见。根据现在的检查统计，色视觉异常者占正常人群的4%~5%，色弱比例要再高一些。而且，先天性色视觉异常多有家族性，即以遗传为主。

我们生活在万紫千红的彩色世界里。随着科学技术的飞速发展，人们周围的色彩更丰富，更复杂，更精彩。迅速发展的交通运输事业，从空中，到地上、地下，海洋、水下，太空、宇宙，无处不有，形成了庞大的立体交通网络。这些复杂的交通行驶路线的管理，主要就是依靠指示灯色彩的不同来区分的。“绿灯行、红灯停”，这是

人们很熟悉的交通常识。而对色视觉异常者，尤其对色盲患者，对这些规定和常识的掌握，就不是很容易和得心应手；他们会分辨不清而往往弄错，有的是看灯亮的位置，有的是看前面的车如何行驶，自己跟着走。但用这种办法来辨认交通信号是很危险的。

在瑞典 1875 年发生了一次火车相撞事件，事后调查肇事原因，才发现司机是色盲患者，把信号看错所致。1876 年，瑞典首次规定对铁路就业者及船员进行色盲检查。其后，德国、奥地利、日本等也相继实行。现在，色觉检查已列为体格检查的常规项目。

色视觉的检查对人才的选拔和使用也至关重要。对颜色视觉要求较高的专业，通过色视觉检查，可选拔出合格的人才，不致造成人力和财力的浪费，也就不会给本人的工作造成不应有的困难。也可以根据自己的身体条件，选择更适合的专业和工作；这样，工作起来才能轻松愉快。

对色视觉检查工具的性能要求，不能一概而论，即不能太细，太繁，也不能太简或不查。现临床使用的色视觉检查工具有数种，如 Nagel 色觉检查镜，FM-100 色觉调试验，色觉检查图等。临床使用以《色觉检查图》最为方便。

现代化的科学技术给颜色视觉的研究和检查提出了新的要求。千变万化的照明工程和工具的不断出现和更新，人机系统的设计，特殊条件下的颜色视觉辨认，计算机图像的识别等等，都要求对人类的视功能有更深入的了解，更好地应用于生产、生活中去。这一切都推动着包括颜色视觉在内的视觉研究的进展。人们更应该了解自己的视觉功能和颜色视觉能力。所以颜色视觉的检查是必须的 and 应该的。

该《色觉检查图》从 1993 年出版以来，先后印刷 5 次。现根据临床使用情况，对图做了适当修改，新增图采用电脑测试绘制。现全书检查图共计 66 幅，由三部分

组成。第一部分，数字组 38 幅，为红、绿、蓝（紫）、黄色盲和色弱检查图，对各类色弱做重、中、轻三度分类检查。第二部分：拉丁字母组 13 幅，作速查、复查之用；第三部分：动物图案组 15 幅，供儿童及文化程度低者使用。有 5 幅图用来检查色视觉疲劳和隐色盲。

敬请各位眼科同道和使用者提出宝贵意见，以便该图使用效果不断改进和提高，更适合眼科临床、各类体格检查和科研使用。

王克长

2001.2



前言

随着科学技术的发展，对某些科研工作者、国防、建设及各行各业从业人员的视力和辨色力的要求提出了较高的标准。对有辨色功能障碍的人员，也要人尽其才，合理使用。所以，眼科体检中对辨色功能的正常与否必须借助既简便而又准确的检查方法，予以判定受检者辨色力的高低，以便向各行各业合理推荐人才。

本图是根据颜色视觉理论，依据“色度学”中颜色混合定律的补色律，应用假同色原理设计绘制而成，并按照国际照明委员会（CIE）色度图、和 1975 年公布的灯光信号颜色要求，将主要信号颜色：红、绿、黄、蓝（紫）在 CIE（1931）色度图上的色度区域选色配色。另外，还采用 PC—P II 型全自动测色色差计，对绘图所用坐标色及不同红、绿含量的中间色进行定量测定，绘制后经过多次复测、试用、修改，最后定稿。

全图共 56 幅，由三部分组成。第一部分：数字组 32 幅，为红、绿、黄、蓝（紫）色盲和色弱检查图。对红、绿、蓝（紫）色弱做重、中、轻三度分类。第二部分：拉丁字母组 10 幅，作速查、复查之用；第三部分：动物图案组 14 幅，供儿童及文化程度低者使用。有 5 幅图用来检查色觉疲劳和隐色盲。

全图绘制完成后，先后做了万余人次的临床试用，证明其使用灵敏度好，功能全面，可对色觉异常作定性和半定量诊断。

1989 年 10 月，在甘肃省天水市科委主持下，邀请国内著名眼科学家杨钧、俞白萍、王延华等教授进行了技术鉴定。

本图在编绘过程中，曾得到了甘肃省科委、天水市科委和天水市第一人民医院领导的大力支持。得到了杨钧教授、俞自萍教授、王延华教授、张晓楼教授、劳远琇教授、张灵芝教授、朱学敏主任医师、邹本宝主任医师、贺汝温主任医师、沈克惠主任医师、盛铭名工程师、蔡绍佗副主任医师的热情帮助，得到雷嘉启副主任医师的具体指导和帮助，在此表示衷心感谢！

由于作者水平有限，可能会有许多不足之处，敬希广大使用者批评指正。

王克长

1991年10月于天水

目 录

一、颜色的一般特性	1
二、视器官和色觉功能	2
三、颜色视觉理论	4
四、色觉障碍的临床表现	7
五、关于色觉障碍的分类	8
六、色觉障碍的检查	10
七、本书绘制依据和使用	11
八、本书使用注意事项	13
九、各图用法表	14

一、颜色的一般特性

宇宙间的一切物体，只要它能发射、反射、透过或吸收从 380nm（毫微米）至 780nm 波长的电磁辐射，它就会具有某种颜色^{〔1〕}。

颜色可分为彩色和非彩色两大类^{〔1〕}。非彩色指白色、黑色和各种深浅不同的灰色。对于光来说，非彩色的白黑变化，相当于白光的亮度变化。当白光的亮度非常高时，人眼就会感觉到是白色的；当白光的亮度很低时，就会感到发暗或发灰。无光时，是黑色的。

纯白是理想的完全反射的物体，其光反射率等于 1；纯黑是理想的无反射的物体，其光反射率等于零。在现实生活中，并没有纯白和纯黑的物体。

在白、黑之间从浅到深的各种非彩色，组成了一个白黑系列。此系列的非彩色代表物体光反射率的变化，在视觉上是明度的变化。愈接近白色，明度愈高；愈接近黑色，明度愈低。当物体表面对可见光谱所有波长的辐射的反射率都在 80%~90% 以上时，该物体为白色，有很高的明度。当其反射率在 4% 以下时，该物体为黑色，只有很低的明度。白色、黑色和灰色物体对光谱各波长的反射没

有选择性，它们是中性色。

彩色是指白黑系列以外的各处颜色。彩色有三种特性，即明度、色调和饱和度。

明度即彩色的亮度。彩色光的明度愈高，人眼就愈感觉明亮。彩色物体表面光反射率愈高，它的明度就愈高。

色调是指彩色相互区分的特性。可见光谱不同波长的辐射在视觉上表现为各种色调，如红、橙、黄、绿、蓝、紫等。物体的色调决定于光源的光谱组成和物体表面所反射（透射）的各波长辐射的比例对人眼所产生的感觉。例如在日光下，一个物体反射 480~560nm 波段的辐射，而相对吸收其它波长的辐射，那么该物体表面为绿色。当物体对可见光谱的长波辐射有较高的反射，而吸收了大部分 580nm 以下的短波辐射，该物体表面为红色。

饱和度是指彩色的纯洁性。可见光谱的各种单色光是饱和的色彩。当光谱色掺入白光成分愈多时，就愈不饱和。当掺入的白光成分达到很大比例时，在眼睛看来，它就不再成为一个彩色光，而成为白光了。

非彩色只有明度的变化，而没有色调和饱和度

这两种特性。

颜色可以互相混合。颜色混合可以是颜色光的混合，也可以是颜料的混合。但两种混合所得的结果不同。在光的混合中，光谱中各种颜色相加混合产生白色；而相同颜料的混合，则产生灰（黑）色。

凡是两种颜色混合，产生白色（光）或灰（黑）色（颜料）者，这两种颜色称为互补色^[1]。也就是在自然光中，减弱或除掉某种波长的光，剩余波长的光，即具有颜色；这些被减弱的光的颜色和剩余部分的光的颜色，互相称为互补色。如黄和

蓝（紫）是互补色，红和绿是互补色。当一对互补色按各种比例混合时，所产生的颜色，是这两个互补色的中间色，包括不同亮度的白色或灰色和不同色调和饱和度的混合色的颜色系列。这一混合色系列，称为这一对互补色的中间色。这些中间色中不显色的白色或灰（黑）色，就称为中性色。

在两个互补色组成的混合色系列中，如果两个互补色中一个成分连续地变化，混合色的外貌也就发生连续地变化，便产生近似比重大的颜色成分的非饱和色。本书是以上述理论为基础绘制的。

二、视器官和色觉功能

各种感觉器官是在适应环境的过程中发生和发展的^[2]。太阳光的物理特性促使了动物视器官从低级向高级的进化过程逐渐形成了动物视器官具有了辨色功能。

在最原始的单细胞生物，整个细胞都具有感光功能。在较高级的多细胞动物躯体上，只有少数细胞具有感光作用。如单细胞的原生动物眼虫，仅有能感光的特殊细胞器官——眼点司感光功能。原索动物文昌鱼，在脊髓的中央管壁上已具有许多感光细胞。在脊椎动物鱼类，已有包括角膜和能前后移动的晶状体、视网膜、视神经结构等较为完整的视器。到哺乳类动物，视器就更为精密、完善和专职化。

人类的视器，演变的更为高级和健全。它具有

高度复杂的、有特殊感光功能的细胞结构——视网膜，其与感光细胞相联系的神经纤维，汇总成视神经；由视神经通过视路，到达大脑后枕叶的距状沟视觉中枢区。眼球前部，有完全符合光学要求，成像于视网膜上的角膜、房水、虹膜、晶状体、玻璃体等屈光结构。由于眼睛的透镜作用，使来自自然界的光线成像于视网膜上。

视网膜上的感光细胞包括锥细胞和杆细胞^[3]。人眼的锥细胞长度为 28~58nm，直径为 2.5~7.5nm；杆细胞比锥细胞细长，其长度为 40~60nm，平均直径只有 2nm。锥细胞和杆细胞的视觉功能不同。锥细胞司明视觉，在光亮条件下，能够分辨颜色和物体的细节。杆细胞只在较暗条件下起

作用, 适宜于微光视觉, 一般不能分辨颜色与细节。这两种视细胞在视网膜上的分布很不均匀。视网膜黄斑部位和中心凹大约 3° 视角范围内主要是锥细胞, 几乎没有杆细胞。离开中心凹, 锥细胞急剧减少, 杆细胞迅速增多。在离开中心凹 20° 的地方, 杆细胞的数量最多。人眼视网膜大约有 650 万个锥细胞和 $1.1 \sim 1.25$ 亿个杆细胞。视网膜的中心凹每平方米有 $14 \sim 16$ 万个锥细胞。这种细胞的特殊分布, 构成了视网膜的中心视力和周边视力的不同。当刺激物作用于视网膜中心凹时, 视锐度最高, 偏离中心凹 5° 时, 视锐度几乎降低一半。在偏离 $40 \sim 50^\circ$ 的地方, 视锐度只有中心凹的 $1/20$ 。视网膜不同部位视锐度的差别, 与锥细胞的分布情况是一致的。

1912 年, 凯斯 (Kries)^[1] 根据上述事实, 提出了视觉的二重功能学说, 认为视觉有两重功能: 视网膜中央的锥细胞视觉和视网膜边缘的杆细胞视觉, 也叫做明视觉和暗视觉。

视觉的二重功能得到病理学材料的证实^[2]。锥细胞退化或功能丧失的日盲症患者的视网膜中央部位是全盲的, 同时也是全色盲。夜盲症患者是由于杆细胞内缺少感光化学物质 (视紫红质), 在黑暗条件下视觉便发生困难。在一些昼视动物的视网膜中, 只有锥细胞, 而无杆细胞。所以昼视动物都能分辨颜色。大多数鸟类都是昼视的。在夜视动物的视网膜中只有杆细胞, 而无锥细胞。夜视动物一般都是色盲。有些爬虫类动物是夜视的。

由于视觉的两重功能, 正常视觉的人从光亮环

境到黑暗环境时, 由于锥细胞视觉转到杆细胞视觉, 对不同波长的光的视觉感受性也发生变化。在光亮条件下, 人眼可以看到光谱上不同明暗的各种颜色。当光谱亮度减低到一定程度时, 人眼便看不到光谱上的各种颜色, 视觉便成为无彩色的, 整个光谱表现为一条不同明暗的灰带。

正常颜色视觉的视网膜中央部分能分辨各种颜色, 由中央向外围部分过渡, 锥细胞减少, 杆细胞增多, 对颜色的分辨能力逐渐减弱, 直到对颜色的感觉消失。在中心凹 15° 视角的很小区域内, 对红色的感受性最高, 但对黄蓝色无感受性。在与中央区相邻的外周区先丧失红、绿色的感受性, 视觉呈红-绿色盲。在这里, 眼睛只能看到红色和绿色所具有的明暗程度, 即把这两种颜色及其混合色看成不同明暗的灰色, 而黄、蓝色感觉仍保留。有时, 红、绿色在这个区域被误认为黄色。这个视网膜区域叫做中间区或红绿盲区。在视网膜的更外围边缘, 对黄、蓝色的感觉也丧失, 而成为全色盲区。在这个区域只有明暗感觉而无颜色感觉, 各种颜色都被看成不同明暗的灰色。这就如同全色盲者观察颜色的情况, 或者像正常人看黑白照片、黑白电视时的情况。

人眼对于小于 15° 视角的小面积颜色呈黄-蓝色盲, 只能看到红和绿及它们的混合色。如果面积再缩小, 则对红、绿色的辨认也困难, 但对各种颜色的明度感觉仍保留。所以在远距离观察信号灯光会发生误认现象, 特别在低亮度下, 蓝色和黄色极易与其它颜色混淆。因此, 经常用红、绿色作为信

号标志。在一般情况下，因为眼睛在经常运动，这种微小颜色面积仍能刺激较大的中央窝范围，所以不易发生颜色的失真现象。

另外，视网膜黄斑区被一层黄色素覆盖着。黄色素能降低眼睛对光谱短波端（蓝、紫色）的感受性，而使颜色感觉发生变化。黄色素在中心凹的密度最大，到边缘部显著降低。这也造成观察小面积颜色和大面积颜色的差异。在实验条件下，当观察大于 4° 视场的颜色时，在视线正中会看到一个略带红色的圆斑，叫做麦克斯韦圆斑（Maxwell spot）。麦克斯韦圆斑出现在大面积颜色的均匀表面上，直径大约占 4° 视角。它没有明确的边界，跟随视线移动。麦克斯韦圆斑是中心凹的黄色素造成的。由于每个人中心凹的黄色素密度不同，不同人种的黄色素密度也不同，同时随年龄的增长，眼睛的晶状体变黄，所以不同的人，对颜色的感受性略有不同。总的来说，黄色素对视觉的影响甚小。日常生活中并不能察觉麦克斯韦圆斑的存在，但在实验条件下观察高亮度的颜色时，常会出现麦克斯韦圆斑。因此，在颜色视觉实验中，观察小视场（ 2° ）颜色和

观察大视场（ 10° ）颜色，会得出不同的结果。

颜色视觉正常的人，在光亮条件下能看到可见光谱的各种颜色，它们从长波一端向短波一端的顺序是：红色（700nm）、橙色（620nm）、黄色（580nm）、绿色（510nm）、蓝色（470nm）、紫色（420nm）。表1中列出了各种颜色的波长和光谱的范围^[1]。此外，人眼还能在上述两个相邻颜色范围的过渡区域看到各种中间颜色，如绿黄、蓝绿等。对具有正常色觉功能的人，可以辨别出当颜色波长发生1~2nm范围色调变化。

表1 光谱颜色波长及范围

颜 色	波 长(nm)	范 围(nm)
红	700	640~750
橙	620	500~640
黄	580	550~600
绿	510	480~550
蓝	470	450~480
紫	420	400~450

三、颜色视觉理论

现代颜色视觉理论主要有两大类，它们是从两个比较古老的理论发展出来的：一个是杨-赫姆霍尔兹（Young - Helmholtz）的二色学说，另一个是

赫林（Hering）的对立颜色学说。前者从颜色混合的物理学规律出发，后者从视觉现象出发，两者都能解释大量事实，但也都有不足之处。

杨-赫姆霍尔兹三色学说^[1]：根据红、绿、蓝三原色可以产生各种色调及灰色的颜色混合规律，假设在视网膜上有三种神经纤维，每种原色都能引起一种神经纤维的兴奋。但由于光的波长特性，其中一种纤维的兴奋特别强烈。光刺激同时引起三种纤维强烈兴奋的时候，就产生白色感觉。当发生某一颜色感觉时，虽然某一种纤维兴奋最强烈，但另外两种纤维也同时兴奋，所以每种颜色都有白光成分，即有明度感觉。光谱的不同成分引起三种纤维不同比例的兴奋。在颜色混合中，混合色是三种纤维按特定比例同时兴奋的结果。

该学说的最大优点是能充分说明各种颜色的混合现象，用简明的三种神经纤维的假设，使颜色实践中颜色混合这一核心问题得到解释。

这个学说的最大不足是不能满意地解释色盲现象。根据这个学说，三种纤维同时兴奋才能产生白色或灰色感觉；既然色盲患者缺乏一种或几种纤维，是不应该有白色感觉的，而全色盲的人同样也有明度或白色感觉。同样道理，红-绿色盲的人是不应该有黄色感觉的，因为只有“红”和“绿”纤维同时兴奋才能产生黄色，但事实上并非如此，红-绿色盲的人照样有黄色感觉。

赫林的对立颜色学说^[1]：赫林的对立颜色学说，也叫做四色学说。1878年赫林观察到颜色现象总是以红-绿、黄-蓝、黑-白成对关系发生的。因此，假设视网膜中有三对视素：白-黑视素、红-绿视素、黄-蓝视素。这三对视素的代谢作用包括结合（同

化）和破坏（异化）两种对立的过程。光刺激破坏白-黑视素，引起神经冲动产生白色感觉。无光刺激时白-黑视素便重新结合起来，所引起的神经冲动产生黑色感觉。对红-绿视素，红光起破坏作用，绿光起结合作用。对黄-蓝视素，黄光起破坏作用，蓝光起结合作用。因为各种颜色都有一定的明度，即含有白色成分，所以每一颜色不仅影响其本身视素的活动，而且也影响白-黑视素的活动。

根据赫林学说，三种视素的对立过程的组合产生各种颜色感觉和各种颜色混合现象。

如当两个互补色混合时，某一对视素的两种对立过程形成平衡，因而不产生与该视素有关的颜色感觉，但所有颜色都有白色成分，所以引起白-黑视素的破坏作用而产生白色或灰色感觉。同样，当所有颜色都同时作用到各种视素时，红-绿、黄-蓝视素的对立过程都达到平衡，而只有白-黑视素活动，就产生白色或灰色感觉。

按照这一学说，色盲是由于缺乏一对视素（红-绿或黄-蓝）或两对视素（红-绿和黄-蓝）的结果。前者便产生红-绿或黄-蓝色盲，后者便产生全色盲。

杨-赫姆霍尔兹的三色学说和赫林的四色学说，一个世纪以来一直处于一种对立的地位。如要肯定一个学说，似乎非要否定另一个学说不可。一个时期，三色说占上风，因为它有更大的实用意义。但近一、二十年，由于实验手段的不断发展，对这两个学说有了新的认识，证明二者并不是不可调和的。事实上，每一学说都只对问题的一个方面获得

了正确的认识。两者必须相互补充,才能对颜色视觉获得较为全面的认识。

现代神经生理学发现,在视网膜中存在三种不同的感受器。它们分别是三种感色的锥细胞,每种锥细胞具有不同的光敏感特性。沃尔德(Wald)和布朗(Brown)以及麦克尼科尔(Macnichol)等人^[1]用显微光谱光度计测量人眼单一锥细胞的相对光谱吸收特性,发现有的锥细胞对黄色(波长570nm)有最大感受性;有的对绿色(波长525nm、535nm)最敏感;另有一种对蓝色(波长445nm、450nm)最敏感。

富田等^[2]用微电极插入鲤鱼视网膜内,观察了由于改变刺激光的波长而引起的单个锥细胞内电位变化。三种锥细胞反应的峰值,分别在红区为611nm,绿区为529nm和蓝区为462nm。

Marks等^[2]用精密的分析仪器,测定了灵长类(人和猴)单个视锥细胞内所含视色素的吸收光谱分布,分别在570nm(红)、535nm(绿)和445nm(蓝)有吸收峰值,说明有三种视锥细胞存在。

视色素的吸收光谱,并不一定能断定视细胞对应的波长敏感特性。但Marks测定了金鱼单个视锥细胞内视色素的吸收光谱,由于该吸收光谱与鲤鱼视锥细胞的反应特性很相似,所以可以推测灵长类视锥细胞也具有类同的波长敏感性。

萨瓦特金(Svaetichin)、狄瓦洛斯(Devaiois)等人^[1]在猿猴和鱼类视网膜和视神经传导通路的研究中,发现一类细胞对可见光谱的全部波长都发生

反应,而对575nm一带反应最大。这种细胞的光感受性和人的光谱光效率函数相似,可以认为是负责明视觉的。有些视网膜传导细胞(双极细胞、神经节细胞)和外侧膝状核的细胞对红光发生正电位反应,对绿光发生负电位反应;还有的细胞对黄光发生正反应,对蓝光发生负反应。因而在视觉神经系统中可以分出三种反应:光反应(L)、红-绿反应(R-G)、黄-蓝反应(Y-B)。红-绿反应又分为+R-G(红兴奋,绿抑制)和+G-R;黄-蓝反应又分为+Y-B(黄兴奋,蓝抑制)和+B-Y。这四种“对立”的感色细胞很符合赫林的四色学说。因此可以认为,视网膜的锥细胞感受器水平是一个三色的机制,而视觉信息向脑皮层视觉中枢区的传导通路中变成四色机制。

这四种“对立”的感色细胞与三种锥细胞的关系,目前只提出一些设想。如阿布拉莫夫(I. Abramov)^[1]认为+R-G和+G-R细胞从“红”锥体(峰值570nm)和“绿”锥体(峰值535nm)接受输入。“红”锥体对+R-G细胞起兴奋作用,对+G-R起抑制作用;“绿”锥体则相反,对+G-R起兴奋作用,对+R-G起抑制作用。“蓝”锥体(峰值445nm)和“红”锥体对+Y-B和+B-Y起类似的兴奋和抑制作用。这两对“对立”的颜色细胞的兴奋和抑制的相互关系则决定着颜色感觉。

根据以上情况,可以认为颜色视觉过程分成几个阶段。第一阶段,视网膜有三种独立的锥体感色物质,它们有选择地吸收光谱不同波长的辐射,同

时每一物质又可单独产生白和黑的反应。在强光作用下产生白的反应，无光刺激时是黑的反应。第二阶段，在神经兴奋由锥体感受器向视觉中枢的传导路径中，这三种反应又重新组合，最后形成三对对立性的神经反应，即红或绿、黄或蓝、白或黑反应。

所以，颜色视觉的机制很可能在视网膜感受器水平是三色的，符合杨-赫姆霍尔兹的学说；而在

视网膜感受器以上的视觉传导通路水平则是四色的，符合赫林的学说。颜色视觉机制的最后阶段发生在大脑皮层的视觉中枢。在这里产生各种颜色感觉。颜色视觉过程的这种设想称做“阶段”学说。可以看到，两个似乎完全对立的古老颜色学说，终于由颜色视觉的阶段学说统一在一起了^[2]。

四、色觉障碍的临床表现

对颜色视觉不正常的人，临床上称为色觉障碍或色觉异常。国内 1932~1957 年色盲统计^[13]，男性约为 5.14%，女性约为 0.73%，男性约为女性的 7 倍。国外，日本男性约为 4~5%，女性约为 0.5%。欧美男性约为 8%，女性约为 0.4%。皆以男子患者为多。色盲中的各色色盲患者数目的多少也不相同。瑞武按照封克利斯的色盲分类法统计各种色盲患者，结果如表 2^[4]：

表 2 色觉障碍种类及百分率

色觉障碍种类		百分率
三色觉异常	红色异常	1.0
	绿色异常	4.6
二色觉异常	红色盲	1.2
	绿色盲	1.4
一色觉		0.003
总 数		8.2

从统计看出，绿色觉障碍较红色觉障碍为多，一色视者极少见。

色觉障碍包括色弱和色盲两大类。色弱是指对颜色的辨别能力降低，即辨色能力不足。这类患者，识别颜色需要较强的照明，较深的色泽，较大的视角和较长的时间。在光线不足，色泽较淡，色差小，目标较小和时间短促的情况下，便不能同正常人一样的识别颜色。这类患者，视力一般不受影响，仅是辨色能力弱。其辨色力弱的程度可有轻重不同。有的较色盲患者稍强些，还略有些辨色能力；有的尚有一定的辨色能力，但较正常人为差，当色差小，饱和度低的情况下，他们便不能如正常人一样辨认；有的居二者中间。所以，早已有学者^[5,6]将色弱分为 A、B、C 三型，为了更好地反映这种程度上的差别，本书分为重、中、轻三度。