

人类色觉导论

陈晓光 陈言 陈谋 著

军事医学科学出版社
·北京·

图书在版编目(CIP)数据

人类色觉导论/陈晓光,陈言,陈谋 著.

-北京:军事医学科学出版社,2002.5

ISBN 7-80121-402-1

I.人… II.①陈… ②陈… ③陈… III.色觉-人体生理学

IV.R339.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 011611 号

* *

军事医学科学出版社出版

(北京市太平路 27 号 邮政编码:100850)

新华书店总店北京发行所发行

潮河印刷厂印刷 春园装订厂装订

*

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:11.125 字数:286千字

2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

印数:1-3500册 定价:16.00元

(本社图书,凡有缺、损、倒、脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 简 介

本书是一部关于人类色觉,特别是色觉过程和色觉异常成因及矫正机理的研究专著。全书共六章,介绍了当前色觉和色盲矫正研究的重要进展,指出亟待解决的问题;依次用数学方法对色觉过程进行拓扑学研究和色觉异常的突变理论推导;建立人类色觉过程数学模型,实现了色觉研究计算机模拟;制定提高色觉辨认能力的彩色坐标,提出色盲矫正与优生优育的方法。书后附有相关参考文献和关键词英汉对照表。

本书可供大专院校有关专业师生和有关科技人员及色盲患者阅读,也可作为视光学专业人员的教材或参考书。

作者简介



陈晓光 生物数学教授 1965年毕业于东北师范大学数学系。历任白求恩医科大学生物数学教员、吉林省生物医学工程公司总经理、吉林现代光学有限公司董事长兼总经理、吉林东明光学有限公司董事长、日本道尔顿世界

株式会社董事长、东方大学医学院副院长兼视光学系主任教授。

当选吉林省十佳发明人，吉林省数学会常务理事。曾荣获吉林省科技进步奖、北京国际发明展和美国匹兹堡国际发明展金奖。

主要著作有《医学生物数学》、《色盲矫正导论》。

有五项中国专利，其中色盲矫正方法和色盲矫正眼镜分别获日本、美国发明专利权。

作者简介



陈 言 讲师 1991

年毕业于延边大学，教育学士。目前在吉林大学任教。主要从事视觉功能在运动中的特殊作用及色盲矫正研究；是“色觉检测/矫正方法和设备

及其应用”专利发明人；领衔创建长春市政府科技引导计划新星创业企业——长春吉昱光学有限责任公司，将科研成果转化为产品推向世界。



陈 谋 长春吉昱光学

有限责任公司董事长。1997年毕业于吉林大学工业企业管理系；曾获吉林省科技进步三等奖；是携带色觉补正片的色盲矫正眼镜的专利发明人。

两次赴日本参加学术活动，其色盲矫正演示颇受好评，并培养了一批色觉检测人员。

前 言

人类对色觉的研究始于17世纪90年代。历史上先后出现了三色学说和顿顽学说,两种学派之间展开了旷日持久又不能自圆其说的争论。当代科学家借助高科技手段验证了人类视网膜上仅有三种视锥细胞,在神经节细胞和外侧膝状体中存在顿顽机理,并把两种学说融合在阶段学说中。由于未能建立起人类色觉过程连通线路框图,而无法给出完整色觉理论,也无法对色觉异常作出令人信服的解释。

色觉异常是一种遗传性生理缺陷,俗称色盲。患者不能正确辨认色彩,对一些颜色不能正确区分。由于色觉机理至今尚未研究清楚,色盲仍为不治之症。患者在升学、就业中受到越来越多的严格限制,有许多色盲患者深受其苦。

我在医科大学任教,也是一名色盲患者。机会和机遇并存使我有目的地涉猎解剖学、生理学、心理学、物理学和生物数学领域中的一些科研成果,用教学方法和计算机模拟揭开了人类色觉过程中的未解之谜,推导出色盲矫正机理与方法。

我们不是久病成医,而是为解除广大色盲患者的苦恼,真诚、执着地利用业余时间发明创造了“色觉检测/矫正方法和设备及其应用”,完成了“色盲矫正导论”和“人

类色觉导论”两本论著的写作。

在此,我感谢恩师魏继周教授和程希云教授;感谢生理学教授张香桐、马志远,眼科教授张瑞雪、赵克敏及脑外科教授索敬贤等诸位先生。是他们的热情支持和帮助,使我们终于完成了色觉机理和色盲矫正研究;感谢长白山学术著作基金会、吉林科技出版社和军事医学科学出版社的厚爱,使论著得以出版;感谢韩国圆光卫生保健大学邀请我讲学,与 200 多位师生进行学术交流;感谢日本山城光学研究所医学博士内田所长和本乡眼科医院医学博士高柳院长、眼镜视力研究所野矢所长及道尔顿株式会社白井社长分别撰文支持我们的理论和发明;感谢武衡和 L. Ellen Yarnell 分别授予我们国际发明金奖。

常言道:谋事在人,成事在天。我不信命,却深信人生永远是一道难解的题、难猜的迷。等待机遇远不如把握住机会,博击人生,即使不能成功也无怨无悔。

作为医学教学工作者,大胆涉足色觉研究领域,实在是为了圆亿万色盲患者的七彩梦,求得平等的升学、就业机会,享受正常人的权利。

陈晓光

二 000 年十月六日于长春

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 色觉研究的历史回顾	(3)
一、光的合成与分解	(3)
二、三色理论与四色理论	(4)
三、色盲是检验色觉理论的试金石	(6)
四、色觉阶段学说的建立	(6)
五、兰德(Land)网膜皮质理论	(11)
第二节 人类色觉系统的结构	(14)
一、眼球	(15)
二、视网膜的层次结构与感光过程	(17)
三、视神经通路与大脑	(23)
第三节 色度学梗概	(28)
一、彩色刺激	(28)
二、彩色刺激与彩色感觉之间的关系	(29)
三、基色量与颜色系统	(31)
第四节 色觉缺陷及在职业上的限制	(38)
一、色觉缺陷	(39)
二、色觉检查方法简介	(41)
三、色觉缺陷的职业限制	(42)
四、色盲患者在世界上的分布	(44)
第五节 色觉研究的方法与现实意义	(46)
一、色觉研究的方法	(46)
二、研究色觉机制的现实意义	(52)

第二章 色觉过程的拓扑学研究	(54)
第一节 耐度空间	(55)
第二节 色觉的拓扑学结构	(60)
第三节 色觉的线性结构与测度结构	(63)
第四节 脑模型与拓扑特性	(65)
一、脑活动的节律与振荡	(66)
二、大脑色觉模型	(69)
三、稳定思维	(71)
四、色觉过程连通线路框图	(73)
第五节 色觉过程神经网络模型	(78)
一、色觉过程的教学模型	(79)
二、色觉网络特性	(81)
第三章 色觉异常的突变理论	(83)
第一节 色觉异常的突变模型	(83)
一、色觉异常的表现及成因	(86)
二、色觉异常的突变模型	(87)
三、Zeeman 突变性质	(91)
第二节 用尖点突变模型分析色觉异常的表现特点	(94)
第三节 用相关函数描述色觉异常患者的思维特点	(97)
一、脑电波的相关函数分析	(97)
二、刺激反应的平均波形	(98)
第四节 色觉异常的诊断与矫治论证	(101)
一、色觉诊断	(101)
二、色盲矫治	(105)
第四章 色觉过程的教学模型与色盲的模拟	(108)
第一节 色觉过程连通线路框图及教学模型	(109)
第二节 人类色觉中的彩色分类与定义	(116)

第三节	人类色觉的传递方式·····	(143)
第四节	色盲种类的数学模拟·····	(149)
第五节	双眼在色觉过程中的作用·····	(159)
第五章	色觉信息处理与彩色重现计算机模拟·····	(164)
第一节	色觉的电生理学概述·····	(165)
一、	视网膜电图·····	(167)
二、	视神经纤维的电活动·····	(169)
三、	大脑皮质与视觉·····	(172)
第二节	色觉信息编码的生理机制·····	(173)
一、	编码的必要性·····	(173)
二、	编码的生理前提条件·····	(174)
三、	色觉信息的编码·····	(175)
第三节	色觉信息系统·····	(176)
一、	基本概念·····	(176)
二、	信息接收与信息变换·····	(180)
三、	信息压缩与信息扩大·····	(185)
四、	信息检测·····	(187)
五、	信息综合·····	(190)
六、	信息控制与信息反馈·····	(192)
第四节	电子彩色重现技术概述·····	(198)
第五节	人类色觉过程中的三基色测定与矫正·····	(210)
第六章	色盲矫正与优生优育·····	(221)
第一节	色盲的成因与分类·····	(222)
一、	色盲形成的原因·····	(222)
二、	色盲类别的划分·····	(235)
第二节	色盲矫正导论·····	(245)
一、	色盲矫正拓扑学论证·····	(246)

二、色觉异常矫正曲线最优方法设计	(249)
三、色盲矫正眼镜可行性的拓扑学论证	(255)
四、彩色再适应的系数定理	(259)
五、颜色恒常性	(261)
六、色盲矫正的条件	(262)
七、色盲矫正定理	(265)
第三节 色盲矫正光谱曲线的设计	(271)
一、色盲矫正曲线的设计	(272)
二、色盲矫正曲线的光学膜系设计及色盲矫正 眼镜片制造工艺	(277)
第四节 色觉检测仪与色盲矫正眼镜	(283)
一、色觉检测方法	(284)
二、色盲矫正电脑检测仪	(286)
附 色觉检测、矫正方法和设备及其应用	(292)
三、携带色觉补正片的色盲矫正眼镜	(307)
第五节 色盲的遗传与优生	(311)
一、色盲的遗传规律	(319)
二、计划生育与色觉优生	(322)
第六节 色觉优生	(326)
 汉英对照索引	 (329)

第 一 章

绪 论

世界上有两亿多色盲患者,而且每年仍将有 400 万色盲婴儿诞生。由于色觉机制尚未被医学和生理学研究清楚,色盲一向被认定为不治之症。随着社会的发展、科技的进步,在升学招生和劳动就业中对色盲患者的限制越来越严格,绝大多数专业不允许色盲患者进入。色盲给患者带来的困难和不公正的待遇,使他们苦不堪言。研究人类色觉,给出色盲矫正方法是本书的目的。

本书博采各学科的研究成果,用数学方法和计算机彩色重现技术,对人类色觉过程进行数学建模和计算机模拟,建立色觉理论,推导出色盲成因、矫正机制,设计出色盲矫正方法,并依此来推动色觉研究,解除色盲患者的苦恼,揭示人类智能奥秘,为生命科学提供一点素材,为智能化尽一点绵薄之力。

人类视觉包括明视觉和暗视觉。明视觉既能感知颜色,又能辨别物体的细节,称之为颜色视觉,简称色觉(colour vision)。色觉是一个不容易讲清楚的论题,自古以来就有各种各样的说法,他们坚持各自的见解和主张。为此相互长期开展激烈而又反复的争论。研究视觉生理学的人员中有 80% 以上的人,热衷于色觉研究这一十分有趣的课题。然而,却又是迟迟拿不出成果。最近又出现了一个新的见解并占据了主导地位,即:能够说明色觉异常是色觉理论的试金石,正确的色觉理论必须能够解释色觉异常问题,成为色盲矫正的依据。

人类色觉是一种通过眼睛传导来源于外在世界的光刺激,又不完全符合外界物理刺激的一种独特反映形式。我们把能够引起色觉的光线称为颜色刺激(colour stimuli)。用眼睛接受这种光刺激并转化为信息,传递到大脑进行加工、解释、形成对外界物体相当准确的颜色知觉过程称为色觉过程。

色觉不仅使人类获得美的感觉,而且是人类感知信息的主要渠道,使人类在认识世界中改造世界。

然而,由于遗传和病变却使十几亿人成为异常眼,两亿多人成为色盲。异常眼包括角膜、晶状体变异或眼球变形使物像不能准确在视网膜上聚焦,产生近视、远视或散光。另有两亿人为先天性色觉异常,俗称色盲(colour blindness)。异常眼不仅影响视力,也影响辨色能力。

视觉信息不是由单一层次系统结构进行加工处理,它至少通过3个并行系统向大脑进行投射,其中一个系统处理形状信息,另一个系统处理彩色和亮度信息,第三个系统处理有关运动、位置及空间结构信息。本书仅就其中彩色和亮度信息处理系统——色觉系统进行研究。

众所周知,异常眼导致视力异常的机制已经研究清楚,伴随着几何光学和光学玻璃的发展,人们研制出凹透镜片、凸透镜片和柱面镜片,患者只要按电脑验光仪检测给出的处方,配戴合适的眼镜,视力就会立刻恢复正常,在升学、就业中基本不受影响和限制。我们在本书中推导出色盲机制,介绍了色觉检测仪的构造及使用方法、色盲矫正机制及色盲矫正光谱曲线的设计和色盲矫正眼镜的制造及使用方法。希望色盲患者得到矫正后能从事更多、更喜爱的工作,获得更多的升学、就业机会。

第一节 色觉研究的历史回顾

人类色觉的研究始于 17 世纪,当时科学技术水平和实验手段有限,色觉研究局限于视网膜层次。随着社会的发展,人类逐渐认识到色觉研究是一门多学科、跨学科的知识领域,色觉的每一种特性,既可以从观察刺激来测量,也可以从观测者的感觉方面来描述。从整体来定性定量研究色觉过程和色盲机制,才能形成科学体系。测量观测者客观刺激的概念称为心理物理学概念,描述观测者的感觉方面的概念称为心理学概念。

回顾人类色觉研究的历程,就会发现色觉研究是一部充满奇迹、引人入胜的发展史,它是在物理学、生物化学、医学、生理学、数学、光学和艺术之间的一个空白领域中激烈进行的演变史。到了近代,科学家们又把两大对立学说合二为一。由于篇幅所限,我们仅用与几位大师紧密相连的史实,简单介绍一下人类色觉的发展史。

一 光的合成与分解

1704 年,伊萨克·牛顿(Isaac. Newton)发表的光学著作中系统地阐述了光谱颜色实验。1665 年,他把卧室的窗子戳了一个小洞,让一束太阳光射入,然后在光路上放一个三棱镜,这束太阳光射到棱镜的一个侧面上,经过折射后,从棱镜另一个侧面出来的光不再是平行的白光。他把这些光投射到白纸屏幕上,于是在屏幕上出现了一条包括红、橙、黄、绿、青、蓝、紫 7 种颜色的明亮彩条光带。牛顿进一步在屏幕上摆一条只许一种颜色通过的小缝,把通过小缝的红光再通过棱镜,结果红光只是进一步略微分开,颜色仍是红色。牛顿为了证明白光不是单色光,而是各种色光的合成,他借助一片透镜将全体谱光重新合成未被分解为光谱的那种白光。因此,白光是复色光,重新合成白光的方法叫做加色法。

牛顿的另一个重要实验是用黄谱色和红谱色混合出一种橙色,它与光谱中的橙色外观一样。由此指出,根据一种颜色感觉无法推知该色光的光谱组成。牛顿把不同颜色的粉末撒在一张白纸上,也获得了和谱色相加混合的同样结果。网点印刷技术和彩色电视荧光屏都是应用这个原理研制而成的。

在上述实验 150 年后,马克西威(Maxwell)又用旋转圆盘进行了颜色混合的实验,证明了光的混合与染料的混合属于不同的过程。水彩或染料的混合是减色混合,光线的混合是两种波长的光线同时作用到视网膜上传递到大脑皮质后的相加过程。因此,黄色光和蓝色光混合产生白色,而黄色和蓝色染料混合产生绿色是相减。

二 三色理论与四色理论

在牛顿把光作为微粒子辐射来探讨时,托马斯·杨(T. Young)在光波动理论研究上取得突破,该理论按数量顺序区分光谱中的各单色辐射。他的最重要贡献就是在 1870 年提出了人眼有 3 种不同感光单元,它们对不同光谱区域的光感觉也各不相同。红、绿、蓝 3 种原色以不同比例混合,可以产生白色和其他各种颜色。

1853 年,数学家兼物理学家胡果·格拉斯曼(Hugo. Glasman)阐述了加色法原理。

18 世纪 60 年代,光电磁波理论创始人詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(Maxwell)用三基色加法,第一次测量了三色光谱响应曲线,求得了用这些基色混合配出各谱色所需的混合分量。

数学家、物理学家兼生理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹(Helmholtz)和他的学生们将测量工作继续下去,并有了显著的改进。他认为,视网膜上的 3 种视锥细胞具有不同的光谱灵敏度,它们共同造成颜色视觉。亥姆霍兹对颜色视觉机制提出了科学预见,但是他把这个理论的创始归功于托马斯·杨,后人称为杨-亥姆霍兹三色理论。

著名物理学家埃尔温·施累丁格(Erwin Schrodinger)的关于彩色学论著,一方面涉及最佳彩色的理论,另一方面对色度学给出了确定的理论数学模型。

在颜色视觉研究方面,有两位重要人物提出了与以上大师截然不同的理论,同样给颜色视觉的研究以重大地推进。

第一位是著名诗人约翰·沃尔夫冈·冯·歌德(Jhn. Wohgang. Von. Goethe),他的内容最为丰富的著作,除了诗篇外,应首推“彩色学”。他的彩色学论点同牛顿的论点南辕北辙,他所称之为“生理色”的观察,包括对彩色现象中的正残留像、负残留像,彩色联立对比和彩色发暗等。由于当时的物理彩色学无法将这些伤脑筋的主观观察纳入自身系统,长时间回避这项任务的研究,甚至把这些现象表述为“错觉”。歌德所观察到的关于人眼颜色视觉能力现象的重要性,直到很久以后才被人们认识到,成为颜色视觉的经典学说之一。

第二位是生理学家瓦尔德·赫林(V. Hering),他提出与杨-亥姆霍兹的三色理论相抗衡的对立色理论,又称为颞颥学说或四色理论。他摒弃了杨-亥姆霍兹理论,原因是三色理论对一系列基本现象无法解释,例如对非五彩色的特殊感觉特性,以及一般人称之为四纯色(红、黄、绿、蓝)的现象不像三基色理论所预期的三色现象。由此引起色觉领域的长期争论。对立色理论一问世,就遭到物理学家的否定,因为人们无法想象人眼在吸收光线是进行这一模式的生理过程。而这正是赫林为解释其理论而假设的先决条件。

近代的色觉研究,基本上证实了杨-亥姆霍兹的假说,综合大多数研究成果和一些心理物理学实验结果,确实证明有3种视锥细胞,色素的光谱吸收曲线也比较一致的。而现代生理学的许多研究成果可以证明颜色视觉对立机制的存在,发现并证明了在视神经系统更高水平的外侧膝状体,仍然可以测到这种对立过程。

当代科研工作者在色觉生理研究工作中,以惊人的成就使这

两种理论——三色理论与四色理论都得到证实。三基色理论能够解释人眼处理光刺激的第一阶段。四色理论,即对立色理论或者说颞颥理论能正确解释色觉形成过程的第二阶段,即从神经节细胞到外侧膝状体。显然,两个学说彼此能够相互补充,合二而一才能完善地解释色觉形成的整个过程。

三 色盲是检验色觉理论的试金石

我国是世界上最早发现色盲,并有文字记载的国家,战国时期列御寇《列子》书中叙述了红、黑不分的故事。到了秦朝,一位道家著作《亢仓子》书中提出了色盲一词。

1794年,英国化学家、物理学家约翰·道尔顿(John Dalton)以亲身体会对色盲进行描述(他本人是色盲患者)。一次,他去参加一位好友的葬礼,未想到自己精心挑选的黑色领带却引起人们的注意,投来鄙视的目光,使他觉得十分难堪,又十分疑惑,却找不出原因。回家后问及夫人,才知道自己系的领带却是红色的,难怪引起人们的误解。为此,他用文字形式描述色盲患者的彩色世界,后人则习惯于把道尔顿当做色盲的代名词。

世界上对色盲进行检查始于1818年,由英国人乔治·威尔森(George Wilson)完成。一些专业开始限制色盲患者报考及从事该类专业。

色盲虽然给患者带来困难和苦恼,却成为验证色觉理论的试金石。三色理论和对立色理论,皆因无法解释色盲的色觉表现,受到广大色盲患者和心理学家的质疑。特别是视网膜上仅存在3种视锥细胞,而外侧膝状体又具有对立机制,证明了两种学说的局限性,迫使人们去发现新的色觉理论。

四 色觉阶段学说的建立

三色学说和颞颥学说之所以长期处于对立状态,其根本原因在于20世纪以前神经细胞学尚未诞生,色觉机制的研究只限于初