

色盲矯正導論

陳曉光 魏繼周 著



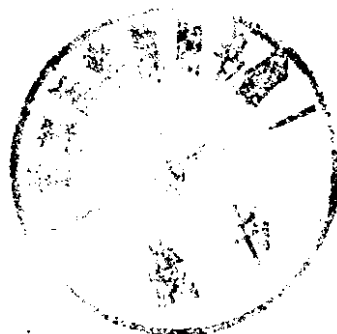
R774.1

C25

色盲矫正导论

陈晓光 魏继周 著

YX86/26.



A0003518

吉林科学技术出版社

【吉】新登字 03 号

色盲矫正导论

陈晓光 魏继周 著

责任编辑:珂 丽

封面设计:马腾骧

出版 吉林科学技术出版社 850×1168 毫米 32 开本 7.375 印张

插页 4 彩图 8 幅 183,000 字

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

发行 吉林省新华书店

印数:1—1000 册 定价:9.00 元

印刷 长春市凯旋胶版印刷厂

ISBN 7-5384-1190-9/R·233

依靠科技
振兴吉林

王忠禹

一九九一年十月

发展科学
造福人类

霍明光

一九九二年十月

前 言

色盲是一种遗传性生理缺陷，发病率男子多（约占男性的7%），女子少（约占女性的0.4%）。色盲又分全色盲和部分色盲，它们都属于劣性遗传，其中全色盲完全没有视锥细胞，不能感色；部分色盲以红绿色盲居多，患者不能辨别红和绿。

由于色觉机理至今尚未研究清楚，因此，色盲被认为是“不治之症”。

人类的色觉是一门多学科、跨学科的知识领域，它的发展是在物理学、化学、医学、心理学和艺术之间的一个空白科学领域中进行演变的。近一个世纪以来，科学工作者在色觉生理研究中，以惊人的成果揭示着色觉机理的奥秘。一些医务工作者艰苦的探索色盲治疗法，虽然取得重要进展，终因缺乏理论根据和遭到神经学家的激烈反对而不能推广。

我国是世界上最早发现色盲并有文字记载的国家。战国时期列御寇所著《列子》一书中叙述了红、黑、白不分的故事。先秦时代一道家著作《亢仓子》一书中则提出了色盲一词。国外最早记述色盲的是英国化学家兼物理学家 John Dalton。

世界上对色盲进行检查始于1818年，由英国人 George Wilson 完成。本世纪以来，随着社会的发展，科技的进步，各行各业对色觉提出不同要求，绝大多数专业严格限制色觉异常者报考。因此世界各国在招生、招工和征兵体检中都把色觉检查列为必检项目。为此，国内外一批科学工作者不断推出更加先进的色觉检查仪器，有的甚至应用了电脑技术。色盲带给亿万患者困难和苦恼越来越多，而升学、就业和职业选择的机会却越来越少。

最令人苦恼的是大学招生体检，色觉检查完全是为了给患者

戴上色盲帽子，一旦被查出，将定为终生的生理缺陷而载入档案，绝大多数专业严格限制报考。作者本人自幼酷爱美术，幻想成为一名画家。从小学到中学，多次参加学校美术比赛，均获得一等奖。然而，由于色盲使我不能区别红和绿等颜色，经常在美术和化学课堂上出洋相，引起老师和同学们的嘲笑。使我逐渐失去了对美术的爱好，害怕化学实验。

由于本人身受其苦、深受其害，所以立志把色觉研究做为方向，把色盲矫治与优生的研究做为奋斗目标，以解除亿万色盲患者的痛苦。经过8年努力，终于突破了色觉研究的传统方法，推出了数学模型与计算机模拟研究色觉与色盲的新方法与新技术。在色觉过程的拓扑学研究基础上，建立了色觉异常突变模型和色觉信息传递连通线路框图；通过色觉与色盲的计算机模拟，实现了对色盲与色盲矫治的定性定量研究；完成了色盲眼镜和色盲矫正电脑检测仪的研制。

以上研究成果的完成，首先要感谢我的恩师魏继周教授，是他把我引进医用数学领域，掌握了数学描述疾病、建立数学模型、用医学信息计算机方法对疾病进行诊断与治疗。魏教授不仅鼎力支持我开展色盲矫治的研究，而且还在经费十分困难的情况下，慷慨解囊，并亲自完成色觉信息一节写作，魏教授的支持与关怀成为本书完成的关键。

在此，我还要感谢数理教授程希云先生、生理学教授马致远先生和王绍先生、解剖学教授孟昭鲁先生、眼科学教授张瑞雪先生和张名泉先生的教诲和全力推荐，感谢王颖教师为色盲优生编制计算机程序，进行计算机模拟。没有各位老师的指导与帮助，此书实难问世。

本书概述了有关色觉与色盲研究的历史和最新进展，博采各学科研究色觉理论的成果和数据，进行数学描述。对光辐射通过视觉器官、视神经通路和大脑形成彩色感觉的高级认识活动进行了定量研究。通过数学推导、临床验证和计算机模拟，论证了色盲矫

正的可行性；介绍了色盲在升学、就业中受到的限制和色盲矫治优生的方法。为了便于读者阅读与理解，书中附有彩色、黑白插图百余幅。

本书适合与视觉和色觉研究有关的物理学、心理学、色度学、数学、医学各科和彩色重现技术等学科的工作人员，以及对色盲矫治非常关心的色盲患者及其家长阅读参考。

限于作者的知识水平，本书存在的错误和缺点请读者批评指正，作者将十分感谢。

陈晓光

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 色觉系统概述	(20)
第一节 颜色视觉系统的结构	(20)
第二节 色觉的电生理学	(34)
第三节 色度学梗概	(41)
第四节 色觉缺陷及其在职业上的限制	(51)
第三章 色觉过程的拓扑学研究	(57)
第一节 耐度空间	(58)
第二节 色觉的拓扑学结构	(62)
第三节 色觉的线性结构和测度结构	(65)
第四节 脑模型与拓扑特性	(66)
第五节 色觉过程神经网络模型	(78)
第四章 色觉异常的突变理论	(84)
第一节 色觉异常的突变理论	(84)
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	(96)
第四节 色觉异常的诊断与矫治论证	(100)
第五章 色觉信息处理与计算机模拟	(107)
第一节 色觉信息的模糊函数与矩阵变换	(107)
第二节 色觉信息编码的生理机制	(111)
第三节 色觉信息系统	(113)
第四节 色觉过程的计算机模拟	(134)

第五节	色盲电脑诊断矫正检测	(141)
第六章	色盲矫治	(152)
第一节	色觉异常的定性与定量诊断	(152)
第二节	色觉异常矫正曲线的设计	(159)
第三节	色盲眼镜	(168)
第四节	色盲治疗法	(177)
第七章	色盲的遗传与优生	(181)
第一节	色盲的遗传	(181)
第二节	色盲的遗传规律与色觉优生	(189)
第三节	基因突变与色盲的根治	(205)

第一章 绪 论

人类生活在一个明暗交织，五彩缤纷的世界里。人类的颜色视觉 (colour vision) 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，是人类感觉信息的主要来源之一。

我们把能引起颜色视觉 (简称色觉) 的光线称做颜色刺激 (colour stimulus)。把眼睛接受这种刺激并转化为信息，传递到大脑进行加工、解释，形成对外界事物相当准确的颜色知觉的过程叫做色觉过程。

颜色视觉不仅使人们获得美的感受，而且获得客观的自然环境和社会环境知识，使人类在认识世界中改造世界。然而，世界上却有近两亿人色觉异常，俗称色盲 (colour blindness)。色盲是一种遗传性疾病，过去由于色觉机理尚未研究清楚，一向被认为是“不治之症”。患者一旦被戴上色盲的帽子，将终生被剥夺从事美工、印染、化工、建筑、交通、地质、冶金、医药和国防等等专业的权利。随着社会的发展、知识的膨胀，色盲给患者的日常生活、学习和工作带来的困难越来越多，而升学、就业和职业选择的机会却越来越少。色盲患者的人数随着人口的增长而增多，不时发生由于色觉异常引起的工伤、车祸等不幸事件。

人类对色觉的研究始于 17 世纪后半叶，但限于当时的科学技术水平，色觉的研究局限于视锥细胞。20 世纪以来，科学技术的进步推动了医学的技术革命，特别近些年来，医疗器械变得越来越“聪明”。这个动向不仅关系到数据获取和预处理系统，而且关

系到便携式人工器官的可能性。与此同时，帮助残疾人控制和医治遗传病这个似乎被医学忽视了的领域，为微信息学的发展开辟了一条重要途径。

本书论及的色觉系统动态过程的模型和模拟，运用了数学和计算机技术，不但论证了色觉机理和色盲矫正的可能性，而且公告了我们研制的色盲矫正电脑检测仪和色盲眼镜的技术构思和方案。

在世界上，每年大约有 250 万色盲婴儿降生，从他们开始学习颜色时就发生了困难，进入幼儿园后，色盲孩子也想参加颜色讨论会，但结果将使他们只能遭到冷遇。如当他们不能准确地回答别人提出的关于颜色的问题时，便遭到小朋友和不太注意讲话分寸的成年人的嘲笑。他们为此害怕谈论颜色，这使他们伤透了心。由于色觉异常，他们的内心世界就会向容易激怒、猜疑的方向发展。小学时，他们很容易被同学发现是色盲。到了初中，学生将接受色觉检查，当他们被检查为色盲，这一事实就会被写入学籍档案，从此，他们的一生就不得不作为一名有生理缺陷者来渡过了。

在色觉异常患者面前，设置了 5 个人生障碍：①初中毕业后，由于色盲，他们不能升入理想的中等专业学校。②高中毕业时，在大学报考志愿中，色盲受到极为严格的限制，绝大多数专业都不能报考。③考不上大学或大学毕业后，他们不能考机动车辆驾驶执照，找工作时许多工厂、科研单位、机关、公司都明文规定不招收色盲患者。④到了结婚年龄，色盲也会成为一个大问题，他们要考虑所生的孩子是不是色盲。⑤色盲患者所受到的最大打击是从那些认为色盲是不治之症，并热心于色觉检查的医生那里来的。作者目睹多少色盲学生为了摘掉色盲帽子长期坚持针灸、电针、球后注射药液等令人痛苦的治疗，他们多么希望这种状况能早日结束！

色觉异常患者经常把内心的痛苦向父母发泄，造成父子、母

子关系的裂痕，他们为找不到职业，升不上理想的大学而埋怨父母。为了儿女的前途，父母不惜重金，四处求医，反遭医生的冷遇。为了不让别人知道孩子是色盲，他们千方百计保守秘密，每到需要体检时，家长想方设法让孩子背色觉检查图，四处活动，违心地做这种他们不愿干又不得不干的事，其含辛茹苦是正常人难以置信的。

可见，色觉异常的遗传和色盲矫治不但是个社会问题，还是个关系着国家民族的大问题。

一、色盲患者在世界上的分布

根据世界各地陆续报道的资料初步统计，目前世界上至少有 2×10^8 人色觉异常， 25×10^7 妇女是色盲基因 (the genes of colour blindness) 的携带者。他们在世界上的分布 (distribution) 很不均匀，以欧美发病率为最高，亚洲居中、非洲最低。

我国各民族的色盲发病率也不均匀，其中以汉族发病率为最高，根据我国 1962 年以前的有关汉族色盲发病率的 15 篇调查报告统计，色盲患病率为 3.82%，男女之比为 6:1。

我国少数民族色盲发病率以土族为最高，彝族为最低。根据刘正中等人 1984 年调查统计，土族色盲发病率为 3.52%，男女之比为 8:1；根据钟齐芳等人调查报告，彝族色盲发病率为 0.95%，男女之比为 20:1。

由于色盲发病率是一个常数，用这个比率乘上各个民族的人数，就可以大致计算出当时全国的色盲患者人数。

根据我们的概算，我国现有色盲人数约 3500 万。我国妇女为色盲基因携带者的人数，按哈得·瓦因伯 (Hardy-Weinberg) 理论计算，远远超过 5000 万人。显性患者与隐性携带者的总和已经超过 8500 万。按照遗传法则，男女色盲之比为 11~20 比 1，从我国调查资料统计结果来看在 6~20 比 1 之间，汉族男性色盲患者要远比统计到的人数多。如此众多的色盲患者，应当引起社会极大

关注。

目前，由于世界上许多国家调查水平很低，甚至没有调查资料，因此对世界范围内的色盲发病率进行统计是十分困难的，现仅把收集到的色盲发病率调查报道列表如下（见表 1-1）：

表 1-1 不同国家男性色盲发病率

洲	国家	色盲发病率 (%)	平均比率%
欧洲	苏联	9.31	8.76
	法国	8.63	
	英国	8.82	
	挪威	8.01	
	德国	7.55	
	瑞典	10.7	
	荷兰	7.95	
亚洲	中国	6.15	6.68
	印度	8.10	
	日本	4.50	
	菲律宾	4.30	
	土耳其	5.22	
非洲	乌干达	1.86	1.85
	刚果	1.70	
	巴布亚	2.01	
北美洲	美国（白人）	8.20	8.09
	美国（黑人）	3.91	

按人种分布来看，白种人色盲发病率高，黄种人居中，黑种人低。这种分布比率可能由于不同人种的色素细胞 (chromoyte) 造

成的。黑色人种生活在热带，经过几万年强烈日光的照射，不但皮肤变成了黑色，而且在生理上形成了对颜色更加敏感的机能。这也是我们考虑用激光照射穴位治疗色盲的原因之一。

二、研究色觉机理的现实意义

近几十年来，我国医务工作者和国外同行都在刻苦研究色盲的矫治。由于缺乏理论依据，每种治疗方法都引起专家们的激烈争论，因而没有一种矫治方法推广于世。色觉机理的研究成了色盲矫治的关键。遗传学对 X 染色体上的各种基因研究测定出 C_d 、 C_g 分别为红、绿色盲基因，而蓝色盲基因至今尚未发现。遗传学的研究为色盲的治疗和预防开辟了广阔天地，为色觉机理研究提供新的依据，色觉机理的研究将促进遗传工程的研究。色盲遗传与色盲机理研究清楚之日就是彻底医治色盲之时。

除了色盲矫治要求人们深入研究色觉外，现代的工业生产和技术照明工程、人机系统的设计、特殊条件下的颜色辨认、色彩重现技术、计算机图象识别的色觉模拟等都给色觉研究提出新要求，要求对人类的色觉有更深刻的了解。

三、色觉研究的历史回顾

人类的色觉是一门多学科、跨学科的知识领域。它具有三种特性：第一个特性是表示光的强度的心理物理学 (psychophysics) 概念是亮度 (luminosity)。所有的光，不管是什么颜色，都可以用亮度来度量；表示色觉第二个特性的心理物理学概念是主波长 (dominant wavelength)，光谱是由不同波长的光组成的，不同波长所引起的不同感觉就是色调 (hue)；第三个特性是颜色纯度 (colour purity)，其对应的心理学 (psychology) 概念是饱和度 (saturation)。光刺激的心理物理特性可以按亮度、主波长和饱和度加以确定，这些特性又分别同主观感觉的明度 (brightness)、色度和饱和度相联系。颜色可以分为彩色和非彩色。我们所看到的颜色不仅取决于

物体表面产生的物理刺激，而且还取决于同时呈现在它周围的颜色。色觉的每一种特性既可以从客观刺激方面来定量，也可以从观察者的感觉方面来描述。描述客观刺激的概念叫心理物理学概念；描述观察者感觉的概念叫心理学概念。颜色与人眼睛的辨色力相关，人类眼睛的这种特性在于三色光谱响应曲线，其特殊形态只能由生理学来解释。

回顾色觉研究的历程，人们发现了色觉研究有一部充满奇迹、引人入胜的发展史。这一发展史是在物理学（physics）、生物化学（biochemistry）、医学、心理学和艺术之间的一个空白科学领域中进行的演变。我们仅用同几位大师紧密相连的史实，简要介绍色觉的发展史。

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的实验。他在1665年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、靛、蓝、紫7种颜色的明亮彩色光带。牛顿进一步在屏幕上挖一条只许一种颜色光通过的小缝，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。这种不能分解为其他颜色的单一色光叫做单色光，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运用这个原理研制的。

在上述实验的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的相加过程。因此，黄色光与蓝色光混合产生白色，而黄色和蓝色染料混合产生绿色。

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。他的最重要贡献是在 1807 年提出了人眼中有三种不同感光单元，它们对不同光谱区域的光感觉也各不相同。红、绿、蓝三种原色以不同比例混合可以产生白色和其他各种颜色。

1794 年，化学家兼物理学家约翰·道尔顿 (John·Dalton) 发现了色盲，他本人就是一位色盲患者。

数学家和物理学家胡果·格拉斯曼 (Hugo·Glasman) 于 1853 年阐述了加色法原理。

光的电磁波理论创始人詹姆斯·克拉克·麦克斯韦 (Maxwell) 于 18 世纪 60 年代用三基色加法，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。

数学家兼物理学家和生理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹 (Helmholtz) 和他的学生们将测量工作继续下去，并得到显著的改进，他认为视网膜上的三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却归功于托马斯·杨，后人称为杨-亥姆霍兹 (Young-Helmholtz) 三色理论。

著名物理学家埃尔温·施累丁格 (Erwin·Schrodinger) 的关于彩色学的论著，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。

近代的研究，基本上证实了杨-亥姆霍兹的假说。综合大多数这类的研究和一些心理物理实验的结果，确实证明有 3 种锥体细胞色素存在，而且所得到的三种视锥细胞色素的光谱吸收曲线是