



卫生部“十二五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材
全国高等学校教材

• 供眼视光学专业用 •

视觉神经生理学

第2版

主 编 / 刘晓玲



人民卫生出版社



教育部“十二五”普通高等教育
国家级规划教材 第三版
教育部“十二五”普通高等教育
国家级规划教材 第三版

视觉神经生理学

视觉神经生理学

第三版



人民卫生出版社



卫生部“十二五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材

全国高等学校教材 供眼视光学专业用

视觉神经生理学

第2版

主 编 刘晓玲

副 主 编 阴正勤 袁援生

编 者 (以姓氏笔画为序)

文 峰 (中山大学中山眼科中心)

刘晓玲 (温州医学院眼视光学院)

阴正勤 (重庆第三军医大学)

陈世豪 (浙江省眼科医院)

袁援生 (昆明医学院)

编写秘书 李英姿 (温州医学院附属眼视光医院)

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

视觉神经生理学/刘晓玲主编. —2版. —北京:人民卫生出版社, 2011. 8

ISBN 978-7-117-14587-9

I. ①视… II. ①刘… III. ①视神经-人体生理学-高等学校-教材 IV. ①R339.14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 128851 号

门户网: www.pmph.com	出版物查询、网上书店
卫人网: www.ipmph.com	护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

视觉神经生理学

第 2 版

主 编: 刘晓玲

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

010-59787586 010-59787592

印 刷: 北京市安泰印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11 插页: 2

字 数: 275 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 2 版第 3 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-14587-9/R · 14588

定 价: 21.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

第二轮规划教材修订说明

普通高等教育“十五”国家级规划教材、全国高等学校眼视光学专业卫生部规划教材是我国第一套供眼视光学专业本科使用的教材,其出版对于我国眼视光学高等教育以及眼视光学专业的发展具有重要的、里程碑式的意义,为我国眼视光学高级人才的培养做出了历史性的巨大的贡献。出版7年来,眼视光学理论和临床研究迅速发展,新理念、新技术、新器材层出不穷,国内眼视光学的教育无论在规模,还是在教育模式上都在发生巨大的变革,在不断借鉴国外眼视光教育经验并与国际接轨的过程中,逐渐形成了具有中国特色的眼视光学教育模式与人才培养模式,建立了独具特色的眼视光学教育体系,这都对第二轮教材的修订工作提供了巨大的推动力与挑战。全国一大批长期耕耘于眼视光学教学、科研与临床第一线的专家、学者为本套教材的编写者、使用者,在总结第一轮教材不足的基础上,在国内广大医学院校的支持下,共同参与、完成了本次大规模的修订工作,力争使本套教材的内容分类更加科学、系统,结构更加合理,更为成熟、完善、新颖,并独具专业特色。

本次修订特点如下:

1. 在全国广泛深入调研、走访的基础上,汇总、分析各种渠道反馈的信息,以及专家的意见与建议,总结并汲取第一轮教材的编写与教学应用经验,对第二轮教材评审委员会进行了改选,对教材中的一些不足之处进行了有针对性的修改与完善,在充分体现科学性、权威性、专业性的基础上,也考虑到了全国范围的代表性与适用性;
2. 在第一轮的基础上,结合眼视光学教学的现状、发展趋势与国内外教学经验,合理设置课程,有效整合“医学”和“理学”各自的优势,力争将眼科学和视光学有机地结合在一起,并强调本套教材的眼视光学专业特色;
3. 对上一轮教材中存在的交叉、重复的内容进行了整体性的合理规划,力争予以明确界定与说明,对部分难以界定的内容,编写时注重了编写角度与侧

重点的差异；

4. 适应教学的需求,进一步实现教材的系列化建设,部分教材配有《实训指导》,且与教材同期出版；

5. 在尽量不增加学生负担的前提下,提高印刷装帧质量,根据学科需要与教材实际编写情况,部分教材改为彩色印刷,以提升教材的质量与可读性；

6. 依然坚持教材编写的“三基、五性、三特定”的原则；

7. 在保证学科体系完整性的前提下,突出教材的实用性,力求文字精练、篇幅适当,以适应眼视光学教育的特点与需求。

第二轮教材共 13 本。将第一轮教材中《眼视光影像学》的内容整合到相关的教材中,不再单独编写；新增《斜视弱视学》,并将原有的《双眼视觉学》中有关斜视弱视的内容移至该教材中；新增《眼视光应用光学》。本套教材均为卫生部“十二五”规划教材。

第二轮教材目录

- | | |
|---------------------|--------|
| 1. 眼镜学(第 2 版) | 主编 瞿 佳 |
| 2. 眼视光器械学(第 2 版) | 主编 吕 帆 |
| 3. 眼视光学理论和方法(第 2 版) | 主编 瞿 佳 |
| 4. 接触镜学(第 2 版) | 主编 吕 帆 |
| 5. 双眼视觉学(第 2 版) | 主编 王光霁 |
| 6. 眼科学基础(第 2 版) | 主编 刘祖国 |
| 7. 低视力学(第 2 版) | 主编 徐 亮 |
| 8. 眼病学(第 2 版) | 主编 褚仁远 |
| 9. 屈光手术学(第 2 版) | 主编 王勤美 |
| 10. 视觉神经生理学(第 2 版) | 主编 刘晓玲 |
| 11. 眼视光公共卫生学(第 2 版) | 主编 赵家良 |
| 12. 斜视弱视学 | 主编 赵堪兴 |
| 13. 眼视光应用光学 | 主编 姚 进 |

全国高等学校眼视光学专业

第二届教材评审委员会

主任委员	瞿佳	温州医学院
副主任委员	赵家良	北京协和医学院
	赵堪兴	天津医科大学
委员	(以姓氏笔画为序)	
	兰长骏	川北医学院
	刘陇黔	四川大学
	刘祖国	厦门大学医学院
	吕帆	温州医学院
	毕宏生	山东中医药大学
	何伟	辽宁何氏医学院
	余敏斌	中山大学
	李筱荣	天津医科大学
	赵家良	北京协和医学院
	赵堪兴	天津医科大学
	徐亮	首都医科大学
	徐国兴	福建医科大学
	袁援生	昆明医学院
	崔浩	哈尔滨医科大学
	褚仁远	复旦大学
	瞿佳	温州医学院
秘书	胡亮	温州医学院

前言

随着眼视光学的发展,其高等教育课程体系也在不断完善。《视觉神经生理学》作为眼视光学专业基础课之一,该课程基于视觉心理物理学和视觉生理学知识,以视觉的神经机制和临床视觉电生理学为核心内容,旨在建立宽厚的视觉科学基础。本书专为眼视光学专业本科生设立,可供研究生和自学者使用。“十一五”期间,由本团队编写的第1版《视觉神经生理学》正是基于这样的立意,经过精心策划和撰写,由人民卫生出版社出版后已相继成为各高等院校的教材和参考用书,受到广大眼视光学生和医生的欢迎。

本书修订前,编委们充分听取和吸收了各高校和使用单位的反馈意见和建议,并根据卫生部全国高等学校教材的原则和基本要求,对新版《视觉神经生理学》的布局等进行了较大篇幅的调整,对各章节内容进行了更新、充实、修改,注意到了国内外视觉科学的新进展、新技术,同时也对内容作了必要的调整、删减。诸如:第一章“概论”增加了视觉心理物理学和视觉神经生理学的内容;将“视知觉的研究方法”的内容并入“概论”;重新编写了视觉的神经机制部分;增加了“视觉发育”的内容;在“视网膜电图”部分增加了近年来关于视网膜电图各波起源研究的成果。这使得该教材的逻辑性、科学性、系统性、可读性更强,更符合教学规律。

本书的撰写、修订和出版得到了人民卫生出版社的大力支持,也得到了各编者所在单位的鼎力支持。趁此机会,特别要感谢一直鼓励作者的杨雄里院士以及他对本书提出的编写建议和指导思想。还要感谢为改编本书付出大量心血的阴正勤教授、袁援生教授、文峰教授和陈世豪博士,感谢李世迎博士、姚军平教授、余涛老师、马嘉老师和林冰老师参与第二、三、四、八、九章的编写。本书的秘书李英姿老师负责收集资料、整理文稿工作,郑微微、李明翰和黄颖等为本书的插图及审阅付出了辛勤劳动。在此,谨向所有对《视觉神经生理学》做出贡献的人们表示诚挚的感谢。

尽管编者在各自己的编写领域内一直从事着临床、教学的研究工作,但限于水平与视觉学科发展迅速,难期完善。为此,恳请各院校的师生,一如既往,在应用中发现问题,给予指正。

刘晓玲

2011年5月

目 录

第一章 概论	1
第一节 视觉心理物理学和视觉神经生物学的概念	1
第二节 视觉形成相关解剖	1
一、视网膜	1
二、视路和视觉中枢	5
第三节 视觉科学的主要研究方法	7
一、形态学方法	7
二、生理学方法	8
三、分子生物学方法	9
第四节 视知觉方法	9
一、经典的视知觉研究方法	10
二、改良的视知觉研究方法	10
三、信号检测理论	10
四、Weber 法则	11
五、感觉光强度的测量	11
第二章 视觉的视网膜机制	14
第一节 神经细胞及其信号	14
第二节 视网膜神经元及其突触的结构与功能	16
一、视网膜的基本结构	16
二、视网膜的主要神经元类型	17
三、视网膜的基本突触结构	17
第三节 光感受器和光电转换	19
一、光感受器及其光化学物质	19
二、光感受器的光电转换机制	19
第四节 视网膜神经元的电反应	22
一、水平细胞的电反应	22
二、双极细胞的电反应	22
三、无长突细胞的电反应	23

四、神经节细胞的电反应	24
第五节 视网膜信号的传递和调控	26
一、视网膜信号的电学传递	26
二、视网膜信号的化学传递	27
三、视网膜信号的环路调控	28
第六节 色觉的视网膜机制	29
第三章 视觉的中枢机制	30
第一节 视觉中枢的组成	30
一、视路的中枢部分	30
二、外侧膝状体的组织结构	31
三、视皮层的分区和组织结构	31
第二节 视觉中枢对视觉信息的加工	33
一、外侧膝状体对视觉信息的加工	33
二、初级视皮层对视觉信息的加工	33
三、其他视皮层区的功能	37
第三节 视觉系统对视觉信息的处理机制	39
一、视觉系统中既平行又分级串行的信息处理机制	39
二、运动觉处理通路	41
三、形觉和色觉处理通路	41
第四章 视觉发育	43
第一节 正常和异常的视觉发育	43
一、正常视通路的发育	43
二、正常视功能的发育	44
三、异常视觉发育和弱视	46
第二节 儿童屈光系统发育特点和正视化过程	48
一、儿童屈光系统发育特点及决定因素	48
二、正视化过程及其临床意义	50
第三节 婴幼儿视功能的评价方法	50
一、婴幼儿视功能的客观评价方法	50
二、婴幼儿视功能的主观评价方法	52
第五章 视觉的二元学说	55
第一节 二元学说	55
一、光感受器的解剖	55
二、Purkinje 现象	56
三、光色间隔现象	57
第二节 暗适应与明适应	58
一、暗适应与明适应	58
二、暗适应曲线	58

三、视觉适应	59
四、影响视觉适应的视网膜疾病	60
第六章 颜色视觉	62
第一节 颜色视觉现象	62
一、颜色的概念	62
二、颜色的分类和属性	62
三、颜色混合与颜色拮抗	63
第二节 颜色系统	64
一、Newton 色环和立体橄榄色图	64
二、CIE 色度图	64
第三节 颜色视觉理论	65
一、Young-Helmholtz 学说	65
二、Hering 学说	66
三、阶段学说	66
第四节 影响颜色视觉的因素	67
一、环境亮度	67
二、Bezold-Brucke 效应	67
三、颜色视野	67
四、注视时间	68
五、颜色的连续对比	68
六、颜色的同时对比	68
七、色光的相加混合和染料的相减混合	68
第五节 色觉异常	68
一、先天性色觉异常	69
二、获得性色觉异常	70
第六节 色觉检查方法	70
第七章 视觉的空间和时间分辨	72
第一节 视觉的空间分辨	72
一、视角和视力	72
二、对比敏感度	74
三、空间总合	78
第二节 视觉的时间分辨	79
一、时间调制对比度	79
二、时间对比敏感度曲线	80
三、闪烁融合频率	80
四、时间总合	81
第八章 视野学	83
第一节 视野的基本知识	83

一、视野检查的光学基础	83
二、视野检查的心理物理学基础	84
三、视野检查的解剖学基础	84
四、视野检查的基本原理	88
第二节 正常视野	89
一、正常视野的概念	89
二、影响视野的生理、心理因素	90
第三节 视野检查的方法	91
一、常用视野计	91
二、视野检查法	91
三、自动视野计程序选择及结果分析	92
第四节 异常视野	95
一、视野缺损的常见形式	95
二、青光眼视野缺损	97
三、视路疾病的病理性视野	98
四、其他疾病引起的病理性视野改变	101
五、视野的功能性改变	101
第九章 视网膜电图	103
第一节 概述	103
第二节 视网膜电图产生机制及各组分起源	103
一、视网膜电图的产生机制	103
二、视网膜电图的主要组分	104
三、ERG 各波的起源	105
第三节 标准视网膜电图技术	110
一、视网膜电图的测量方法	110
二、视网膜电图的技术参数	110
三、影响视网膜电图的因素	113
第四节 正常的视网膜电图及其临床应用	114
一、正常的视网膜电图	114
二、视网膜电图的临床应用	115
第十章 特殊视网膜电图	125
第一节 图形视网膜电图	125
一、图形视网膜电图波形及起源	125
二、图形视网膜电图的检测方法	126
三、影响图形视网膜电图的因素	127
四、图形视网膜电图的临床应用	127
第二节 多焦视觉电生理	131
一、多焦视网膜电图的基本原理	131

二、多焦视网膜电图的检测方法	132
三、影响多焦视网膜电图的因素	135
四、正常人多焦视网膜电图特征	137
五、多焦视网膜电图的临床应用	137
第十一章 视觉诱发电位	140
第一节 视觉诱发电位的记录方法	140
一、基本技术	140
二、临床检测	141
第二节 视觉诱发电位的波形及分析	142
一、闪光视觉诱发电位	142
二、图形翻转视觉诱发电位	142
三、图形给-撤视觉诱发电位	143
第三节 视觉诱发电位的影响因素	144
一、刺激和记录参数的影响	144
二、个体因素的影响	145
第四节 视觉诱发电位的临床应用	145
一、视路病变	145
二、黄斑病变	147
三、青光眼	148
四、弱视	148
五、屈光间质混浊	148
六、客观视功能鉴定	148
第十二章 眼电图	150
第一节 眼电图记录的基本原理	150
第二节 眼电图的记录和分析	151
一、眼电图的记录	151
二、眼电图的测量指标	152
第三节 其他眼电图检查法	153
第四节 眼电图的临床应用	153
一、黄斑疾病	153
二、脉络膜疾病	154
三、视网膜疾病	154
参考文献	156
中英文对照索引	157

第一章 概 论

第一节 视觉心理物理学和视觉神经生物学的概念

人类约 80% 的信息是通过视觉系统获得的,在所有的感觉中,视觉起着最重要的作用。视觉系统的各种功能使我们能够感知外界环境中物体的大小、形状、颜色等属性。视觉系统的主要功能是由视网膜和视觉中枢共同作用完成的。为了有效地获得视觉信息,眼的屈光系统把外界物体的像清晰地成在视网膜上以后,光感受器把光能信号转变为电信号,该信号通过视网膜上的神经回路逐级传递和处理,再由视神经传送至视觉中枢,最后分析形成视知觉。

视觉科学的两个主要分支是视觉神经生物学和视觉心理物理学。视觉科学中,研究受检者对光刺激的知觉反应,称为视觉心理物理学,其内容包括视力、色觉、对比敏感度和视野等。心理物理学的创始人是德国物理学家和哲学家古斯塔夫·费希纳。他用测量刺激量的变化来确定感觉量的大小。同时他也发现了刺激量按几何级数增加时而感觉量则按算术级数增加的规律。于是他在韦伯定律的基础上,经过多年的研究和推导,把感觉强度与刺激强度之间的关系,概括为 $S = K \lg R$, 其中 S 是感觉强度, R 是刺激强度, K 是常数。这个定律被称为韦伯-费希纳定律(Weber-Fechner's law)。也就是现用的标准对数视力表的设计原理。经典心理物理学(psychophysics)应用三种测量方法,即极限法、恒定刺激法和调整法。20 世纪中期,随着通信科学和信息科学的发展,人们又在费希纳的经典心理物理法的基础上,创造新的心理物理方法——信号检测理论(signal detection theory)。

视觉神经生物学(neurobiology)则从离子通道、细胞、突触、神经回路等水平探索视觉神经系统中视觉信号的形成和传递机制。视觉的神经机制包括视觉的视网膜机制和中枢机制。视觉信息在视觉系统中的传递是以生物电的形式进行的,这种生物电以综合性电位变化的方式传递到体表,可在头部相应的部位记录到视觉系统不同部位的综合电位变化用于临床病人的检测,称为临床视觉电生理学(clinical visual electrophysiology),包括视网膜电图(electroretinogram, ERG)、眼电图(electro-oculogram, EOG)和视觉诱发电位(visual evoked potential, VEP)。本章前半部分主要介绍与视觉形成密切相关的解剖结构,后半部分简要介绍了视觉科学的主要研究方法。

第二节 视觉形成相关解剖

一、视 网 膜

视网膜(retina)位于眼球的最内层,为一层薄而透明的神经膜,厚度约 $200 \sim 300 \mu\text{m}$, 是

大脑的延伸部分,也是视觉形成的起点。视网膜由神经外胚叶发育而成,当视泡凹陷形成视杯时,其外层发育成视网膜色素上皮层,内层分化成视网膜的内 9 层,又称为神经感觉层。两层之间存在一个潜在性间隙,临床上视网膜脱离即由此处分离。

视网膜起自视神经周围,沿脉络膜表面延伸,止于锯齿缘,与睫状体平坦部的无色素上皮相移行。视网膜的内侧为玻璃体,外侧为脉络膜。视盘颞侧和颞侧上下血管弓之间约 6mm 范围的区域称为后极部(图 1-1)(见文末彩图)。视网膜正对视轴处为黄斑,直径约 1.5mm,其中央无血管区为一小凹,称为黄斑中心凹(fovea centralis)(图 1-2),是视网膜上视觉最敏锐的部位。检眼镜检查可见反光点,称中心凹反射。距黄斑鼻侧约 3mm 处,有一约 1.5mm×1.75mm 境界清楚的、橙红色的圆形盘状结构,称为视盘(optic disc),又称视乳头(optic papilla),是视网膜上神经纤维汇集组成视神经、穿出眼球向视觉中枢传递的部位。视盘中央有小凹陷区,称视杯(optic cup)。视盘上有视网膜中央动、静脉通过,其分支分布于视网膜上。

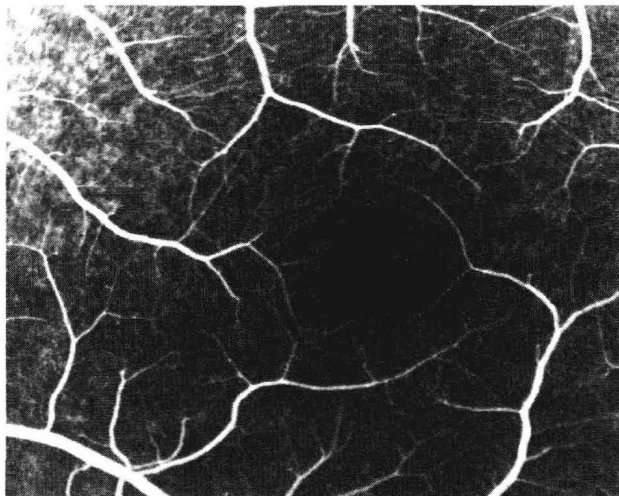


图 1-2 黄斑拱环图

(一) 视网膜的组织结构

组织学上视网膜的组织结构从外向内共分为 10 层(图 1-3)。

1. 视网膜色素上皮层(retina pigment epithelium, RPE) 位于 Bruch 膜内侧,是由单层排列整齐的六面柱形细胞组成。每只眼约有 400 万~600 万个 RPE 细胞。在眼底的不同区域,RPE 细胞的形态不同。后极部特别是黄斑区,RPE 细胞细长而均匀,色素较多,靠近锯齿缘处的 RPE 细胞较为短肥,色素亦逐渐减少。RPE 细胞具有极性,细胞顶部的细胞膜上延伸出很多大小、长短不一的微绒毛,视杆细胞的外段插在其间,形成色素上皮与光感受器之间的广泛联系。RPE 细胞之间从基底至顶部具有连接小带、桥粒连结及紧密连接,起到封闭脉络膜毛细血管与视网膜之间的交流,构成血-视网膜屏障(外屏障)。RPE 细胞基底膜形成皱褶与脉络膜毛细血管内皮细胞的基底膜联合构成 Bruch 膜。RPE 细胞浆内有丰富的细胞器如线粒体、内质网、核糖体、溶酶体、脂褐质和黑色素等。细胞核位于细胞的底部。RPE 细胞具有吞噬作用,每日接受由光感受器外段脱落的膜盘,经过水解溶酶的消化溶解而排出至 Bruch 膜中,或形成脂褐质而留在细胞内。RPE 还能把脉络膜血液中的液

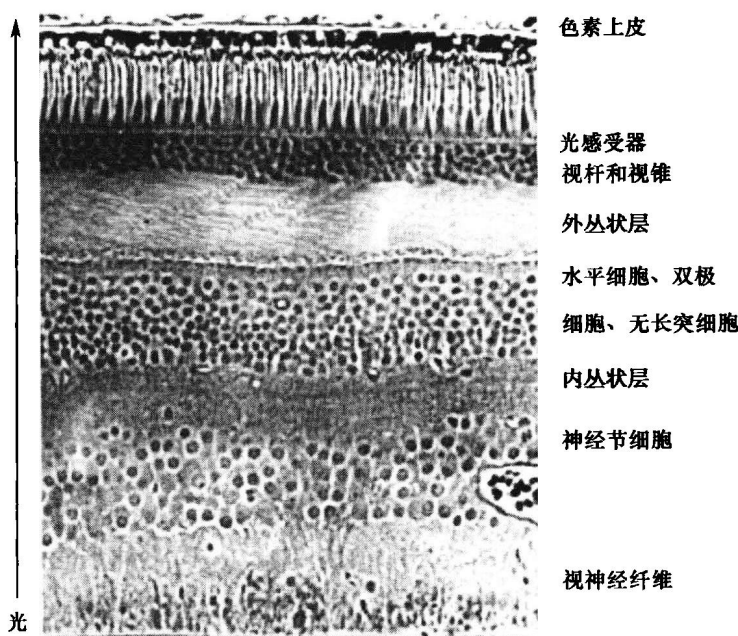


图 1-3 视网膜断层切片

体、电解质、维生素 A 等物质输送到视网膜，营养光感受器。RPE 细胞具有丰富的色素颗粒，可以遮挡透过巩膜的光线，以保证光感受器对影像的分辨力。另外，它还有合成黏多糖的作用以保证视网膜神经上皮和 RPE 间的粘黏合状态。RPE 细胞死亡后，不能再生，靠邻近的色素上皮细胞互相移动，填补死亡细胞遗留的空间。

2. 锥体与杆体层(outer segment of rods and cones) 结构上脊椎动物的光感受器由内段、外段、连接绒毛、体部和突触五部分组成。锥体与杆体层由光感受器的外段和部分内段组成。根据外段的形态不同，光感受器分为视锥细胞和视杆细胞。成人每只眼的视锥细胞约有 600 万个，视杆细胞约有 12 000 万个。视锥细胞与视杆细胞在视网膜上的不同区域分布不同，如图 1-4 所示，黄斑中心凹处视锥细胞密度最高，约 147 300 个/mm²。距中心凹 10°，视锥细胞迅速减少，周边部视锥细胞的密度约 5000 个/mm²。视杆细胞在距中心凹 20°处密度最高，约 160 000 个/mm²，再向两侧偏离即逐渐下降，至视网膜的极周边处(鼻侧 90°，颞侧 70°)降至 30 000~40 000 个/mm²。在视乳头(视盘)处，视杆细胞和视锥细胞均不存在，故为生理盲点。

3. 外界膜(outer limiting membrane) 由 Müller 细胞外端终末之间的粘连小带构成，该层隔开了感光细胞的内段与其细胞核。

4. 外核层(outer nuclear layer) 由光感受器的细胞体组成，含细胞核及细胞质。视盘鼻侧外核层较厚，有 8~9 层细胞核，越周边，细胞核层数越少。视盘颞侧周边的视网膜，外核层最薄，只有 4 层，黄斑中心凹处有 10 层，其他部位只有 5 层。

5. 外丛状层(outer plexiform layer) 由光感受器伸出的轴突与双极细胞和水平细胞的突起相互连接的突触构成的疏松网状结构。视网膜的毛细血管至此为止，不再伸向外核层。黄斑的外丛状层较厚，该处视锥细胞的轴突最长且走行方向倾斜，基本与外界膜平行，呈放射状的排列，称为 Henle 纤维层。黄斑以外的外丛状层逐渐变薄。