

视觉电生理的 原理与实践



李海生 潘家普 主编

SHIJUE DIANSHENGLI DE
YUANLI YU SHIJIAN

上海科学普及出版社

视觉电生理的原理和实践

李海生 潘家普 主编

图书在版编目 (CIP) 数据

视觉电生理的原理和实践/李海生,潘家普主编.
上海:上海科学普及出版社,2002.5
ISBN 7-5427-1984-X

I. 视… II. ①李…②潘… III. ①视觉-电生理学-基本知识②眼科检查-电诊断 IV. R770.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 015448 号

责任编辑 方 晴

视觉电生理的原理和实践

李海生 潘家普 主编

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

各地新华书店经销 商务印书馆上海印刷股份有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 27 字数 652000

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—2500

ISBN 7-5427-1984-X/R·195 定价: 55.00 元

《视觉电生理的原理与实践》

编委名单

主 编 李海生 潘家普

副主编 范先群

编 委 (以汉语拼音为序)

刘南林 刘海燕 刘瑞珏

罗 敏 徐 庆 叶洪金

张芸芸 朱 捷 陆 豪

序

视觉系统是人类感知客观世界最重要的器官之一,据估计在人类从外界获得信息的总量中来自视觉系统竟达 70% 以上。通过电生理的研究认识到:视网膜不仅是视觉系统的感受部分,而且是视觉的初级加工区;视路是传递视信息的通路;大脑视皮质是最后形成视觉的中枢。视信息在视觉系统中的传递是以生物电的发送形式进行的,最后在大脑形成视觉。视觉电生理学是阐明生物电在视觉系统各级神经元产生的机理,研究如何测定和验证这些生物电的科学。视觉电生理从视觉系统神经元的离子水平阐述这些生物电形成的生物化学改变,它丰富了眼科生理学的内容。现代临床视觉电生理学的任务是应用视觉电生理的方法来揭示视觉系统受到疾病侵害时生物电改变的规律,它的表达方式不同于原来传统的心理物理范畴的视功能检查法。由于临床视觉电生理的应用时间还不长,其记录的设备和方法未完全统一,不同单位检查室的记录结果还不能用一个标准来解释,所以从 1989 年以来,国际临床视觉电生理学会 (ISCEV) 为了规范操作技术、减少记录条件对结果的影响,先后制定了包含视网膜电图、眼电图、图象视网膜电图和视诱发电位等五个项目的标准化文件以建立国际统一的记录方法,为眼底、视路和视觉中枢疾病的诊断和鉴别诊断提供客观的依据。虽然,我国的临床视觉电生理工作的起步较晚,但近年来的发展非常迅速,已不只限于个别医院能开展的项目,国内已有许多医院的眼科把视网膜电图和视诱发电位列列为常规的检查项目。由于目前记录方法和记录仪器的性能不相,故其结果还不具有可比性。为了规范这些检查方法,使各医院、各实验室的资料具有可比性和互用性,我们还需继续努力。我们不仅应该严格遵循 ISCEV 公布的《标准》操作,还应要求工厂按照《标准》的指标生产记录仪,才能使我国的临床视觉电生理工作迅速与国际接轨。为了进一步提高我国的视觉电生理学的水平,我们还必需扩大国内外的交流和学习、加强基础研究和提倡创新精神。由李海生和潘家普两位教授主编的《视觉电生理的原理和实践》及时反映了国内外在这个领域的水平和最新进展,资料翔实、内容丰富,值得正在打基础的年轻眼科医生和有关实验室技术员一读。它从实践需要全面地介绍了视觉电生理的记录装置、信号处理、波形分析和多种眼底病的视觉电生理的特征,叙述深入浅出、通俗易懂、图文并茂,是眼科学中一本用于临床诊断和科学研究方面的重要参考书,它的出版必将进一步推动我国视觉电生理工作的普及和发展。

特此为序。

李 凤 鸣 于北京
2000.5.8.

前 言

视网膜生物电被发现至今已有 150 多年的历史,视觉电生理和心电、脑电的检测都是通过机体器官组织活动时的生物电现象来诊断疾病。1945 年,国外文献第一次报道了视网膜电图的临床应用,第一种报道的眼底病是原发性视网膜色素变性。

临床视觉电生理是一种完全不同于视力、视野、眼底镜和裂隙灯的检查方法,它不需要受检者的应答,它是眼科诊断学中唯一的不需受检者应答的检查法。

国内第一位把国外有关视网膜电图的知识介绍给眼科界的是上海的林利人医生(1958)。在 1960 年至 1964 年的五年间,国内先后有 10 多位眼科医生在中华眼科杂志上发表了有关视网膜电图的文章。我在 1963 年第一次看到记录视网膜电图,那时我在上海第二医学院附属仁济医院当住院医师,我科的主任王永龄教授正在自己安装的视网膜电图仪上研究视网膜电图。从人眼上能记录到这种有意义的电信号,给我留下了深刻的印象,这可能就是我后来在临床工作中对视觉电生理工作发生兴趣的重要因素。

由于历史的原因,在 20 世纪 60 年代的中期后,我们的科研工作都暂时停止下来,直到 20 世纪 70 年代初才恢复了有关的研究工作。当我们再度继续这些已中断 10 多年的工作时,我们发现与国外已有很大的差距。国外不仅在视觉电生理的基础研究上有了新的发现和进展,而且把眼电图、图象视网膜电图和视诱发电位都应用于临床,而我们却是在做重建工作。由于当时还没有进口有关记录仪的渠道,国内又没有厂家生产,我们只能自己动手安装。也许正是这个难得的机遇,使我们不仅学会临床应用,而且为视觉电生理仪的试制和国产化作出贡献。在 20 多年中,我们在视觉电生理仪的试制中,走过了电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路的不同阶段,并指导工厂按国际推行的标准来生产自己的视觉电生理仪。现在在我们实验室里仍然用的是国产视觉电生理仪,因为它们不仅功能齐全、性能良好、维修方便,而且可按某种目的的需要而增加新的功能。后来,虽然我们实验室也买了进口的视觉电生理记录仪,这不是因为国产的仪器性能不好,而是为了了解进口仪器的性能,以便更好地发展国产的仪器。

为了推广临床视觉电生理检查法,从 1980 年以来我们在上海和其他城市曾举办过多次学习班,为国内的普及工作起了推波助澜的作用。事实表明视觉电生理检查法能提高眼底病诊断的水平,现在视觉电生理检查法有从三级医院向基层医院迅速发展的趋势,它已被卫生部列为二、三级医院设备上等达标的选择项目之一。在这种形势下,迫切需要有一本适合于眼科医生和技术员阅读的参考书。为了满足这种客观的需要,我们在全科同事的努力下,用了一年多的时间完成了全书的编写任务,并将它定名为《视觉电生理的原理和实践》,希望它有助于推动我国临

床视觉电生理工作的进一步发展。

本书共 23 章,分上、下篇。上篇的第一、二章主要介绍和视觉电生理有关的视网膜和视觉中枢的组织学和生理学,第三、四章分别介绍了视觉电生理的基本知识和记录设备的原理,从第五章至第十二章则重点介绍已被 ISCEV 推荐的标准化闪光视网膜电图、图像视网膜电图、视觉眼电图和未列入标准化的记录项目。在第十一章和第十二章分别叙述了近 10 年来刚出现的新技术多焦视网膜电图和扫描视诱发电位视力检查法;下篇从第十三章至第二十二章的 10 章中简要地介绍了眼底病、青光眼、弱视、中毒性眼病、屈光间质混浊、视神经病变、眼外伤和中枢性病变的视觉电生理特征。在本书最后的一章是专门为视觉电生理的动物实验而写的,它也许对那些想用视觉电生理的动物实验来完成科研课题者是有益的。

在本书编写成员中,特别邀请了上海第二医科大学生物医学工程教研室的潘家普教授一起主编此书,目的是希望增强本书电生理的基础理论部分的力度,以达到理论与实践相结合并更好指导临床和科研的目的,希望这种结合能为本书的编写带来新意。

在本书的编著过程中我们得到了多方面的支持和帮助。在此,我特别感谢曹霞医生为稿件的整理和打印所付出的劳动,也要对高视远望公司对本书的出版所给予的鼓励和支持表示衷心的感谢。

由于近年来在神经分子生物学和微电极工作方面的发展,使视觉电生理中的一些理论和观点受到不断的修正和完善。作为一名普通的眼科临床工作者无法跟上这日新月异的进步,我们对视觉电生理中的一些基本技术的理解是十分肤浅的,加上在临床的实践也是非常有限的,所以在编写中难免不出现错误和遗漏,恳请读者原谅并不吝指正为幸。

李海生

1999.12.30

于上海第二医科大学

目 录

上篇 视觉电生理的原理

第一章 神经系统的基本构成	3
第一节 神经元.....	3
第二节 神经胶质细胞.....	6
第二章 视觉神经系统的组成	8
第一节 视网膜.....	8
第二节 视网膜神经元的突触	20
第三节 视网膜的神经生理学	23
第四节 视路	37
第五节 视觉系统神经元的感受野	41
第六节 视路与大脑	46
第三章 生物电形成原理	48
第一节 细胞膜	48
第二节 细胞跨膜静息电位	53
第三节 细胞动作电位	56
第四节 刺激与反应	61
第五节 动作电位的形态	62
第六节 生物体容积导体	65
第四章 视觉电生理记录装置	67
第一节 电极	67
第二节 刺激器	75
第三节 生物电放大器	84
第四节 噪声与干扰	95
第五节 生物电信号处理	97
第六节 计算机系统.....	110
第五章 临床视网膜电图法	111
第一节 ERG 的发现和发展.....	111
第二节 眼静息电位和 ERG	116
第三节 ERG 的成分.....	116
第四节 微电极工作和膜片钳技术.....	126
第五节 影响闪光 ERG 的因素	127
第六节 标准化 ERG 法	136

第七节	ERG 的分析方法	139
第八节	ERG 的正常值	142
第九节	异常 ERG 波形和常见的干扰	146
第六章	局部视网膜电图	148
第一节	局部 ERG 的记录技术	148
第二节	影响局部 ERG 的因素	152
第三节	局部 ERG 的临床应用	153
第七章	图象视网膜电图	157
第一节	记录图象 ERG 的协议	157
第二节	图象 ERG 的成分和命名	158
第三节	图象 ERG 的起源	159
第四节	图象 ERG 的记录技术	160
第五节	图象 ERG 的刺激特性	161
第六节	图象 ERG 和闪光 ERG 的区别	164
第七节	临床意义及实例	164
第八章	临床眼电图法	167
第一节	眼静息电位	167
第二节	眼静息电位的生理基础	168
第三节	影响眼静息电位的因素	170
第四节	视觉 EOG 法	171
第五节	EOG 诊断系统	174
第六节	正常和异常的视觉 EOG	176
第七节	视觉 EOG 的临床应用	180
第八节	快振荡电位	184
第九节	眼动 EOG	185
第十节	眼跟踪运动检查	186
第十一节	向量 EOG	188
第十二节	非光诱发的眼静息电位	188
第九章	视诱发电位(VEP)	190
第一节	VEP 和脑电	190
第二节	VEP 的发育	191
第三节	闪光 VEP	193
第四节	图象视诱发电位	205
第五节	VEP 的应用	214
第六节	给-撤全刺激野图象 VEP	218
第七节	立体 VEP	220
第八节	电诱发视觉电位	223
第十章	标准记录法外的视网膜电图成分	231
第一节	早感受器电位	231

第二节	暗视阈值反应	235
第十一章	多焦视网膜电图与多焦视诱发电位	244
第一节	多焦 ERG	244
第二节	多焦 VEP	260
第三节	展望与 SLO 结合的多焦(激光)技术	261
第十二章	图象视诱发电位视力	264
第一节	视觉电生理与视力检查	264
第二节	扫描图象 VEP 视力的临床应用	268
第三节	扫描图象 VEP 视力与其他视敏度检查	268

下篇 视觉电生理的临床应用

第十三章	眼底病	287
第一节	夜盲	287
第二节	原发性视网膜色素变性	291
第三节	继发性视网膜色素变性	302
第四节	视网膜循环障碍	302
第五节	黄斑区病变	307
第六节	高度近视	311
第七节	视网膜脱离	312
第八节	显性玻璃膜疣	315
第十四章	青光眼	317
第一节	青光眼的视神经损害	317
第二节	青光眼的视觉电生理表现	322
第三节	视神经乳头缺血的视觉电生理表现	325
第四节	图象 ERG 和 VEP 的联合应用	327
第十五章	弱视	329
第一节	弱视的分类	330
第二节	弱视的视觉电生理表现	331
第三节	儿童视觉系统的正常发育	332
第四节	弱视的发病机理	334
第五节	弱视的诊断和疗效评定	336
第十六章	色觉障碍	342
第十七章	中毒性眼病	343
第十八章	视网膜光损伤	347
第一节	可见光对视网膜的损伤	348
第二节	红外线对视网膜的损伤	350
第三节	紫外线对视网膜的损伤	351
第四节	激光对视网膜的损伤	352
第十九章	屈光间质浑浊	354

第一节	闪光 ERG	355
第二节	闪光 VEP	357
第二十章	视神经病变	359
第一节	视神经炎	359
第二节	脱髓鞘性视神经炎	361
第三节	缺血性视神经病变	363
第四节	视神经萎缩	366
第二十一章	眼外伤	370
第一节	视网膜外伤	370
第二节	眼球贯通伤	370
第三节	视神经外伤	371
第二十二章	中枢病变的视觉电生理表现	373
第一节	皮质盲	373
第二节	癔症和伪盲	374
第三节	早老性痴呆	377
第四节	帕金森病	380
第二十三章	动物与实验性视觉电生理	382
第一节	人与动物的视觉器官	382
第二节	动物视网膜的组织学	383
第三节	动物的眼底	386
第四节	视神经和视交叉	387
第五节	外侧膝状体	387
第六节	脑和视觉中枢	388
第七节	动物实验	389
附录	视觉电生理国际标准化文件	404
一、	视网膜电图国际标准(视觉电生理国际标准化委员会 1989)	404
二、	第一次修订的临床视网膜电图法标准(Marmor W.F 1994)	408
三、	图象视网膜电图国际标准(ISCEV 1994.7.)	409
四、	临床眼电图法国际标准(ISCEV 推荐 1992.5.)	412
五、	视诱发电位法国际标准(Graham FA 等 1995)	417

上 篇

视觉电生理的原理

第一章 神经系统的基本构成

脊椎动物和无脊椎动物的神经系统都是由神经元和胶质细胞所构成，哺乳动物的神经元和胶质细胞的比数约为 1:10。神经系统的组构反映了功能的需要。从最简单到最复杂的神经系统都含有三类神经元：①感觉神经元，它们把在体内、外环境中感受到的信息传递到中间神经元。②中间神经元，它们把感觉信息组构、加工并储存，最后把指令传送给运动神经元。③运动神经元，它们指挥神经系统的效应器（肌细胞或腺细胞）。脊椎动物的神经系统比无脊椎动物复杂得多，它含有更多的细胞。

第一节 神 经 元

神经元是一种特殊类型的细胞，它们是神经系统的基本单元，具有两个重要的特性，即兴奋性和传导性。虽然神经元的形态、大小变化很大，但是所有的神经元都是由细胞体和突起两部分组成。

一、细胞体

细胞体是由细胞核和胞质所组成，神经元的细胞体形状多种多样，其大小最小只有红细胞的一半，最大的可达红细胞的 17 倍。细胞体内含有一个大的细胞核，核中含有核质以及与新陈代谢、生长和神经元有关的细胞器。已知的细胞器有尼氏小球、内质网、线粒体、神经丝、神经微管和高尔基体。尼氏小球是由粗内质网和自由核糖体构成，在尼氏小球中含有核糖核酸，粗内质网依次与光内质网和高尔基体联接。神经元中的蛋白质由位于粗内质网的核糖体合成，在 13 天内可合成整个神经元的蛋白质量。合成的蛋白质释放到内质网的管腔并输送到高尔基体。在高尔基体中的蛋白质被分门别类包装在含有神经递质前身的小泡中。在神经元中，神经微管起着从细胞体到突起的末端传送蛋白质和其他物质的功用。

二、细胞突

细胞突是从胞质中伸出长短不等的突起，按其形状分为树突和轴突。①树突，一种呈树枝状的短突，称为树状突；②轴突，呈细长的突起，称为轴突。一个神经元一般有数个甚至上百个树状突，但一个神经元只有一个轴突。轴突有长有短，最短的轴突在大脑，仅数毫米；最长的轴突是坐骨神经，长达 1m 以上。

神经纤维是细胞质突起的延伸部分，是由神经细胞的轴突所组成。神经纤维分有髓纤维和无髓纤维（图 1-1-1）。

1. 有髓神经纤维 外观呈白色，直径 $1.0 \sim 22\mu\text{m}$ 。在光镜下可区分轴突、髓鞘和神经鞘（施万鞘）三部分。有髓神经纤维的轴突被髓鞘和神经鞘所包绕；轴突是神经元胞质向外伸出的细长突起，表面的膜称为轴突膜，厚 100nm ，它与离子的通透性和神经兴奋传导有关。轴突内充满半流动的轴浆，与胞体内的胞质相通，含有微管、微丝、线粒体和内

质网。微管和微丝呈纵形排列，形成一条胞质通道，具有运输的功能。髓质是直接包在轴突外面的鞘状结构，它由神经膜细胞的胞膜所构成，这种细胞的胞膜先凹陷粘合成两层，然后螺旋状卷绕在轴突的表面。神经鞘是位于神经纤维最表面的神经膜细胞的胞突所构成。

2. 无髓神经纤维 外观呈灰色，直径约 $\leq 1\mu\text{m}$ 。在光镜下可区分轴突和神经鞘两部分，轴突外仅含一层神经膜细胞的胞突所构成的神经鞘。

有髓神经纤维的神经膜细胞是包在髓质之外，而无髓神经纤维的神经膜细胞则直接包裹在轴突之外。

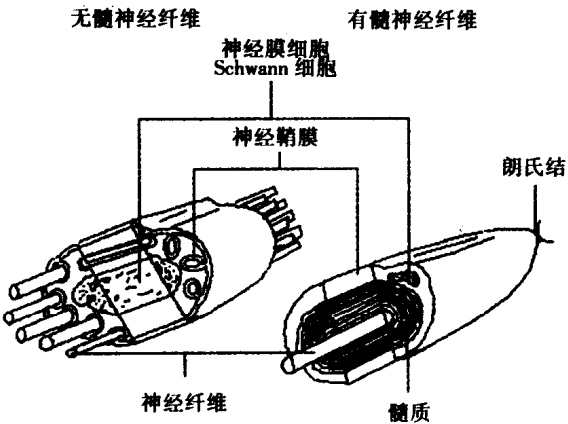


图 1-1-1 有髓神经纤维和无髓神经纤维

三、神经元的分类

Golgi 将脊椎动物脑中的神经元分成两个基本类型，它们是：高尔基 (Golgi) I 型神经元和高尔基 II 型神经元 (图 1-1-2)。

高尔基 I 型神经元 其突起在细胞核团间或网状层间伸展，树突专门接收来自轴突终末输入，信息从细胞的轴突和终末传出。

高尔基 II 型神经元 其突起只限于在一个细胞核团或单一网状层内发生联系，其树突既可接收输入也可担当信息的输出，其主要的作用是整合一个细胞核团或网状层内的信息。

四、突触的结构

1897 年 Sherrington CS 提出了突触的概念。突触是一个细胞向另一个细胞传送信息的特殊部位。

每一个神经元都是神经系统中的一个功能单位，但它并不能单独完成神经系统的功能活动。因为任何一个反射活动都要由多个神经元共同完成，所以各个神经元之间有着密切而广泛的联系。然而各神经元之间，在结构上并不互相连续，没有细胞质的沟通，它们之间的

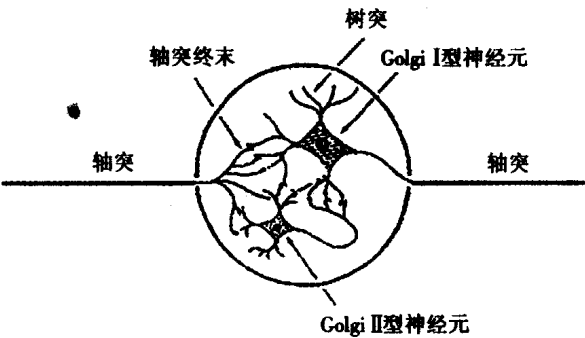


图 1-1-2 高尔基对神经元的分型

(引自文献 [9])

联系是靠彼此接触，即通过一个神经元的轴突末梢与另一个神经元发生接触，并进行兴奋或抑制的传递，这些接触点称为突触（Synapse）。

突触有特殊的微细结构。一个神经元的轴突末梢分成许多小支，每个小支的末端膨大成球状，称为突触小球，贴附在下一个神经元的胞体或树突的表面。一个突触是由突触前膜、突触间隙和突触后膜三部分构成（图 1-1-3）。

突触的前膜和后膜均比一般神经元的胞膜略为增厚。突触前膜有一片间断性的，呈栅栏状的致密性增厚，从这里发出一些致密突起（dense projection），伸入细胞质。在突触小球的轴浆内，含有较多的线粒体和大量聚集的突触小泡，含有高浓度的递质。突触后膜是感受器上增厚的原生质膜，它有接受递质的受体。突触间隙位于突触前后膜之间的间隙，它不仅允许神经递质和离子通过而且是突触前后成分相互交换物质的场所。

一个神经元的轴突末梢一般都反复分支而形成许多突触小球，与其后的神经元的树突构成突触，所以一个神经元可以通过突触性传递对许多其他神经元产生影响。另一方面，一个神经元的树突或胞体可以接受多个神经元的突触小球构成突触，因此一个神经元又可以接受许多不同种类和不同性质的神经元的影响。

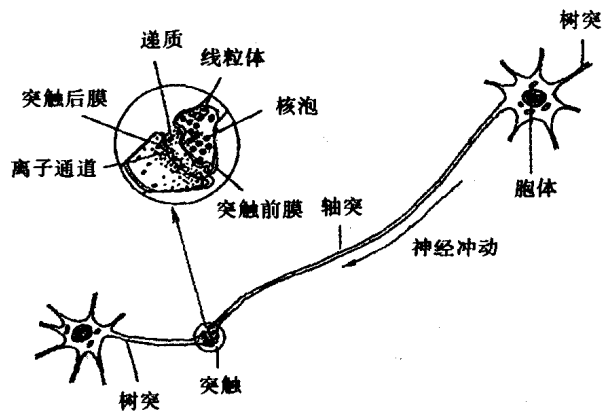


图 1-1-3 一般突触结构模式图

五、突触的分类

突触一般按突触的接触部位、接触形式和作用的特征进行分类：

1. 按突触的接触部位分类 ①轴-树突触，一个神经元的轴突末梢与下一个神经元的树突发生接触。②轴-胞突触，一个神经元的轴突末梢与下一个神经元的胞体发生接触。③轴-轴突触，一个神经元的轴突末梢与下一个神经元的轴突或轴突末梢发生接触。

2. 根据突触的接触形式分类 ①包围性突触，一个神经元的胞体被一个轴突末梢的很多分支密集地接触称为包围突触。②依傍性突触，一个神经元的轴突末梢的分支与下一个神经元的树突或胞体的某一点相接触。

3. 根据对下一个神经元活动的影响分类 ①兴奋性突触，通常这种突触的突触小泡其外形是圆形的，其中所含的递质一般为乙酰胆碱和 L-谷氨酸，它们释放的递质能使突触后神经元兴奋。②抑制性突触，这种突触的突触小泡其外形通常是扁平的，其中所含的递质为 γ -氨基酸和甘氨酸，它们释放的递质能使突触后神经元抑制。

4. 根据突触神经信息的传递方式分类 突触神经的信息传递方式有化学传递和电学传递，因此突触又可被分为化学突触和电学突触。视网膜中的化学突触多于电学突触。

第二节 神经胶质细胞

神经胶质细胞是神经系统的辅助成分，充塞于神经元细胞体之间，包裹轴突，围绕血管。神经胶质细胞，是一种多突的细胞，但没有轴突。神经胶质细胞间没有突触性的联接，而是一种膜性的接触，即所谓缝隙性接触（gap junction）。神经胶质细胞曾被认为只是一种间质细胞或者是一种支持组织，但目前发现它们至少有以下几种功能：①具有特殊的运送功能。它们可能是神经元和血管之间代谢物的运转站或神经元代谢物的贮存处。②参与形成血-脑屏障和血-视网膜屏障。③少突神经胶质细胞构成神经纤维的鞘膜，保证信息传导的质量和参与受损神经纤维的修复。在发育和外周神经系统的神经元突起再生过程中，神经胶质细胞为轴突生长提供具有吸引力的表面并帮助神经突起达到它的终端。新近发现它们在不同种的动物中，参与受损神经纤维的修复方面，有不同的作用，有的起促进作用、有的起抑制作用。④充填神经元间的空间，神经胶质细胞与神经元间的主要不同在于它终生保有细胞分裂的能力。当神经细胞由于疾病、缺氧或损伤而死亡时，它就增殖繁殖充填空档形成胶质瘢痕。这种瘢痕称为胶质瘤。胶质细胞具有膜电位，大约8~9mV，但神经胶质细胞不具有兴奋性，也不产生动作电位。

在神经系统中已发现主要的神经胶质细胞是：星形神经胶质细胞、少突神经胶质细胞、小神经胶质细胞、卫星神经胶质细胞和室管细胞。

（一）星形神经胶质细胞

星形神经胶质细胞是脑内主要的间质细胞，体积最大，数量最多。它们具有数百支突起，从它的中央部胞体向外发散，精密地穿插于神经元之间，这些突起围绕着胞体、树突，有时围绕神经末梢。所有的神经胶质细胞对钾离子均有高度的通透性。因为脑细胞外间隙十分小，神经的强烈活动可使细胞外的钾离子浓度发生改变。细胞外钾离子的增高可使星形细胞膜去极化，在某些情况由钾离子引起的去极化可解释神经组织表面所记录到的缓慢电位变化。有些星形神经胶质细胞还有 γ -氨基丁酸（GABA）或5-羟色氨（5-HT）的高亲和力摄取系统，它们可能有助于消散神经末梢过多释放的神经递质。

（二）少突神经胶质细胞

少突神经胶质细胞构成中枢和周围神经系统中神经元轴突的神经膜细胞。它们表面的细胞膜裹绕轴突形成神经纤维的鞘膜，每个少突神经胶质细胞裹绕多根轴突，最多可裹绕多达50根不同的轴突。在神经发育过程中，少突神经胶质细胞的最重要功能是引导轴突的生长。在成年哺乳动物的中枢神经系统中，中枢神经系统中少突神经胶质细胞不像外周神经的神经膜细胞那样能分泌促神经轴突生长因子，相反它们是分泌一种抑制神经轴突生长的因子。因此，中枢神经系统内的轴突损伤后是不能再生的。但是同属于外周神经纤维的视神经纤维是一个特殊的例子，它们和一般外周神经纤维不同，损伤后是不能再生的。通过电镜观察到包绕在视神经纤维外的神经膜细胞是和中枢神经系统一样的少突神经胶质细胞。现已知外周神经纤维的神经膜细胞（施旺细胞）分泌的是一种促轴突生长的神经生长因子及有关的蛋白，它们和损伤轴突的生长和修复有关；而人类的视神经纤维的神经膜细胞是少突神经胶质细胞，它们分泌的是含有抑制轴突生长的因子，所以人的视神经和中枢神经系统一样损伤后是不能再生的。