

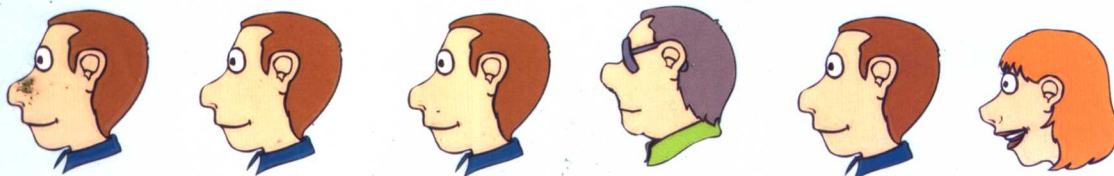
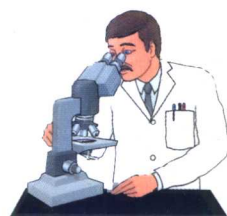


为孩子写的

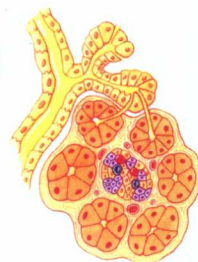
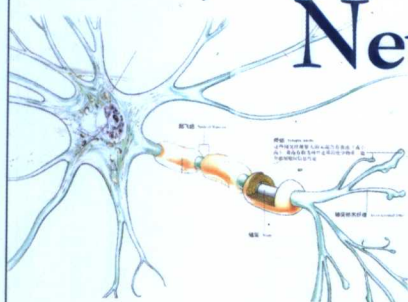
第3册 (进阶读本)



脑科学知识



Neuroscience for kids



大脑后动脉
A. cerebri posterior

大脑前动脉
A. cerebri anterior

前交通动脉
A. communicans anterior

视神经
N. opticus

颈内动脉
A. carotis interna

大脑中动脉
A. cerebri media

后交通动脉
A. communicans posterior

多极神经元
MULTIPOLAR NEURON

椎动脉
A. vertebralis

脊髓前动脉
A. spinalis anterior



(美) Neuroscience for Kids 网站 (中) 东南大学学习科学研究中心

汕头大学出版社

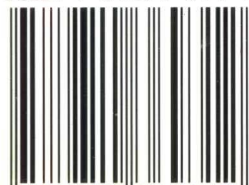
Neuroscience for kids

上世纪 90 年代，西方发达国家已经向教育工作者、家长、社会公众和学生普及有关脑科学的基础知识，其中 Neuroscience for Kids 网站就是这方面一个优秀的、影响很大的网站，它已成为 NIH 和 OECD-CERI 脑与学习科学研究项目等许多机构的推荐网站。该网站已被译成多国语言，并被多个国家选用为儿童、家长、教师 and 关心儿童教育人士学习的重要科学书籍。

经 Neuroscience for Kids 网站正式授权，东南大学学习科学研究中心组织专业人员将其内容翻译成中文，翻译稿经 Neuroscience for Kids 网站专家校审得到其一致的好评和肯定，被认为是专业的、准确的翻译。这是一本既富含科学知识又生动活泼的科学书籍，中文版取名为《为孩子写的脑科学知识》。此书将成为青少年儿童、家长“学习脑科学知识，探索未知世界”的窗口，也可作为教师培训脑科学知识的一本良好书籍。



ISBN 7-81036-931-8



9 787810 369312 >

ISBN 7-81036-931-8

R·88 定价:15.00元



为孩子写的 脑科学知识



第**3**册
(进阶读本)



(美) Neuroscience for Kids 网站 (中) 东南大学学习科学研究中心

汕头大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

为孩子写的脑科学知识 - 进阶读本 / 毛彩凤编译.

- 汕头: 汕头大学出版社, 2004.12

书名原文: Neuroscience for Kids

ISBN 7-81036-931-8

I. 为... II. 毛... III. 脑科学 - 青少年读物 IV. R338.2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 126128 号

Copyright 2003 University of Washington

This material is from the University of Washington "Neuroscience for Kids Website," which was created and is maintained by Eric Chudler, Ph.D., Department of Anesthesiology, University of Washington, with support from a Science Education Partnership Award NIH(R25 RR12312). Distribution of the Content for commercial or modification of the Content is prohibited.

本书及配套 CD 来源于华盛顿大学医学院 Eric Chudler 博士创立并负责维护的 Neuroscience for Kids 网站, 此网站获得美国科学教育伙伴基金资助 (R25 RR12312)。禁止一切商业目的的发行和修改。

为孩子写的脑科学知识·进阶读本

主 编: Eric H. Chudler

译 者: 毛彩凤

责任编辑: 胡开祥 钱 丹

封面设计: 郭 炜

责任技编: 姚健燕

出版发行: 汕头大学出版社

广东省汕头市汕头大学内

邮 编: 515063

电 话: 0754-2903126 0754-2904596

印 刷: 广州东瀚印刷有限公司

开 本: 890×1168 1/16

印 张: 3.5

字 数: 105 千字

版 次: 2004 年 12 月第 1 版

印 次: 2004 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 10000 册

定 价: 15.00 元

ISBN 7-81036-931-8/R·88

发行 / 广州发行中心 通讯邮购地址 / 广州市天河北路 177 号祥龙阁 2202 室

邮编 / 510620

电话 / 020-85250103

传真 / 020-85250223-6001

马新发行所 / 城邦 (马新) 出版集团

电话 / 603-9056 3833

传真 / 603-9056 2833

E-mail: citeckm@pd.jaring.my

版权所有, 翻版必究

如发现印装质量问题, 请与承印厂联系退换

致 谢

感谢韦钰院士对这本书自始至终赋予的关注与信任。

感谢所有为了 Neuroscience for Kids 中文版面世而付出努力的各位老师。

译者

序 1

韦钰

当人类即将进入知识社会的时候，对世界、国家和家庭来说，没有比为我们的孩子提供更好的教育机会，以把他们培养成 21 世纪优秀人才更重要的事了。教育是科学，教育和医学是直接与人相关的两门科学。由于科学的发展，大约在 150 年前，医学发生了革命性的变革，医学开始和化学、物理等基础学科，继而又和工程技术、生物技术等交叉融合，现在类似的变革过程正在教育领域里展开。

这个变革之所以能够发生，主要是因为脑科学在上个世纪取得了迅猛的发展，特别是近十几年。一些发达国家把上个世纪的最后十年称为“脑的十年”，其主要目的是提高公众对脑科学研究的了解和重视。从那个时候开始，一些科学家就为教师、家长和学生编写了大量的有关脑科学的科普知识，建立了科普网站。我们中国的教育界急迫地需要赶上这个进程，在我们了解、比较了世界上许多类似的出版物和网站以后，决定选择翻译华盛顿大学医学院 Eric Chudler 博士创立的 Neuroscience for Kids 网站(<http://faculty.washington.edu/chudler/neurok.html>)。它是一个面向儿童普及脑科学知识的优秀网站，获得很多国际知名学者，NIH 和 OECD 学习科学研究网络的首肯。征得 Chudler 博士的应允，东南大学学习科学研究中心将 Neuroscience for Kids 网站的主要内容译成中文，并经 Washington 大学负责出版的机构和国内有关的专家校核，将相关内容已发布在汉博网(WWW.handsbrain.com)上，现将这些内容制作成书籍和光盘，期待更多的儿童、家长和教育工作者可以从中受益。

《为孩子写的脑科学知识》分四册，共包括十个大的主题，分别是预备知识、有关脑的基本知识、高级功能、脊髓、周围神经系统、神经元、感觉系统、方法和技术、药物对脑的影响和神经和精神疾病，前三册内容较浅显易懂，可供一般家长、儿童阅读，第四册部分内容要深奥一些，建议关心儿童的成人阅读，或有兴趣的儿童在家长或老师的指导下进行阅读。我们也欢迎大家登陆汉博网或 Neuroscience for Kids 网站，点击相关主题链接，了解更多内容。

我们要感谢 Eric Chudler 博士，出于对科学和儿童的热爱，应允我们可以出版这本书，并组织人员对译文质量进行校对，作出了“专业和准确(professional and accurate)”的评介。感谢负责翻译此书的学习科学研究中心的毛彩凤老师，参与本书初译工作的汤天宇老师和冷老师，网页制作吕婧老师，以及参与校对的专家，尤其要感谢汕头大学出版社的大力支持。在此，我们对他们的热情支持和参与表示深深的谢意。

序 2

Eric.H Chudler

What weighs about 1.4 kg, contains billions of working parts, controls everything you do and is located in your skull? The answer, of course, is your brain. Your brain is the most important part of your body. It controls movement, thought, memory, emotion, language and perception. Your brain is you!

This book is for anyone interested in learning about neuroscience, the study of the nervous system. I hope that the information you read about will encourage you to ask questions. Although scientists have learned a tremendous amount about our amazing brain, there is still much that is unknown. For example, the causes and effective treatments of many neurological and mental disorders are elusive. The very nature of consciousness remains unclear. Although this book will not provide answers to these questions, it will explain the basic operation of the nervous system. As you begin to understand how the nervous system works, you should start to ask questions to further your knowledge. Your questions may lead to answers that solve a puzzling mystery about the brain.

So, step into the world of nervous system...and don't forget to ask questions!

你颅骨中那个重达 1.4 公斤，包含数十亿个工作组件，支配着你一切行为的东西是什么？这个问题的答案就是你的脑。你的脑是你身体中最重要的部分，它支配着你的动作、思维、记忆、情感、语言和感知。你的脑就是你自己！

任何对脑科学和神经系统感兴趣的人都可以阅读这本书。我希望这本书提供的信息可以帮助读者提出自己的问题。虽然科学家们对神奇的脑的了解已经取得了巨大的进步，但是我们不了解的仍然还有很多。比如，很多神经和精神系统疾病的病因和有效治疗方法是什么？意识到底是什么？虽然这本书对这些问题没有提供答案，它却解释了神经系统的基本运行过程。而当你可以理解神经系统是如何工作的时候，你可以提出问题来拓展自己的知识。你的问题也许：可以解决一个有关脑的令人困惑的秘密呢！

所以，请进入神经系统的世界吧，不要忘了提问噢！

目 录

第三册 进阶读本

序 1 韦钰	4
序 2 Eric.H Chudler	5

第四章 感觉系统

1. 疼痛是什么	7
2. 牙齿	10
3. 皮肤	11
4. 视觉	13
5. 中枢视通路	15
6. 你近视吗?	16
7. 耳朵	17
8. 嗅觉	20
9. 味觉	21
10. 视网膜	22

第五章 药物对脑的影响

1. 酒精	24
2. 咖啡因	27
3. 可卡因	30
4. 海洛因	32
5. 大麻	35
6. 尼古丁 (烟草)	37

第六章 神经和精神疾病

1. 孤独症	39
2. 铅对神经系统的影响	42
3. 水银和神经系统的影响	44
4. 中风	46
5. 精神分裂症	47
6. 多动症	51

第四章 感觉系统

1. 什么是疼痛



你可能不喜欢疼痛，但是我们却需要疼痛。疼痛是人们保护自己的警告系统。疼痛说，“注意，注意……快停下你正在干的事情，干点儿别的吧。”比如你把手放在炉子上，痛感告诉你不要接触炉子，把手拿开。这样疼痛保护身体免受伤害（或者如果你已经受伤了，就保护你免受进一步伤害）。疼痛也有助于愈合，因为伤口疼痛，你就必须休息帮助伤口愈合。

有的人天生就没有疼痛感。这些人患有一种罕见的病症——先天性疼痛缺乏症”（congenital insensitivity to pain）。他们的神经系统不能辨认疼痛信息。你可能认为这是一件好事，事实恰恰相反。没有辨别疼痛的能力，就会造成更严重的伤痛。比如说，你的一条胳膊骨折了，而你可能因为没有感觉到疼痛而继续使用这条胳膊。这样就会对胳膊继续造成伤害。患有

先天性疼痛缺乏症的人通常浑身都是伤，比如瘀肿，关节痛，手指伤痛甚至残缺。

所以，外界什么事物能引起疼痛呢？能引起反应的事物称为刺激。当刺激损伤组织或即将损伤组织的时候就会产生痛感。疼痛是通知脑部人体正在受到伤害的自然方式。引起疼痛的刺激可以分为以下几类：

疼痛刺激				
	能量种类	样 例	日常样例	不予治疗的可能后果
	机械能	过度压力 捏掐 挤 扭曲	被动物咬伤 刀伤 从自行车上摔落	瘀肿 骨折 割伤
	热能（温度）	热 冷	火 滚烫的巧克力 冰	烫伤 冻疮
	电能	——	电击	烧伤
	化学能	——	酸 辣椒	化学药品灼伤 皮肤撕裂
	内脏	——	心脏病 阑尾发炎	情况会愈来愈糟

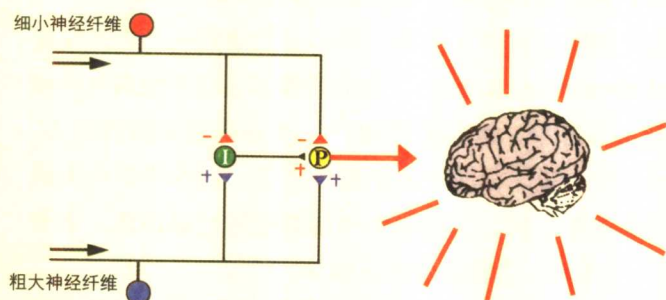
肯定你还可以列出其他引起疼痛的原因，比如牙痛，骨折。

现在我们知道“刺激”可以引起疼痛。这些刺激是如何激发神经系统的？人皮肤上有专门的“感受器和内部器官，这些”感受器“和内部器官对引起疼痛的刺激很敏感。这些接收器叫做伤害感受器，是连接在细小的有髓鞘的 A 神经纤维的和无髓鞘的 C 神经纤维上的神经末梢。患有先天性疼痛缺乏症的人没有这种神经纤维（有关神经纤维的更多信息）。伤害性知觉就是神经系统对疼痛刺激的反应。当伤害感受器辨认出一个伤害性刺激时，就把这一信息传递到脊髓。

有关疼痛的一个著名理论是由 Patrick Wall 和 Ronald Melzack 于 1965 提出的闸门控制学说。这项理论称疼痛是通过粗大神经纤维传输到脊髓的信息和通过细小神经纤维传输到脊髓的信息之间的一种平衡状态。请记住，粗大神经纤维传输非伤害性信息，细小神经纤维传输伤害性信息。如果粗大神经纤维相对活动量较大，就不会有疼痛或痛感很小。但是如果细小神经纤维的活动量较大，就会有痛感。下面是闸门控制学说对这一过程的描述：



闸门控制学说



下面我们一步步地学习这一理论：

1、当没有任何刺激的时候，粗大神经纤维和细小神经纤维都很“安静”，抑制性中间神经元(I)阻止了与脑连接的投射神经元(P)中的信息。“闸门关上了”，没有痛感。

2、当产生非疼痛性刺激时，粗大神经纤维首先被激发。这就激发了投射神经元(P)，但是同时也激发了抑制性中间神经元(I)，抑制性中间神经元(I)阻止了与脑连接的投射神经元(P)中的信息。“闸门关上了”，没有痛感。

3、当产生疼痛刺激时，细小神经纤维变得活跃起来。它们激发了投射神经元(P)，阻止了抑制性中间神经元(I)。因为抑制性中间神经元(I)的活动被阻止了，它就不能再阻止与脑相连的投射神经元(P)的信息传递。“闸门打开了”，有了痛感。

虽然闸门控制学说得到了一些试验结果的支持而且确实可以解释一些发生在病人身上的现象，但这一理论却并不是万能的。想想你不小心碰到了头或者夹痛了手指时做的第一件事是什么？你可能会揉一揉，感觉就好像好一点了是不是？这可以用闸门控制学说解释吗？揉一揉头或手指可以激发由粗大神经系统传输到脑的非疼痛触觉信息。根据这一理论，粗大神经纤维的活动会激发抑制性中间神经元阻止投射神经元，从而阻止疼痛。

信息直接从脊髓传输到丘脑，中脑和网状结构等脑区。

一些接收伤害性信息的脑区与认知和情感有关。一些脑区还把信息传送回脊髓，这些连接可以改变或修改传递到脑的信息。实际上，这是脑减轻疼痛的方法之一。两个与减轻疼痛有关的脑区是导水管周围灰质(PAG)和中缝大核。神经外科医生已经成功地把电极移植到了一些脑受到严重损伤的病人的 PAG 的附近位置，通过这些电极发送的微弱电流可以减轻一些病人的疼痛。

其他减轻疼痛的方法		
方 法	可能的机理	使用范围
阿司匹林	主要在周围神经系统发挥药效。缓解炎症。	头痛，肌肉与骨骼痛
吗啡	在中枢神经系统发挥药效（脑和脊髓），阻止疼痛信息的传递。 激发脑中与脊髓连接的疼痛调节系统。	术后疼痛，其他疼痛
其他止痛药	在多种神经递质系统中发挥药效	各种疼痛
催眠	1、可激发从脑到脊髓的疼痛抑制通道（鸦片类通道除外）。 2、可在某个脑区发挥作用，转移病人对疼痛的注意力	牙痛，分娩，烫伤烧伤，头痛
针灸	1、激发抑制疼痛的粗大神经纤维（“关上闸门”）。 2、可作为安慰剂。促使内啡肽的释放（人体中自有的类似吗啡的物质）。 3、有些针灸可以激发细小神经纤维，阻止脊髓的疼痛机制（这与闸门控制学说是是一致的）。	背痛，小手术
安慰剂	1、缓解焦虑。 2、促使人体内啡肽的释放。	头痛，术后疼痛
经皮神经电刺激 (TENS)	1、激发“关闭闸门”的粗大神经纤维，减轻疼痛。 2、可起到安慰剂的作用。	术后疼痛，关节痛，癌症疼痛
神经外科手术	消除或阻止疼痛信号。	癌症疼痛
摁压	1、激发人体自有的疼痛缓解系统（内啡肽）。 2、激发非鸦片性疼痛抑制系统。	足球运动员不顾伤痛继续比赛，士兵不顾伤口继续战斗。



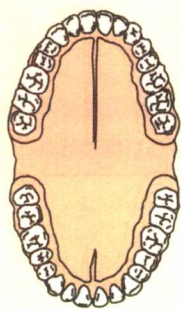
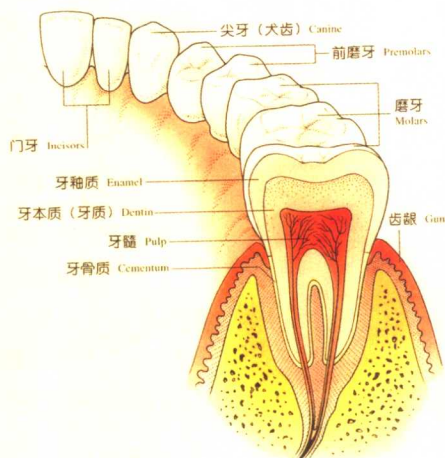
脑组织没有痛感！脑本身没有疼痛感受器（receptors for pain）。实际上，大多数脑外科手术仅通过局部麻醉进行。但是脑膜对疼痛非常敏感。



2. 牙齿

牙齿是一个令人惊奇的感觉器官。牙齿的外层是牙釉质，是人体中最坚硬的组织。牙釉质包裹着牙本质。牙髓位于牙齿的中间，包括血管，神经纤维及其他的结缔组织。虽然牙髓具有多种功能，包括牙本质的形成，但是牙齿的感觉功能却是其中相当令人惊奇的。

牙齿内部的神经纤维对刺激相当敏感。如果你曾经患有蛀牙你就会知道牙齿发往脑的信息是疼痛！（现有的科学文献还在争论牙齿是否具有非疼痛感觉功能）。但是，完好无损的牙齿中的感觉纤维似乎很“安静”。



如果我用手指接触牙齿，我可以感觉到牙齿而牙齿并不疼痛，所以牙齿发送的一定是非疼痛性信息。当然你用手接触牙齿时确实感觉到手指在接触牙齿，但是，你感觉到的并不是牙齿内部神经纤维作用的结果，而是接触牙齿激发了牙齿周围的韧带，这些韧带对即使是牙齿轻微的位移也相当灵敏。

但是，如果患了蛀牙或牙齿受到损伤，牙齿内部的神经纤维就会对外部的刺激作出反应。在这种情况下，你就一定能感觉到疼痛了。儿童通常有 20 颗牙齿（又叫做乳牙）。成人有 32 颗恒牙，包括 4 颗智齿，有的人根本不长智齿。

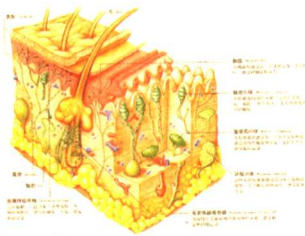


以下知识来自 Wynbrandt, J. 的著作《痛苦的牙科历史》（纽约，圣马丁出版社，1998）

- 古巴比伦人认为魔鬼和虫子导致牙痛。
- 古希腊名医希波克拉底建议使用用蜂蜜浸湿的羊毛球清洁牙齿。
- 罗马著名解剖学家伽林(129-201 A.D.)建议牙痛的人用兔子的脑按摩牙龈。
- 美国著名的爱国人士 Paul Revere 是一位牙医。
- 第一把牙刷于中世纪后期出现在欧洲（可能首先在法国）。
- 一个牙签厂每天可生产大约两千万根牙签。
- 巨型食蚁兽没有牙齿。（参考资料：Naples, V.L., Morphology, evolution and function of feeding in the giant anteater *Myrmecophaga fridactyla*, J. Zoology, 249:19-41, 1999）

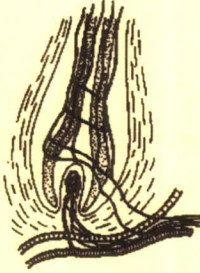
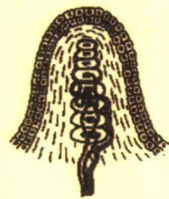
3. 皮肤

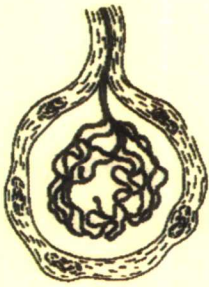
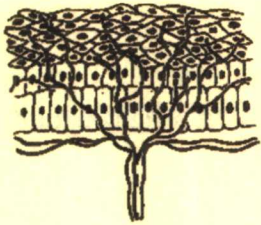
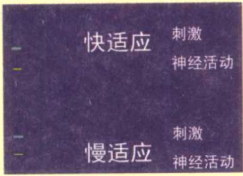
外层皮肤叫表皮，内层叫皮肤真皮。成人皮肤重约 6~10 磅（约 3~4 公斤），面积约 20 平方英尺。皮肤具有弹性和可洗性，紧固且防水，是覆盖在人体表面的一层巨大的“感觉设备”。你就在自己的皮肤里！



实际上，皮肤有四种类型：

1. 粘膜表皮 (mucocutaneous)：位于粘膜，有毛皮肤，嘴唇和舌头的结合处。
2. 粘膜 (mucous mebrane)：位于人体腔孔内侧
3. 无毛皮肤区 (glabrous)：没有毛发的皮肤。
4. 有毛皮肤区 (hairy)：有毛发生长的皮肤。

皮肤感受器			
感受器末梢	神经纤维	功能	位置
 毛囊感受末梢	A-beta	感受毛发移位	包裹在毛皮肤区的毛囊周围
 Ruffini 小体	A-beta	感受触压觉	有毛皮肤区和无毛皮肤区的真皮组织
 Meissner 触觉小体	A-beta	感受波动性刺激。对频率在 20~40 赫兹之间的刺激最敏感。	无毛皮肤区的真皮组织

 游离神经末梢	A-beta	感受触压觉	嘴唇, 舌头和生殖器
 环层小体	A-beta	感受波动性刺激。对频率在150~300 赫兹之间的刺激最敏感。	有毛皮肤区和无毛皮肤区的深层真此组织
 游离神经末梢	A-delta and C	不同的游离神经末梢感受由机械能, 热能或毒性物质所引起的不同刺激。	躯体各处皮肤均存在各种游离神经末梢
触觉细胞	A-beta	感受对皮肤的触压觉	无毛皮肤区的表皮组织
 与不同皮肤感受器连接的神经纤维或者在刺激时产生去极化（慢适应）或者只有在刺激开始和有时在刺激结束时作出反应（快适应）。换句话说，慢适应神经纤维传递正在进行的刺激信息；快适应感受器的典型例子是 Pacinian 小体感受器。慢适应感受器的典型例子是 Ruffini 神经末梢。			



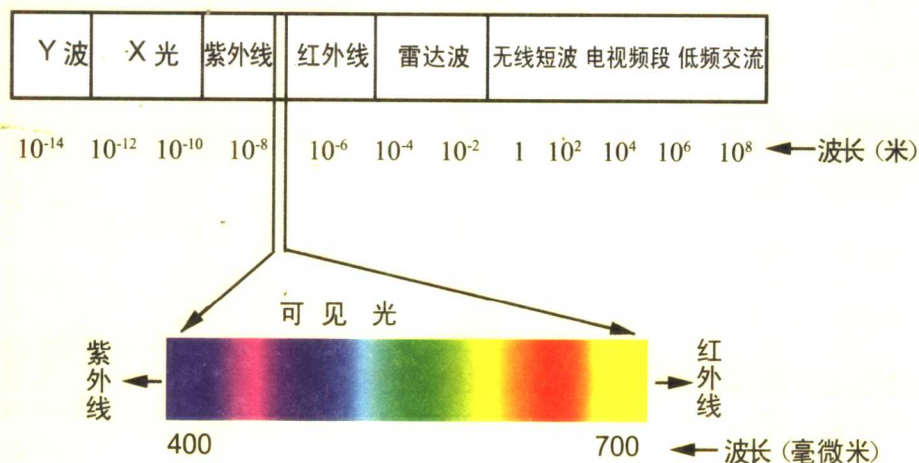
我们每天失去 5000000 个皮肤细胞！



4. 视觉

我们所获得的大部分外界信息是通过视觉感知的。实际上我们所看到的是“光”。即便如此，我们所看到的只是整个“电磁波频谱”的很小的一部分，即可见光。人类只能感受电磁波中波长在 380 到 760 毫微米之间的部分，感受不到波长小于 380 毫微米和大于 760 毫微米的部分，所以我们看不见 γ 波或无线电波。但是响尾蛇却可以辨别波长在红外线范围内的电磁波，并利用这种本领捕食猎物。

电磁波频谱

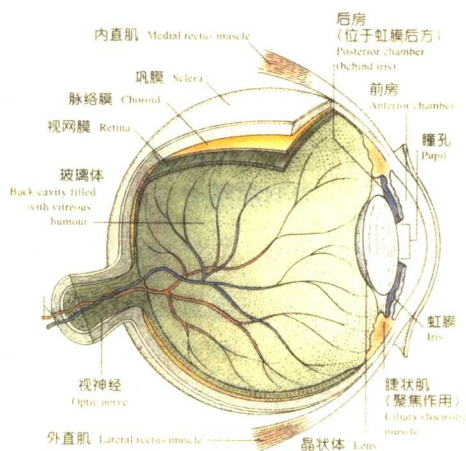


视觉

首先，讲一下有关眼睛的一些细节。人眼长度约 2.5 厘米，重约 7 克。光通过角膜，瞳孔和晶状体，成像在视网膜上。虹膜是控制瞳孔大小的肌肉，所以也可以控制进入眼睛的光的数量。眼睛的颜色也是由虹膜决定的。

透明的胶状结构玻璃体可以提供持续压力，保持眼睛的形状。视网膜包含光感受器（视杆细胞和视锥细胞）。光感受器辨别光，将光能转换成电信号，电信号再通过视觉神经传递到脑。

眼球周围有六条肌肉控制眼球上下左右转动。这些肌肉由三组脑神经控制。其中四条由动眼神经（第三脑神经）控制，一条由滑车神经（第四脑神经）控制，还有一条由展神经（第六脑神经）控制。

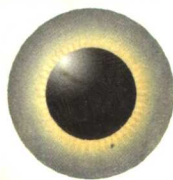


眼睛的组成	
结 构	功 能
眼房水	眼睛前房中的透明液体。
脉络膜	为眼睛提供营养的一层血管；同时由于黑色素细胞含量较高，吸收杂光，给眼球内提供暗环境，使视网膜更清晰地成像。
角膜	覆盖在眼睛前部的透明组织。没有血管，有神经。
虹膜	控制瞳孔大小的肌肉。虹膜中的色素使得眼睛的颜色看起来各不相同。蓝眼睛的色素最少；棕色眼睛的色素最多。
晶状体	将进入眼睛的光进行屈折的透明组织。晶状体可以改变自身形状以聚焦。
瞳孔	眼睛中央允许光通过的位置。
视网膜	眼睛后部包含光感受器的一层组织。
视杆细胞	主司暗视觉的光感受器。
视锥细胞	主司色视觉和明视觉的光感受器。
巩膜	眼球后部六分之五部分的保护层。
玻璃体	眼睛后部的透明胶状液体。保持眼球形状。

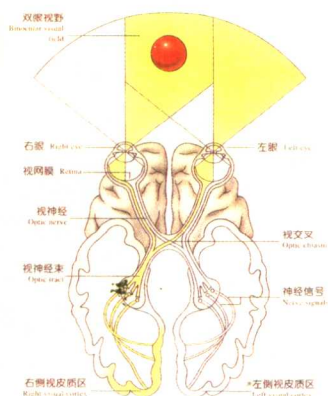


• 150 万的美国人有严重的视觉问题。50 多万美国人失明。4%的失明与眼部受伤有关。

• 瞳孔这个词的英文“pupil”来源于拉丁语“pupa”，意思是“小人，玩偶”。当人们看着别人的眼睛时，别人的瞳孔里就会出现一个缩小的自己。这可能就是用瞳孔表示眼睛中央的原因吧。



5. 中枢视通路



如果你能看懂左边的这个图，你已经了解了视觉信息从眼睛传递到初级视觉皮层的通路。这个图并不是很难理解。想象一下你的眼前有一个颜色条（一半蓝色，一半红色）。红色的部分投射到左眼视网膜的鼻侧部分和右眼视网膜的颞侧部分。蓝色部分投射到右眼视网膜的鼻侧部分和左眼视网膜的颞侧部分。

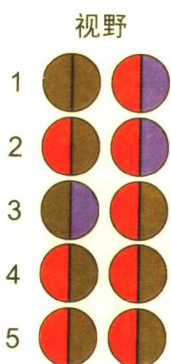
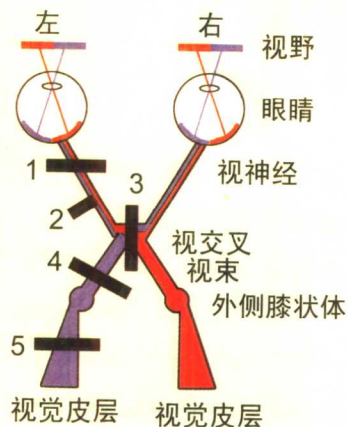
像神经系统中的很多通路一样，左右眼的视觉信息传递到相反的脑半球。两侧视神经在颅底形成视交叉。右眼视野（蓝色）在左半球，左眼视野（红色）在右半球。这一神经通路一直延伸到视觉皮层。

沿着红色和蓝色的线可以认识信息的传递过程。从视网膜开始，视神经冲动在脑的第一个突触接替发生在丘脑的外侧膝状体（外膝体）。接下来的突触投射到枕叶的初级视觉皮层。

视觉通路：从眼睛到初级视觉皮层

如果视觉通路受损将会出现什么情况？不同部位受损导致的问题也不同。黑色条（标记号为1到

5）表示受损位置，右图表示导致的视野盲区（灰色阴影）。



位置1：这就好比左眼失明。整个左视觉神经被切断，左眼完全失明。

位置2：左视觉神经部分受损。这样，左眼鼻侧部分（左视网膜的颞侧部分）的信息将会丢失。

位置3：视交叉受损。这种情况下，视野的颞侧部分丢失。交叉神经纤维被切断。

位置4和5：视束（位置4）受损或从外膝体至皮层（位置5）的纤维束受损可以导致相同的失明。这种情况下，右眼失明。

这些纤维束部分受损可以导致其它已知的视觉问题。