

科学文化工程图书

中国科学院神经科学研究所 | 编著

SECRETS OF THE BRAIN

# 大脑的奥秘



上海科学技术出版社  
SHANGHAI SCIENTIFIC & TECHNICAL PUBLISHERS

# 大脑的奥秘

SECRETS OF THE BRAIN

中国科学院神经科学研究所 | 编著

上海科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

大脑的奥秘 / 中国科学院神经科学研究所编著. —  
上海: 上海科学技术出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5478-3585-2

I. ①大… II. ①中… III. ①脑科学-普及读物  
IV. ①R338.2-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第118822号

---

责任编辑 季英明 杨志平  
封面设计 鲍鹏宇

## 大脑的奥秘

中国科学院神经科学研究所 编著

上海世纪出版股份有限公司 出版  
上海科学技术出版社  
(上海钦州南路71号 邮政编码200235)  
上海世纪出版股份有限公司发行中心发行  
200001 上海福建中路193号 www.ewen.co  
苏州望电印刷有限公司印刷  
开本 787×1092 1/16 印张 11.5  
字数 170千字  
2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷  
ISBN 978-7-5478-3585-2 / N·121  
定价: 39.80元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

# 编委会



中国科学院神经科学研究所

主编

蒲慕明

副主编

王 燕

执行副主编

曹发华

## 编委

(按姓氏笔画排序)

王佐仁 仇子龙 李澄宇 何 杰 顾 勇

# 前言

我们从有意识、会思考的童年开始，就对周边的环境充满好奇。20世纪60年代初出版的《十万个为什么》到今天还不断更新、再版，就是因为公众对理解自然现象有极大的需求。《十万个为什么》受欢迎的一个主要原因是能给“为什么”一个简单易懂的答案，即使是难解的问题，也给出明确的答案。虽然早期的《十万个为什么》里有一些错误或有误导的答案，但很多人都认为这一套读物对他们的童年有启蒙作用。甚至有些科学家追求科学的兴趣也起源于《十万个为什么》这类图书。

这也引出一个科普文章的关键性问题，就是如何把一个科学发现或概念简化而又不失真，如何“信”、“达”、“雅”兼顾。中国科学院神经科学研究所的老师和同学们在实验室里工作，最重要的准则就是严谨诚信，如果为了“达”、“雅”而不能完全兼顾“信”时，就有一个如何把握分寸的问题。对他们而言，写科普文章确实比写学术论文困难。近年来脑科学的进展迅速，社会大众普遍关注与大脑相关的问题，如智力和创新力、脑疾病的诊断治疗、类脑人工智能等等。媒体和网站上已有很多有关脑科学的信息，为什么我们还要出这本专辑？请从事神经科学研究的专家来写科普文章，主要的目的就是保证有较高的可信度；并在追求行文流畅、浅显易懂的同时，尽最大可能避免误导读者。神经所的老师 and 同学们在科研工作之余，花了不少时间将脑科学前沿的一些新发现写成科普文章，集成成册，真是难能可贵。对他们来说，这是一件具挑战性而且有意义的事情。能把与自己科研相关的问题，写成让自己的孩子或父母也能看懂，且有所收获和体会的文章，也是一大乐事。希望这些文章对他们来说只是“牛刀小试”，也希望他们未来还会写出更多的文章，而且越写越好，欲罢不能。相信将来还会有《大脑的奥秘》续集，毕竟大脑的奥秘无穷，可谈的问题太多了！

宇宙的奥秘之处就是科学的前沿领域。外在宇宙目前最神秘的是充满宇宙

的、看不见抓不到的暗物质和暗能量，而内在宇宙最神秘的就是人类的大脑了。大脑是宇宙中最复杂的物体；不但有极为复杂的神经网络结构，还有千变万化的动态信息。在我写这段文字时，我的大脑里可能有上亿个神经细胞在不断地发放电脉冲，但是这些电活动怎样形成我的思绪，怎样有序地控制我的指头打出我想说的话，对于这样一个简单的功能，我们目前的认识仍是极为有限的。因此，《大脑的奥秘》目标与《十万个为什么》有所不同：我们不是要解密，给出明确的答案，而是要表述目前神经科学对大脑的一些肤浅认识，也许更重要的是要告诉读者我们不能理解的奥秘在哪里。希望通过这样的科普传播，能进一步推动社会持续支持脑科学研究，鼓励青年读者立志从事脑科学研究，使大脑的奥秘逐渐呈现在广大读者的面前。

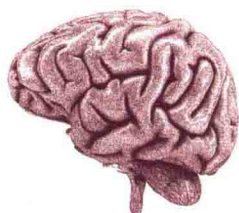
蒲慕明

# 目 录

## CONTENTS

---

»	<b>脑发育与脑结构篇</b>	<b>1</b>
•	脑细胞变身术	3
•	缤纷世界既可赏心悦目, 亦可塑造大脑	9
•	赢家通吃: 神经环路修剪的竞争机制	13
•	大脑的海洋: 脑脊液	18
•	视觉的高速公路	23
•	光明之杯: 视网膜	33
•	大脑的“恐惧中心”: 杏仁核	38
»	<b>脑功能篇</b>	<b>47</b>
•	揭秘记忆的求索之旅	49
•	大脑的GPS	60
•	空间导航	66
•	聆听大脑的神秘电波	72
•	视错觉: 窥探大脑奥秘的窗口	76
•	用心看, 用眼听, 目遇之而为声	82



- 四肢发达, 头脑简单? 88
- 控制大脑, 能做到吗? 93
- 心理与大脑 99
- 悟空显身手, 对镜贴花黄 103

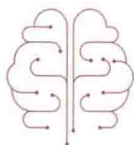
## » | 脑疾病篇 109

- 脑修复战士——神经干细胞 111
- 神经医疗的历史谜案 115
- 逆转基因决定的命运 124
- 被印刻的天使 131
- 自闭症的前世今生 137
- 当猴子患上自闭症 144

## » | 脑技术篇 149

- 天才可否人造? ——漫谈人工智能与神经科学 151
- 大脑的光控开关 156
- 大脑与电脑的对话: 脑机接口 161
- 神奇的“脑起搏器” 166
- 闪闪发光的脑 169





# 脑发育与脑结构篇

何 杰

“每当我找不到存在的意义，每当我迷失在黑夜里，哦，夜空中最亮的星，请照亮我前行。”大家有没有想过，如歌中所唱的看来稀松平常的行为与情绪，全来源于我们精密的大脑处理呢。

大脑是大自然的杰作，蕴藏浩瀚无穷的“智慧”密码。经过漫长的进化，只有1.5千克重的人脑，却拥有数以千亿计的称为细胞的基本功能结构。换句话说，大脑中细胞数量高达20倍于全球人口的总数（50亿）。就像按肤色分成不同的人种，这些数量众多的大脑细胞也分成不同的细胞类群：神经细胞和神经胶质细胞。神经细胞（简称神经元）负责大脑信息处理，但其数量只占大脑细胞总数的1/10不到；神经元一旦产生，就必须坚守其岗位直至生命终点；或许正是因为神经元这种特殊的使命，大脑赋予数量近10倍于它们的神经胶质细胞来保护它们。

神经元按其功能不同可分为不计其数的类型，有些神经元一旦“发言”，其他神经元也会踊跃发言，这样的神经元称为兴奋性神经元；而有些神经元一旦“发言”，其他神经元就保持安静，这是抑制性神经元；不同类型神经元间由一条条狭窄的“运河”联系着，“运河”的两岸码头称为突触。每个神经元与其他神经元间拥有多达千条这样的“运河”结构，由此大脑能够呈现为一个由十亿级神经元及其十兆级彼此联结的“运河”构成星罗棋布的信息处理网络。这个网络是人类记忆、情感、语言及意识发生的地方。

“吾尝终日而思矣，不如须臾之所学也；吾尝跛而望矣，不如登高之博见也”，在这一章里，带大家去慢慢揭开大脑结构的神秘面纱：大脑细胞间“运河”的修建——神经环路修剪，光明之杯——眼睛视网膜和大脑视觉处理，大脑的海洋——脑脊液；大脑的恐惧中心——杏仁核。

希望科学探索之舟能承载起大家对大脑的无限好奇之心，且行之更远更深。



# 脑细胞变身术

| 李三兰

“不要问我从哪里来  
我的故乡在远方  
为什么流浪  
流浪远方  
流浪……”

回首过去的一个月，我的脑海中始终回荡着这熟悉的旋律。我永远也不会忘记刚刚度过的惊心动魄的三十天。这一刻我的身体被浓度为4%的多聚甲醛浸透，一切活动被它禁锢，眼前浮现的是那个从远方走来的自己。

## 我原本是星形胶质细胞

我的曾用名叫星形胶质细胞，现在的我叫诱导的神经元。

在短短一个月时间里，我与千千万万的同胞一起经历了我们生命中最大的一次冒险，脱胎换骨、重获新生。

翻一下我的族谱，其实我来自一只实验室里的小老鼠，可就在它出生后第五天的那个下午，它牺牲了。实验者将它的脑组织取出来，剪成小块分离出胶质细胞——它们就是我的祖辈，其生命力十分顽强，在经历了“剪刀手”胰蛋白酶的围攻后，在组织块中被打散成一个个独立的细胞，不过也有一些同伴因为不堪“折腾”而死去。

幸存者在培养皿中生活了大概一周时间。那是平静的一周，那里有丰富的食物、充足的氧气，大家肆意生长繁衍，群体不断扩大，直到占领整个培养皿。而我，就是这些幸存者的其中一个后代。

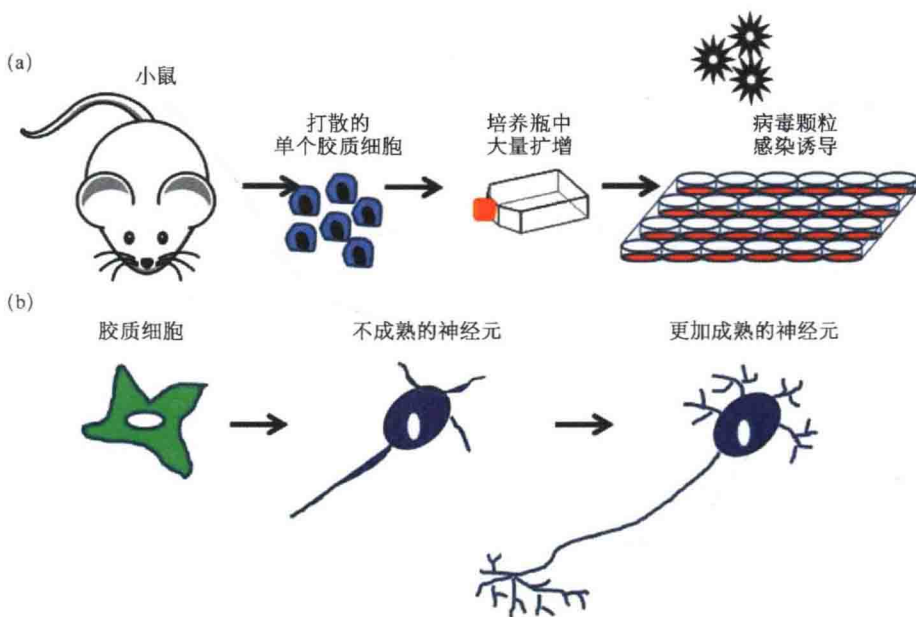
生活不会总是一帆风顺，有一天我们正吃着糖果唱着歌，“剪刀手”胰蛋白酶再次降临，我们不得不和家人分开，最后我和一群同胞被丢进了一个小小的房间。接下来发生的事情让我终生难忘。

一群我们从未见过的生物入侵了我们的房间，它们像异形一样包围我们，吸附在我们身体表面，褪去外衣，然后神秘地进入了我们的身体。后来我才知道它们的名字叫做慢病毒。慢病毒将能够影响神经元命运的种子撒在我们的身体里，它们快速地上生根发芽，我们的世界也随之发生了翻天覆地的变化。

眼看着有些同伴在挣扎中死去，尸体就漂浮在我周围，而我自己也能感觉到自身正在发生着剧变：被入侵大约一周后，我发现我扁平的身体开始变得圆鼓鼓，新长出来的手也是又细又长；与此同时，我的内心也发生着奇妙的变化，似乎有一股力量要喷涌而出。再看看身旁的同伴，活下来的大多已经不是原来的模样，不过也有极少数同胞幸免于病毒感染，依旧是当初的样子。

每隔两三天，实验者给我们补给营养的时候，我们也趁机放放风。有时候我们会被放到显微镜下，在聚光灯下我们成了舞台的主角。

“诱导得不错，好多看起来都像神经元！”



从小鼠脑中分离出胶质细胞，并通过病毒感染诱导其成为神经元（李三兰 绘制）

从他们的对话中,我知道,我已经有了一个新的名字——诱导的神经元。

诱导的神经元,诱导的神经元……我不停念叨着这几个字,心中的疑虑也一天天在生长:

为什么要把我们胶质细胞诱导成神经元?

诱导的神经元与真正的神经元有什么不一样?

我的祖先是胶质细胞,现在我到底是什么?

我忍不住问身旁的小伙伴,可他也仅仅知道神经元与我们的祖先——胶质细胞一样住在脑袋里而已。既然同样都是脑细胞,为何要让我们经历痛苦被诱导成神经元?

对于真正的神经元,我所知甚少。看着自己的身体,我开始想象神经元的样子。难道就和我现在一样,有着圆鼓鼓的身体和长长的手?

三周过去了,我的手变得更长了,还像树枝一样长出很多分叉。我遇到的细胞也越来越多,有些只是擦肩而过,而有些则会建立深厚的友谊,就像命中注定,我们会联系在一起。听同伴说,这种特殊的联系叫做突触,突触让神经元彼此交流、心意相通。

但我心中还是有很多疑惑没有解除,直到有一天,碰到另一位博学的同伴,它给了我答案。

它见到我的时候甚是欢喜,还不停夸赞我的美貌、我的成熟。我却不以为然。它告诉我,它也是诱导的神经元,虽然它的手还是又短又粗,看起来还是有几分胶质细胞的模样。即便如此,它还是以此为傲,因为它也算是半个诱导的神经元了。

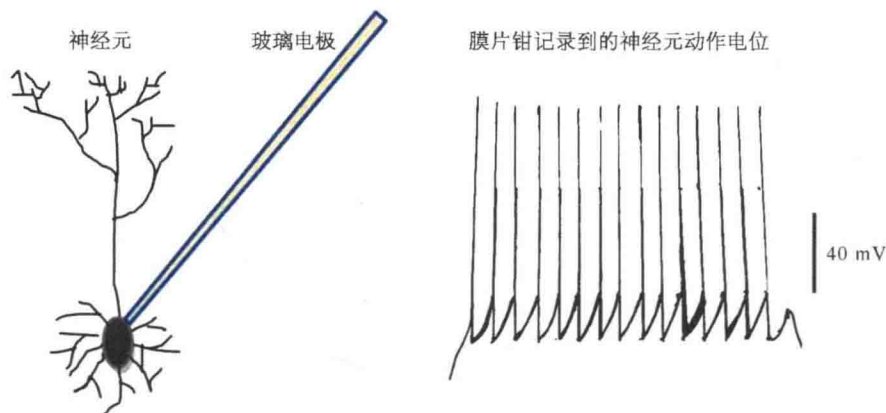
“胶质细胞和神经元本来就是宗亲,不过在外人看来,神经元是贵族,胶质细胞只能算平民。神经元与神经元组成的网络可以实现各种功能,这就是神秘而伟大的神经网络!可是如此优秀的神经元也有着天生致命的弱点。它们结构精细,却容易受伤,关键是受伤后修复能力有限,因为神经元一旦生成就很难再分裂。如果神经元受伤了,大脑的功能会受到严重的影响。胶质细胞似乎生来就是配角,它们总是围着神经元转悠,忙忙碌碌一生也很难被人们记住。有多少胶质细胞梦寐以求能够变成神经元,变得被人们重视!直到有一天,机会从天而降,它们被选中,被诱导,变成了神经元。这个过程即使痛苦万分,即使它们中的有些细胞变得不伦不类,或者哪怕变得有一点点像神经元,它们都会欢欣鼓舞,死而无憾!想一想那些没有走到现在的同胞,它们就倒在我们身旁,幸存的我们应该加倍努力变得更成熟、更接近真正的神经元……”

听着它的述说，我慢慢释然了。对于成为真正的神经元，我也充满了向往，可是又忽然变得不安。我不知道现在的我是否已经成为真正的神经元，我是否能够替代那些伤病甚至死亡的神经元发挥正常的功能。

一个月很快就过去了，在这个小小的才两平方厘米的培养皿空间里，我有了自己的朋友圈，我们的手紧紧握在一起，彼此分享最新的动态，见证点滴的成长。

### 我是真正的神经元吗？

终于有一天，我被拿出培养箱，实验者用一种称为膜片钳的技术为我做生理检查，看我能否成为一个合格的神经元。我充满了自信，因为至少从外表来看，我已经接近一个成熟神经元的样子了。等了半天，终于轮到我了。一根管子吸住我的身体，我打了个趔趄，不过还是站稳了脚跟。实验者打开一个检查项目，点击开始，然后满眼期待地盯着屏幕。突然我全身发麻，原来是触电了，紧接着我又感受到那股曾经在我体内喷涌的力量，是那么强大，那是我的心跳，在屏幕上跳出一座座高高的山峰。“哇，好多动作电位，这个神经元诱导得相当成熟呀！”实验者惊喜地说道。



用膜片钳技术检测神经元的生理活性（李三兰 绘制）

这不是科幻，这是科学，实实在在的科学。

我们所经历的从胶质细胞转变成神经元的过程叫做转分化。像胶质细胞这样能被转化成神经元的还有很多其他类型的细胞。比如最常见的成纤维细胞，这种细胞易于获得而且培养简单，是转分化的首选。

我们胶质细胞与神经元本是同根生,从某些方面来讲更接近神经元,这也是我们被选中的原因之一。另外大脑里有数量颇丰的胶质细胞,如果可以在神经元生病的地方将我们就地转化,或许能为治疗如帕金森病、阿尔茨海默病等神经系统顽疾增加一种选择。

希望总是美好的,要让这项技术更好地投入应用却还有很多现实问题亟待解决。比如,如何诱导得到特定类型的神经元(如多巴胺能神经元)?人的大脑区域差异很大,不同区域的同种神经元生活习性也很可能不一样,那么如何得到带有区域特征的特定神经元?转分化的过程迅速而剧烈,但是神经元命运的火种是如何在胶质细胞里引燃的?

路漫漫其修远兮,人将上下而求索。

生理检查终于结束了,离开温室的我们已经被空气中的细菌包围,我们精疲力尽,奄奄一息。还有另一项检查在等着我们。

形态变化上我们看起来已经成功,可本质上我们已经成为神经元了吗?神经元与胶质细胞表达的很多蛋白质都不一样,而正是神经元才有的蛋白质在执行着神经元的特殊使命。比如现在的我和其他诱导的神经元是通过我们之间形成的突触结构进行交流的,而胶质细胞之间是没有这种所谓的突触结构的。神经元突触的形成及其正常运行需要很多特定蛋白质的参与,比如需要一种称为突触蛋白(synapsin)的蛋白质。再比如,现在我的手又细又长,我的骨架已经变成神经元特有的了吗?

接下来的检查中,实验者将通过抗体染色进行检测。所选取的抗体是能够特异性识别并结合这些蛋白的。实验者拿出早已为我们准备好的试剂,上面标示的是4%多聚甲醛。这是一种交联剂,也是一种防腐剂。喝下它,我的细胞膜将不再流动,我的心脏将不再跳动,仿佛被《冰雪奇缘》里面的姐姐施了魔法,转眼间只见千里冰封,万物凝固……紧接着实验者将特定的抗体孵育在我们周围,抗体进入我们体内,凭借着本能找到它独一无二的另一半——抗原(就是神经元体内的各种蛋白质),它们紧紧结合在一起。那实验者是怎么发现它们的呢?巧妙的是,实验者早已偷偷地在抗体身上安了一盏“灯”,没错,那就是荧光基团。荧光基团能够被激发出特定波长的光,比如常见的红绿蓝可见光,还有红外不可见光。在荧光显微镜的帮助下,特定的抗体就显示出它所结合的蛋白。眼见为实,这样,实验者就可以看到我是否带有神经元的蛋白质了。

我知道我即将死去，可是我并不害怕，“死得其所”四个字是我想说的。胶质细胞转分化成为神经元的道路还很长，我的牺牲是为了其他同伴更好地走下去，所以我愿意。或许永远也没人知道在被多聚甲醛浸透的那一刻，我痛并笑着……

（谨以此文，献给那些为科学实验牺牲的小老鼠，以及它们的胶质细胞。感谢给予笔者修改意见的唐骋、袁洁、尹陈、邓菡菲、饶志萍和韩素娥等同学）

（审稿：程乐平 顾勇）

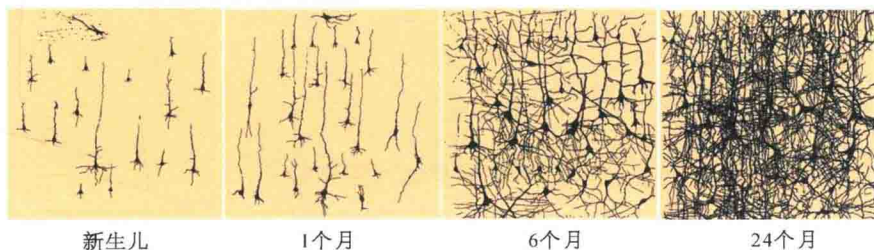


# 缤纷世界既可赏心悦目， 亦可塑造大脑

| 于 翔

## 跨脑区可塑性

大脑的认知功能依赖于精确神经网络的建立。一个刚出生的婴儿几乎已经拥有他（她）未来大脑中的所有神经细胞，然而它们之间的连接还没有完全成型。外界因素，特别是来自环境的各种感觉刺激，能够调控发育早期大脑中神经元的生长与功能性连接的形成（即突触的形成）。在人类的大脑皮层中，这个过程一般在出生后几年内完成，而生长周期更快的小鼠中则可在几周内完成。已有很多科学家研究了感觉刺激对大脑皮层发育与功能的影响，例如视觉的剥夺会导致视皮层（即主要处理视觉信息的大脑皮层区域）神经网络功能的减弱。更有趣的是，感觉剥夺还会影响其他脑区的功能，如失明的人可能有更灵敏的听觉。前人关于跨脑区可塑性的研究主要集中在成年个体上。那么，在发育早期，是否也有同样或者不同类型的跨脑区可塑性呢？



人类大脑皮层发育的进程（于雪菲 据 Courchesne et al., 2007 绘制）