

你的聪明才智从何而来？

蒲慕明

现代科学告诉我们，人类的智商由基因和环境因素共同决定。然而，先天遗传和后天培养哪个更具决定性？两者比重各占多少？

人类大脑具有强大可塑性。它是如何学习的？神经网络如何工作？诸如意识的生物学基础、记忆的储存与恢复、人类的合作行为等问题，都是备受关注且未被解决的重大脑科学问题。这需要对大脑进行更深入的研究。

脑科学现在所处的发展阶段，相当于 20 世纪初的物理学和化学。显然，在未来的生命科学发展中，脑科学将是一个很重要的领域——不仅本世纪、甚至下个世纪，它依旧会是生命科学的前沿。



漫画：王梓含

曾经有人提出过“水桶模型”，认为智力基因与后天环境就像两根水管，同时向人类“大脑桶”里放“智商水”，智商是两者的综合体现。但脑科学研究发现，先天基因应该是水龙头，后天环境才是引出“智慧之水”的水管，后天环境培养对于大脑智力的形成具有决定性作用。

延伸阅读

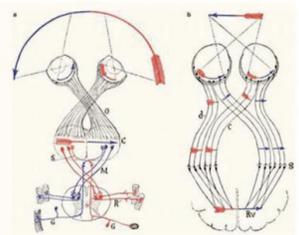
两位诺奖得主的较劲

人类第一次看清神经元细胞的模样，源自一个意外。由于神经元细胞很小，而且密集地挤在一起，颜色又很均匀，所以如不经特殊染色处理，很难在显微镜下看清。

1872 年，意大利神经解剖学家高尔基首创了“高尔基染色法”。一次，他偶然把一块脑组织浸到了硝酸银溶液里，过了好几个星期他才想起这件事。当他再用显微镜观察这块脑组织时，第一次清楚地看到神经元复杂而精巧的结构——脑组织上出现了非常复杂的网络图纹，还有许多黑色的斑点散布其中。

1887 年，西班牙神经科学家卡哈尔看到了高尔基对脑组织染色的图片，不禁深深为之着迷。他改进了高尔基染色法，并开创性地提出“神经元学说”。该学说认为，大脑由神经元构成，神经元是神经活动的基本单位，神经元之间不直接接触，但它们之间会传递信号。在现代脑成像技术诞生之前，卡哈尔就绘制了许多精确的、呈现出美丽复杂性的神经元与神经网络图。

1906 年，两人因在脑科学方面的巨大贡献同时分享了诺贝尔医学或生理学奖。有意思的是，在斯德哥尔摩的颁奖仪式上，高尔基谴责了卡哈尔的神经元学说，认为“那是错误的”，紧接着说道“我是第一个”。随后，卡哈尔非常巧妙地应对了这个尴尬局面，大方地称赞高尔基是“染色方法的创始人”，而他利用这种方法取得了“自己最杰出的发现”。



卡哈尔绘制的脊椎动物视神经相关通路的图片。

新图灵测试提出新挑战

除了健康，脑科学研究的另一个重要应用即是脑机智能技术及类脑研究。未来，该领域一个重要发展方向是脑机接口和脑机融合。

尽管现在的机器学习方法，尤其是深度学习神经网络模型，已经发展得相当好，但与人脑相比，其智能程度还相差很远。如果未来能研发出真正的类人脑的智能系统，它将具有更强的通用智能、更低的能耗、更高的效率。

上世纪四十年代，数学家图灵曾提出过这样一个设想：在看不到对方的情况下，让人类用户分别与一台机器和一个人对话，并在对话过程中分辨出对方是机器还是人。如果无法分辨，就认为机器具有人的智能。

在这个测试中，机器对于语义的理解是关键。多年来，人们一直希望研制出能够通过图灵测试的机器。小冰是微软（亚洲）互联网工程院在中国推出的人工智能聊天机器人。它可以通过深度学习，不断增强与人对话的回应能力。尽管“学习”多年，但人们还是很容易知道它不是真的人，而只是一台机器。

今天，要真正研发出好的类脑智能，必须依靠新的图灵测试。除了语言能力之外，测试指标还应包括对各种信息的感知能力与处理能力。具体来说，可以让一个机器人和一个人各自操作一只机械手一起玩游戏，同时要求他们彼此间就动作情况进行对话并测试。如果游戏的目标，这种测试比跟一台计算机对话复杂多了。此外，团队合作也应是测试内容，可以让机器人与一群人合作进行某些活动，比如进行球赛、一起开会等，从而检测机器人参与者是否能被人类辨别出来。

随着科技的进步，也许在未来二三十年内，就可能出现能够通过新图灵测试、具有通用人工智能的类脑人工智能。



今年 7 月 15 日，英国央行行长宣布，为纪念艾伦·图灵在计算机领域所作出的开创性贡献，将在新版 50 英镑纸币上使用他的肖像。（图片来源：视觉中国）

大脑中的信号 电脉冲与化学分子的“接力跑”

大脑与其他器官最显著的差别在于细胞形态，神经元之间通过电脉冲信号和化学分子的释放来传递各类信息，由此构成一个庞大的通信网络。

大脑仅重 1.5 千克，却是人体最重要的器官，也可能是宇宙间最复杂的物体。在脑组织外部，包裹着一层略显丑陋的灰色皱褶，这就是大脑皮层。这些皱褶是人类所独有的，人类的智慧就藏在其中。

大脑和其他器官有什么不同？最明显的一点可能就是细胞形态的不同。大脑里面有细胞，一类是神经元细胞，还有一类是胶质细胞。其中，神经元细胞多达一千亿个，大约相当于银河系中的恒星数量。这些神经元细胞有着很多非常特别的“触手”，这些“触手”被称为突触，有的甚至长达几十厘米。通过突触，神经元细胞之间可以相互连接，通过电脉冲信号和化学分子的释放来传递各类信息，由此构成一个庞大的通信网络。

目前，科学家所了解到的大脑中信号传递的方式有两种，一是电脉冲，二是化学递质释放。

神经细胞中所传导的电信号，并不像电线传输电能那样，靠电子流动来传导。大脑中的电脉冲是由跨膜离子流动产生的——阳离子从外面流入细胞内，造成了电位波动。1 毫秒、100 毫伏，就是神经电信号的单元电脉冲强度。这种波动不断向前推，其推动速度比电子流的速度慢很多，每秒钟只有几百米。当电信号到达两个神经元的交接处时，电信号再次转变成跨膜的离子流动，释放出化学分子，去打开另一个细胞膜上的离子通道。当离子进入下一个神经元细胞后，化学信号又转变成电信号，向下一环节传导。

这是一种非常好的信息整合机制。不过，由于大脑内神经元数目众多，且每个神经元的电路模式、信号编码模式、信息处理方式都不相同，要真正理解大脑这个复杂的系统，科学家还有很长的路要走。

大脑在思考 犹如不间断的绚丽烟花秀

人类大脑中，思考随时在发生。可当人睡觉的时候，哪些神经元在工作？它们做了些什么、怎么做的？这些都还是未解之谜。

科学家通过观察透明的斑马鱼幼鱼，清楚观测到了斑马鱼脑细胞内的信号发生、传递的过程。

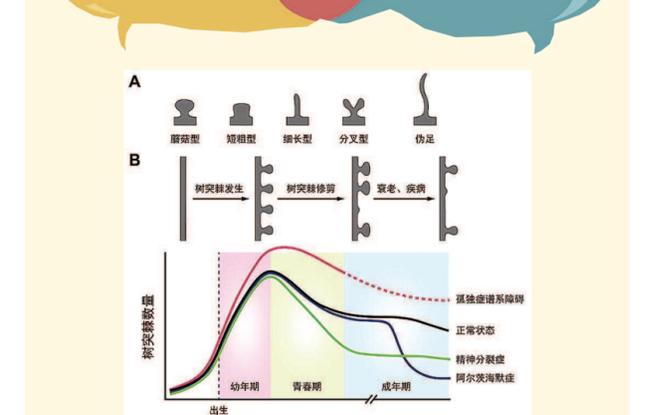
实验人员用对电活动敏感的荧光蛋白标记出斑马鱼幼鱼的神经元细胞，这样就可以通过荧光发光的强弱，来判断神经元电活动的强弱。当研究人员用

一个闪光进行刺激，斑马鱼就会甩尾并企图逃跑。中国科学院神经科学研究所杜久林研究员研究组发现，一个简单的闪光信号可以激发斑马鱼脑中上万个神经元同时活动——这些电信号同时工作所激发的荧光，就像是在大脑上演了一场绚丽的“烟花秀”。有意思的是，就算没有闪光信号，斑马鱼的神经元电活动也很丰富。所以，斑马鱼的脑组织其实一直在传递着各种信息。由此可以推想，人类大脑中神经元更是不停地在工作，思考随时在发生。

大脑在思考什么？信息分析处理工作如何进行？神经科学家希望从宏观、介观、微观三个层面来层层推进，深入了解。了解脑的宏观层面，科学家主要运用核磁共振成像（MRI）和正电子断层显像（PET）等手段，将研究视野深入到厘米或毫米尺度。在这个尺度上，我们大致可以看到各个脑区整体的电活动，以及大型神经束在各脑区之间的走向。

在微米尺度上，通过光学显微镜成像，科学家可以了解每一个神经细胞如何跟其他神经细胞进行连接、传递信息，在执行各种功能时又是怎样活动的。这就是介观层面的脑图谱研究，也是当下神经科学发展中的关键点。它能帮助科学家理解大脑网络结构的形成与工作原理。有神经科学家做了一项非常有趣的工作，将一个神经元的电活动完整地在全脑范围中展示了出来——一个神经元细胞如同一棵枝叶繁茂的树，其枝丫跨越了好几个脑区。现在神经科学家已经能完整地展示少数神经元细胞的全脑神经连接图谱。

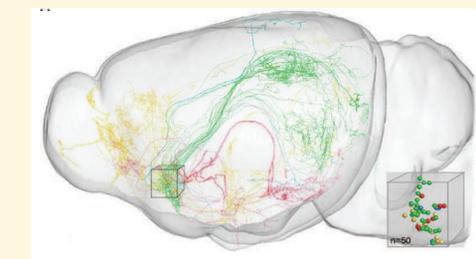
而空间分辨率达到亚微米到纳米尺度的显微研究，则需要电子显微镜的帮助，现在的科研水平可以获得这样的影像，但所获得的信息量太大，还很难分析出有意思的规律。上述所研究的还只是大脑的结构图谱。大脑神经连接的电活动状态，目前还只能在宏观层面用核磁共振成像仪来观测，不能解析各种神经环路的活动规律。



突触修剪

人类大脑神经网络的形成，主要在出生后的几年内完成。在这几年内，人类的神经网络系统不仅形成大量的突触连接，还伴随着对突触和树突棘的“修剪”和“形成”。如果“修剪”不够可能会导致自闭症，“修剪”过分会导致精神分裂症。整个“修剪”过程伴随着人的成长，到青春期时达到峰值，并逐渐稳定。

（神经所于翔实验室供图）



神经元的完整形态

神经元的“触手”可以伸得非常远，甚至可以跨过几个脑区。可到底能够跨多远？以前由于技术手段的限制，科学家无法为神经元细胞勾勒一幅“全身像”。近年来，利用一种全新的精准成像技术，我国科学家在单神经元水平解析了胆碱能神经元在全脑定位分布和基底前脑内的精细形态结构。从图上可以看到，几乎每个神经元都能跨多个脑区，仅 50 个神经元的突触就已遍及整个脑区，而大脑中的神经元数目多达千亿，其联结将有多么复杂！

（神经所仇子龙实验室供图）

当人睡觉的时候，也就是大脑处于静息状态时，哪些神经元在工作？它们做了些什么、怎么做的？这些都还是未解之谜，也是神经科学研究中的重大问题。

大脑的可塑性 赋予人类适应环境更多可能性

大脑皮层中，掌管手掌、手指、脸部的脑区面积，远大于主管腿部、手部的面积。同样主管左手手指感觉的脑功能区，弦乐手比非弦乐手的脑区面积要大，学琴越早，相应脑区面积也会更大一些。

得益于脑成像技术，科学家已经可以从宏观上大致了解大脑皮层的功能。比如，我们可以让受试者在机器里躺着，给他看几个字，如果其大脑后方有电活动，即可推测大脑后方掌管视觉功能；给受试者听一段话，大脑出现电活动的区域就是处理听觉信息的地方。

通过这种方法，科学家可以研究证实各种重要功能的关键脑区所在：大脑皮层的前上方脑区掌管运动、感觉、嗅觉；前方脑区管语言；脑区前额叶则掌管更高级的认知功能，包括抉择、计划等。假如大脑皮层出现损伤，比如中风，受损脑区所对应的功能就会受损，甚至丧失。人体的各个部位就这样在大脑中被统一管理、调度起来。

再细化深入下去，会发现更有趣的现象。比如，大脑运动皮层还可划分成更多细分功能：上方是掌管腿部、手部和手指运动的功能区，边上则是掌管脸部、舌部活动的功能区。而且，主管手掌、手指、脸部的脑区面积，远大于主管腿部、手部的脑区面积。要知道，人类文明就是靠双手创造的，制造工具、狩猎、采摘、写字等都需要双手的精细配合。而人类社会的联接与组成，离不开个体之间的情绪交流和表达，而丰富的面部表情是主要手段之一。因此，大脑就分配了更多区域给这些“重要部门”。

更有趣的是，大脑是具有可塑性的。同样是手，脑功能成像显示，在主管左手手指感觉的脑功能区中，弦乐手比非弦乐手的脑区面积要大，而且学琴时间越早，相应脑区面积也会更大一些。可以想象，现在孩子们掌管拇指的脑区一定比其父辈、祖辈的相应脑区面积要大，因为手机的使用也会塑造脑区。

大脑的记忆形成 “神奇剪刀”修剪树突棘

人类幼儿期是大脑开发非常关键的阶段，一旦错过就无法弥补。关键期之后，人类大脑的神经网络只有非常有限的“修剪”和“增生”，不会再有大规模的生长。

很多人都有这样的经历：听到祖母的声音、看到祖母织的毛衣，甚至闻到祖母的味道，都会想起祖母，并且记

忆中与祖母有关的信息会被快速提取出来。

加拿大心理学家赫伯曾提出过一个观点：如果两个神经元之间进行同步的电活动可造成突触加强或稳固，而不同步电活动可造成突触削弱或消失，那么人类的记忆就可能通过各种活动得到改变。

上世纪七八十年代，科学实验已经证明了这一点。

原来，连接各个神经元的“信使”——突触和树突棘，还有自己的“小心思”：当某两个“信使”来往密切时，它们之间的联系就会加强，突触甚至会改变自己的结构，长出新的树突棘或者把原有的树突棘变大，以此来提升二者之间信息流动的效率；反之，那些不常联络的树突棘则会被“修剪”掉。长此以往，就形成了突触的“长期强化”和“长期弱化”现象。

所以，在祖母记忆的形成过程中，祖母的面孔、祖母唱的歌、祖母说的故事等信息被不同的神经网络储藏在视觉、听觉等各个脑区的大群突触之中。哪怕这些神经网络相隔距离很远，也可以通过同步放电，在脑中形成环路连接。每当我们回忆祖母时，它们就会启动已被“长期强化”的联接，引起整个相关神经网络集群的集体大行动，有关祖母的记忆就这样被提取出来了。

通过进一步研究，科学家发现，人类大脑神经网络的形成，是在出生后的几年内完成的。这与猴子等灵长类动物不同，猴子往往一出生就自带已成型的神经网络系统。人类的神经网络系统不仅发育延迟，还伴随着对突触和树突棘的“修剪”和“增生”。整个“修剪”过程伴随着人的成长，到青春期时达到稳定态，形成各不相同的神经网络。由于基因异常，网络在发育过程中如果“修剪”不够会导致自闭症，“修剪”过分会造成精神分裂症。

因此，幼儿期是人类大脑开发非常关键的阶段。不同脑区和功能神经网络的形成有不同的关键期，一旦错过就无法弥补——关键期之后，人类大脑的神经网络只有非常有限的“修剪”和“增生”，不会再有大规模的生长了。

比如，人类视觉系统的形成关键期为三岁前，语言系统的关键期则在六七岁前。如果孩子没有在幼儿时期患有白内障而没有及时就医，那么三岁之后，孩子哪怕治好了白内障，也将因大脑视觉系统已形成错误的网络而患有永久性弱视。

又比如，如果孩子到了六七岁还不会说话，恐怕一辈子也不会说话了——因为掌管孩子语言的神经网络没能在关键期内建立起来。

成年后，大规模的神经网络连接变化基本只在创伤或病态时才会出现。

现在，我们再来看“是什么决定智商”，你是否有了更深刻的认识？我们认为，基因和环境之间是互为表里的关系。

“水桶理论”应该这样表述：基因是水龙头，后天环境才是引出智商之水的水管——水龙头不开，水管里不会有水；没有水管，水也无法引入水桶。如果用建筑来打比方，基因是建筑的基本材料，环境则是建筑设计师——除非有致病基因，每个人拥有的材料基本上没什么差别，可由于设计师不同，最后盖出来的房子就会千差万别。

（作者系中国科学院院士、中科院脑智卓越创新中心主任，本文根据作者在 2019 年上海松江脑科学科普夏令营上的演讲内容整理）