全民科学素质行动
科学教育专栏

[脑科学与科学教育]

人脑是怎样建构长时记忆的

文_韦　钰



韦钰，电子学专家，教育家，中国工程院院士，中国少数民族教育学会理事长，国家教育咨询委员会委员。曾任教育部副部长、中国科协副主席。

我们强调，脑本质上是化学的信息处理系统。突触间隙中发生的电—化学—电的信息转变过程，是人脑和物理器件组成的计算机本质的区别所在。在这里，介绍发生在突触处有关记忆的过程，以加深大家对人脑信息处理系统特点的认识。

我们常常只是短时间内记住了有些事件和人物，事情过去就忘了。例如像会议上新遇见的人的名字、新拨出的电话号码等。而对有些事件和人物会长期记住，例如，你亲近的人的名字、经常使用的电话号码、常用的外文语句和数学公式等。这些长时记忆是我们学习的基础。

在 20 世纪 50—60 年代的认知科学研究中，科学家按照记忆的时间长短对记忆进行分类，将记忆分成感觉记忆、短时记忆和长时记忆。

感觉记忆保留的时间为毫秒到秒级，主要包括视觉图像记忆、声音记忆和触觉记忆几个部分。视觉记忆可以保持几百毫秒；而声音记忆保留的时间可以长至几秒，甚至达到 20 秒。短时记忆可以保持几秒到几分钟，它的容量大致为 7±2 个单元。例如，你需要临时记住一个陌生的电话号码，以便拨通，一般你能记住的位数是 7±2 位。如果你能把信息“打包”成信息组，你可以记住 7±2 组的信息。长时记忆能保存以天计，或是以年计的信息。

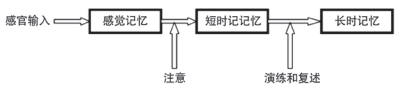


图 1　认知科学中的记忆框架

认知科学家 Atkinson 和 Stiffrin 在 20 世纪 70 年代提出了一个表述这 3 种记忆关系的框架模型 [1]。

这个模型的不足之处是没有考虑信息在脑中处理的过程。实际上，即使是短时记忆，也会在脑中有相应的信息处理过程，处理加工的深度会影响到记忆的质量。同时，短时记忆处理的内容不仅可以直接来自于感觉记忆，也可以从已经存储在脑中的长时记忆里重新提取出来。因而，随着对记忆研究的深入，Allan Baddeley 等提出了工作记忆的模型，以修正和补充上述短时记忆的模型 [1]。工作记忆也是短时记忆，例如，它的存储时间刚好能让你回答与你交谈者的问题。工作记忆模型包括 3 个部分：执行中心以及 2 个从属的感觉记忆的分系统——声音回路与视觉—视觉空间初级处理暂存的画面。执行中心负责控制和协调感觉分系统和长时记忆之间的相互作用。在遇到新的情况时，这个中心也可以起到管理注意系统、调整感觉系统、协调和计划行为的作用。工作记忆的执行部位位于大脑的前额皮层，这个部位神经元的工作状态受神经递质多巴胺和谷氨酸的影响较大，也就是说它和情绪、食物、健康状态，以及药物服用等有关。工作记忆是有限容量的，它的容量随儿童的不同发育阶段而改变，不同人之间也有差异，有的认知科学家用对工作记忆的评测，预示儿童智力的发育和差异。



图 2　工作记忆的框架

认知科学中的这些研究并没有涉及脑中具体发生的生物过程。在研究记忆的历史上，一位匿名叫 H.M. 的病人为神经科学中记忆的研究作了重要的贡献。他因为治疗癫痫病，切除了颞叶内侧皮层中包括海马和海马附近的区域。手术以后，他保留了离手术时 2 ~ 3 年以前的记忆，也保留了其他的智力，但是失去了手术前 2 ~ 3 年的记忆，而且更不幸的是失去了将短时记忆转变成长时记忆的能力，无法再形成可陈述的长时记忆。即使是研究和治疗他长达 40 多年的医生，每次进入他的房间，可以和他正常谈话，但是当医生走出房间再次进入时，他已经不记得上次的情景，不认识医生了，会把医生当作陌生人对待。

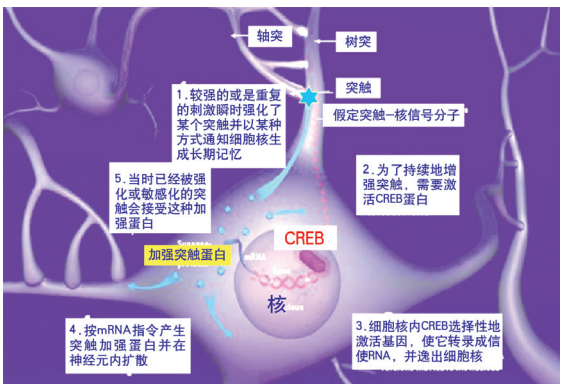


图 3　分子层次上长时记忆形成的过程

神经科学的发展逐渐揭示了长时记忆形成的分子基础。1791 年，Galvanic 用刺激青蛙腿神经和肌肉的方法，揭示了神经元激活的电学性质。1906 年，Cajal 总结出有关神经系统的重要原则—神经系统是由不连续的神经元组成的。1949 年 Hebb 提出了突触学习的模型，这个模型被称为“Hebb 定律”。1973 年，Bliss 和 Lomo 第 1 次阐述了在哺乳动物的脑中存在的长时程增强机制（Long-Term Potentiation，LTP）。这些发现十分重要，它们奠定了在神经生物学分子层次上研究记忆的基础。

科学家发现短时记忆和长时记忆的形成都和突触中发生的变化有关，是由于神经元之间突触连接的强度增加了。由于来自外部或内部的刺激，产生的电信号沿轴突传递到突触处，激励位于突触前的含有神经递质的小胞体，使它们释放出神经递质。神经递质经过突触的间隙，和位于突触后膜上的受体分子结合，使突出后的神经元被激活，从而该突触连接的强度被瞬间加强了，或是对后续信号的灵敏度被瞬间提高了，这时短时记忆就形成了。

如果刺激强度大，或是刺激的重复次数增加，会启动位于细胞核中的转录因子 CREB。CREB 是一种特殊的蛋白分子，在短时记忆转变成长时记忆中起到了关键的作用。CREB 一旦被激活，就会启动细胞核中相应的基因，启动基因的转录和表达过程，以产生出新的蛋白。这些新产生的加固突触的蛋白，会从包围神经元核的细胞膜中溢出，在神经元内弥散，自动寻找到应该加固的突触。当突触的蛋白被加固了，这些突触的连接的强化就被固定了，长时记忆就形成了（图 3[2]）。

科学家发现的长时记忆形成的分子机理用实证告诉我们，在我们脑中记忆的内容是建构的。这个建构过程和外界刺激，既和我们的经验有关，也和我们的基因有关，因此记忆过程是因人而异的。和所有的行为一样，记忆也是先天基因和后天经验相互作用、共同决定的。先天基因会影响人的记忆能力，在人之间会有差异，但是后天提供的学习经历也是很重要的。在神经生物学中，学习可以定义为人或动物通过神经系统接受外界环境信息而影响自身行为的过程，学习在脑中分子层次发生的过程是神经元突触处连接的变化。

脑内长时记忆内容的建构过程又是连续的。我们学习新的知识，是在原有的记忆基础上进行的，已经形成的记忆是由突触中的蛋白结构形成的，并不能简单地抹去。功能核磁共振图像也证实了新的记忆不会取代原有的记忆，只是会抑制原有的记忆[3]。因此，我们强调早期儿童科学教育的重要，要尽可能早地帮助儿童建立正确的科学概念，而且这种建构过程需要有一个逐步建构的学习进展过程，需要从儿童原有的概念出发，需要个性化教育，因材施教，才能有效。

学习科学的概念是这样，学习其他的知识和获得其他的能力也是这样。人在出生以前神经元突触之间的联系就开始建构了，而在出生以后的最初几年里，脑的发育很快，突触连接的建构过程十分重要。儿童早期的建构过程是从低级功能到高级功能的连续过程，在这个过程中，对不同的功能会呈现一些不同的建构敏感期，即在这个特定的时期里，儿童某种功能的建构比较有效。儿童生而具有强大的学习能力和好奇心，特别是对他们周围的事物。家庭、学校、同伴社区和文化都是儿童学习的环境。儿童有效地进行学习应该在教师的指导下，在有利的环境和学习共同体中主动地进行。儿童是学习活动的中心。

依靠对脑长期记忆形成分子机理的了解。帮助我们了解和计划如何能让儿童更有效地学习。人的一些基本需要能够满足时，如睡眠、饥饿等，记忆就可以较好地形成。情绪对形成记忆有很大影响，特别是恐惧。人在恐惧的情况下，一些神经元会变得“静寂”，而无法工作，缺乏睡眠、饥饿、恐惧和长期的精神压力会减低儿童学习的效率。感觉记忆有 2 个相对独立的回路，来自听觉和视觉，形成长时记忆时，如何有效地运用这 2 个系统是需要研究的，特别在提高第 2 外语学习的效率方面。

如何用重复学习的方法形成长时记忆，多少次数、间隔时间应该多长等等许多问题还尚待研究。长时记忆的形成和突触处的神经递质有关，特别是其中的多巴胺和谷氨酸有关。现在有些医药公司开始提供一些声称能提高记忆能力的药品，主要就是通过服药，改变突触处的神经递质浓度，达到提高记忆能力的目的。这类措施引发了科学家对科学伦理的激烈讨论——能否允许，长期的影响如何，怎样区分用于治疗和用于提高记忆能力的界限等，都是我们面临的急需解决的难题。

主要参考文献

[1] Michael S Gazzaniga 等著，周晓林、高定国等译，认知神经科学——关于心智的生物学，中国轻工业出版社，2011，ISBN 978-7-5019-7856-4

[2] R. D. Fields, Making Memories Stick, Scientific American, Feb. 2005, pp74 ~ 81

[3] K. N. Dunbar (2009), The Biology of Physics: The Brain Research about Our Understanding of the Physical World. Physics Education Research Conference, edited by M. Sabella, C. Henderson, and Ch. Singh