全民科学素质行动
科学教育专栏

[脑科学与科学教育]

脑的功能回路举例（3）
——恐惧情绪

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。

在中国的佛教词语中，认为人有“七情六欲”。“七情”指人一般具有 7 种感情：喜、怒、哀、惧、爱、恶和欲；“六欲”原指人对异性所具有的 6 种欲望。而今，人们常用“七情六欲”泛指人具有的情绪和欲望。

美国心理学家艾克曼（Paul Ekman）从 20 世纪 50 年代就开始研究跨文化环境中不同人种的情绪行为，特别是情绪的面部表情。经过数 10 年的实证研究，他指出，人类有 7 种情绪的面部表情是跨文化和种族差异而相同的。这 7 种情绪是恐惧、快乐、悲伤、厌恶、愤怒、惊讶和轻蔑。在这 7 种基本情绪中，有许多是动物也具有的情绪，其中，恐惧是人和许多动物共同具有的、最为普遍的情绪 [1]。

恐惧是遇到现实的和急迫的威胁时，受交感神经系统迫使，人和动物感到需要采取某项行动，而这种行动在现实中又不可能实行时，产生的一种强烈的、紧张的情绪体验。恐惧是各种动物为了有利于延续种族的生存而保留下来的重要本能。人和动物检测到危险逼近时，会立即产生相应的反应，启动一系列的防卫行为，以提高个体的生存概率。对人来说，仅在思想上存在有可能遇到危险的想法时，也会产生恐惧情绪。

脑中对恐惧刺激处理的主要部位是杏仁体，或称杏仁核团，它们位于脑颞叶部位的前部偏下处，和海马邻近（大致的位置可参见上一期关于记忆回路的介绍），位于人类在进化过程中保留下来的边缘系统中，是边缘系统的一个主要组成部分。杏仁体是一个复杂的核群，主要的核团有 12 个，包括有侧核、基核、副基核、内核和中核。这些核本身也是许多不同分区的组合体，而且内部有许多相互的连接。图 1 中给出杏仁体主要核团之间的连接示意图 [2]。侧核、基核和副基核接受来自感知皮层的信息。其中侧核是杏仁体和丘脑连接的重要界面；而中核和内核接收来自内部核团的信息，中核是杏仁体连接脑干、副交感神经系统、交感系统等输出情绪反应的主要界面。

在恐惧经典的条件反射行为方面，人类与老鼠等动物比较相似。科学家对动物恐惧条件下的反射行为和杏仁体的关系，以及脑中杏仁体的工作回路，进行过长期深入的研究，包括活体情况下的行为研究和解剖学的研究。这些研究，可以为我们提供有关杏仁体处理恐惧信息和产生情绪反应的神经回路，以及它们的工作情况。勒多克斯（Joseph Ledoux）在大鼠身上进行条件反射试验，确定的恐惧处理回路如图 2 所示 [3]。

外部刺激到来时，信息分两条通路达杏仁体。一条是直接的快速通道，从刺激源，经过丘脑，直接输入到杏仁体的侧核；另一条是从丘脑经过皮层，再输入杏仁体侧核。这两路信息不仅都输入到杏仁体的侧核，而且在动物实验中，还发现两个通道汇聚到位于侧核中的同一组神经元。动物需要了解面对目标的不同特征，首先由初级感知皮层对输入信息进行处理，然后由单模联合皮层向杏仁体提供目标的某个表象（a representation）。进而在多模联合皮层中进行更高层次的分析，将目标的表象按某个模式概念

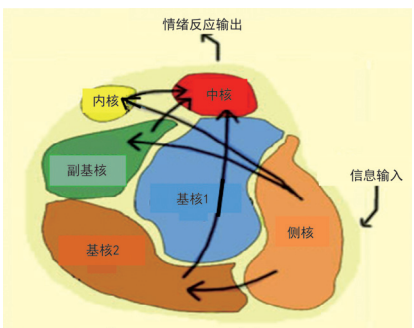

图 1　杏仁体内部核团间的连接通路

化，并传送给杏仁体。这种经过精细加工后的目标表象，与已经存储在海马中的明晰记忆的有关内容汇合，进行比较，也将结果送到杏仁体的侧核。海马和杏仁体紧邻，它们之间有紧密的信息交换。海马还会提供与目标有关的环境信息，以判别是否危险真实地存在，是否急迫，是应该采取反击行动，还是应该逃逸？是否需要进一步驱动杏仁体的中核产生

输出，加快呼吸、增加心跳率和血压，出汗和增加肌肉的力量等。

在脑中，这种刺激信息输入杏仁体的并行神经通道是在进化中形成的。并行神经通道的存在有以下几个优点：

（1）存在着不经过皮层，而直接输入到杏仁体的快速通道，可以让杏仁体快速检测到外部环境中存在的威胁，以便作出快速反应。这是对动物和人保存生命有利的。

（2）可以使杏仁体处于预置状态，以对随之而来的，经皮层处理的信息进行评估和整合。例如说，听到一个很响的吵声，它足够在细胞水平上引起对杏仁体的警告，但是应采取怎么样的动作来对应，还需要听觉皮层来的信息，包括对外来吵声的位置、强度、性质的分析，才能决定如何行动。

（3）刺激信息先通到杏仁体，通过杏仁体到皮层的直接投射，可以影响认知系统。如将人的注意转到集中于外部威胁上。

在杏仁体中，经过侧核处理的信息，进一步通过在杏仁体内部的连接，传至基核和副基核，在那儿和输入到杏仁体的其他信息整合，传至杏仁体的输出界面——中核。从基核和副基核也有投射通路到中核，所以从侧核到中核的通路也是多样的、并行的。从实验中测量到，受外部条件刺激后，不到 15 ms 侧核神经元激活；而中核要在 30 ~ 50 ms 时才激活。这样的时间延迟，说明在杏仁体的输入和输出之间存在重要的信息处理过程。

从中核的输出投射到脑干处，引起身体各部分的应激反应，包括动作、交感系统、副交感系统、激素分泌系统和神经递质分泌系统等，会引起我们僵呆、逃跑、血压升高、应激激素可的松浓度上升等。其中下丘脑—垂体—肾上腺素的通路，常称 HPA 轴，直接影响人的身体状况，特别是对儿童在慢性长期压力下的发育影响很大。

研究中发现，条件刺激会引起在侧核中类似于长程电位的神经元的改变，和类似于产生陈述性记忆海马部位中神经递质的变化，在丘脑到杏仁体的输入通道上会有突触连接的变化。这意味着存在情绪的学习过程和情绪的长时记忆。这些研究结果提示，不同的学习过程是大体相同的，只是发生的回路不同。虽然儿童早期的陈述性记忆并不能保留，但是他们的情绪的长时记忆，已经能够形成，并能保留下来。已经形成的情绪的长时记忆，很难消除，只能被减弱和抑制，当场景重现时，恐惧的情绪很容易被激活而再现[4]。这就是为什么孩子长大以后，一些儿时的不利经历会以无意识的形式干扰成人后的心智和行为。

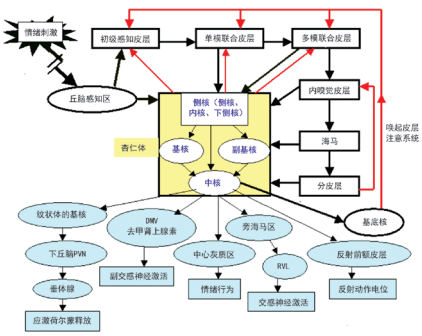

图 2　大鼠脑中的恐惧回路

在 Kagen 和 Fox 对儿童气质的研究中，儿童气质的不同，主要表现在杏仁体对陌生事件的恐惧反应上。遇到同样的情况，不同的儿童杏仁体反应的激烈程度不一样，它引起身体的不同系统，包括 HPA 轴的反应也不一样。儿童气质差异的主要生物基础，是杏仁体反应的差异。这方面的内容我们在介绍早期儿童发展的评论中已多次涉及。

从心理学的观点看，恐惧和焦虑是两种不同的心理状态。 但是它们之间密切相关，可以认为是相同情绪体验的不同程度表现，其对应的神经通路和核心回路也相同，涉及脑中的核心部位都是杏仁体。一般认为，焦虑这种负面的情绪，常常和恐惧（fear）联系在一起。焦虑和恐惧的区别在于：（1）通常恐惧和具体的刺激相联系，发生在刺激到来之后；而焦虑发生在刺激到来之前，在一种对未来预计的情况下存在。（2）恐惧常伴随着放弃和逃避的行动；而焦虑常发生在恐惧无法解决，一种对威胁不知如何对待的状态。

恐惧和焦虑的经历几乎每人都有，而且是人类对有威胁情况的正常反应。但当恐惧和焦虑的程度、存在时间等超出应有的程度，或是出现在不应有的情况下，就成为病症。有焦虑精神障碍的患者在精神障碍患者中是最普遍的，抑郁症和精神分裂症患者，以及有自杀倾向和突发性暴力行为的人，也常伴有深度焦虑症状。所以，弗洛伊德说“毋庸置疑的是，焦虑问题是所有最重要精神问题中的核心问题，它的解决肯定会增进我们对整个心理生活的认识。”

总之，杏仁体是恐惧回路中基本的部位。杏仁体是脑中产生恐惧情绪，以及具有神经可塑性的情绪学习和恐惧记忆的主要部位。它起两方面的作用：它首先决定直接呈现的刺激是否对生物体有威胁性；如果有较大的威胁，杏仁体必须指挥相应的行为反应，有关的自动反应和内分泌反应，以增加在危险中生物体的生存概率。同时，杏仁体和脑中的感知系统、认知系统都有广泛的联系。杏仁体也可以通过投射到不同的激励系统，间接地影响感知觉皮层对信息的处理。长期的应激状态，以及严重的创伤后遗症会对人的健康，特别是儿童发展造成很大的伤害。

该文章获 2011 年度教育部人文社会专项项目（《基础教育阶段技术和设计教育的国际比较研究》项目批准号：11JDGC026）支持。

参考文献

[1] Paul Ekmam，Emotions Revealed， 2003 ISBN0—8050—7516—X

[2] 图译自 http://thebrain.mcgill.ca

[3] Joseph Ledoux， Chapter 7 Cognitive?Emotional Interactions：Listen to the Brain，Cognitive Neuroscience of Emotion Edited by Richard D. Lane and Lynn Nadel，2000，ISBN 0—19—511888—X

[4] Pankaj Sah，R. Frederick Westbrook，Behavioural neuroscience： he circuit of fear，Nature 454，589—590 (31 July 2008)