



全民科学素质行动
科学教育专栏

[脑科学与科学教育]

青少年时期的脑与行为 (2)

文_韦钰

韦钰，电子学专家，教育家，中国工程院院士，儿童发展与学习科学教育部重点实验室学术委员会主任，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。



(续上期) 脑中各个区域和回路之间连通性增加，因此，使得人的学习能力迅速增强。这是发生在青春期中第2个方面的主要变化。

连通性 (Connectivity) 在神经科学上有几层含义。在解剖学层次上，连通性增加意味着在脑的不同区域之间物理连接增强，使这些区域具有相同的发展轨迹；在脑功能的层次上，连通性描述了脑中不同部分的关系，这些不同的分区在执行某一任务时，同时被激活；在基因层次上，连通性代表被同样的基因和环境因素影响的不同区域。在青少年时期，上述3类连通性都会增加。由于连接不同区域轴突的发育和伸长，以及轴突的髓鞘化，使得不同神经元和回路之间的连接效益增加。脑中不同区域和功能回路的连接变得更广泛和更有效。因之，人的认知能力和学习能力明显提高，青少年像海绵那样能大量吸收知识，并增长才干。

髓鞘化在出生前已经开始。出生以后，从儿童期到青少年时期都在增长，女性增长持续到40多岁，男性增长到30多岁，甚至更晚。由于轴突的髓鞘化，使得神经元中沿轴突传输的电脉冲

传输速度加快。髓鞘化以后，要比没有髓鞘化时，传输速度快100倍以上。而且，通过降低神经元激活后的恢复时间，加速了脑的信息处理过程，神经元传送信息的重复频率可以增加30倍。传输时间的加快和神经元激活后恢复时间的降低，二者共同作用，如果做个比喻的话，大致相当于将计算机的带宽增加了3000倍。

最近的研究指出，髓鞘化过程有更重要的作用，它会增加神经元同步激发的可能，即增加了学习的效率。1个神经元可以整合来自其他神经元的信息，包括激励型的输入和抑制型的输入。如果激励型的输入超过了一定的阈值，该接收信号的神经元将会被激励，并启动一系列有关的分子过程，使相应的突触结构产生变化。诺贝尔奖获得者 Donald Hebb 对此过程作了描述，就是通常所说的 H-H 方程。他指出，神经元被同时激励时，相互之间就产生连接，“cells that fire together wire together”，这是形成学习过程的基础。为了让来自较近的神经元和有一定距离远处的神经元信号在时间上能同时形成激励信号，相互之间的通讯在时间上必

须很精确。髓鞘化的过程就和这种时间上实现精确协调联系在一起。这种神经元之间连接的精确化，构成了脑中思维和意识的编码基础。在青少年时期，髓鞘化的动态进展反应了有多少新的连接正在形成。许多认知的进展是源于脑回路之间通讯的增强和脑活性的整合。这种情况可以用语言来做个比方。在英语中，不需要增加字母，还是26个英文字母，但是可以用这有限的已经存在的字母，生成更多的文字、语句和文章。

从另一面看，髓鞘化的过程也关闭着另一扇窗——脑可塑性，会抑制轴突新分支的产生和新突触的形成。所以，髓鞘化的过程使得脑中的回路运转更快了，优化了，但是同时脑的可塑性也降低了。

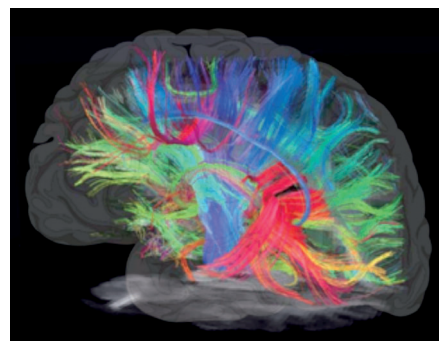


图1 连接皮层和边缘系统白质的弥散张量成像图^[1]

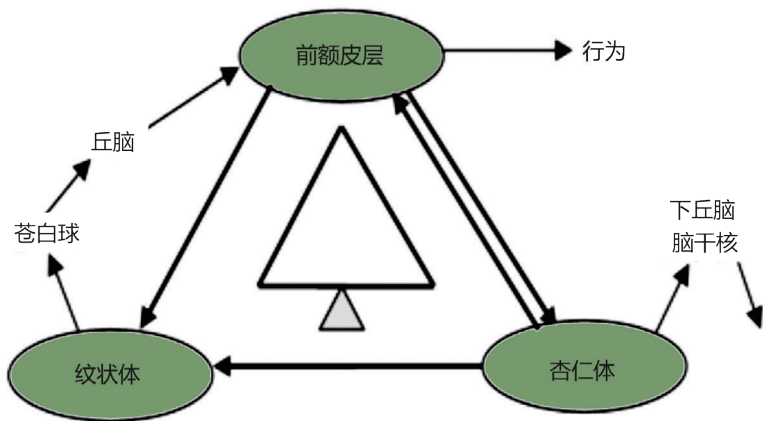


图2 决策的三节点模型

用核磁共振图像可以研究和显示脑的白质结构——轴突髓鞘化的过程。近年来出现了一些新的脑成像技术，如弥散张量成像（DTI，Diffusion Tensor Imaging）和磁化传递成像（MT，Magnetization Transfer）。它们是核磁共振成像的特殊形式，提供了描述大脑结构的新方法。用这些新的图像技术，可以显示轴突的生长方向和白质的微结构，显示髓鞘化的进程；可以分析和比较在任务激活下，不同脑区之间的通讯情况，以预测诸如记忆和承受同伴压力的抗激能力等。这些新的成像技术，比单纯地测量脑中新陈代谢能力的功能核磁成像来说，能提供更多的有用信息。新的成像技术再次确认了青

少年时期白质发展很快，特别在语言区，以及阻止冲动和增加记忆的前额叶区域。

现在已经有了专门的跨国联合研究网络，形成了统一的数据库，大家可以在网上查阅和使用。图1中给出一个实例，显示的是连接皮层和边缘系统白质的弥散张量成像图。图中显示了连接不同区域的轴突的三维走向。

青少年时期在脑中发生的第3方面变化是改变了前额叶和边缘系统间的平衡。青少年遇到问题需要决断时，容易冲动，容易看到短期利益而不顾后果，容易受到同伴和环境的影响。

在脑的发育过程中，边缘系统较早发育成熟，它们是情绪系统和程序性记忆的核心区域，而控制它们的前额皮层则发育成熟得晚。由前额叶环路协调的执行功能影响着很多的行为和能力，包括注意、反应抑制、情绪调节、计划、决策和制订长期计划等，这部分要到20多岁才会发育到成年人的水平。从儿童时期发育到成人的时间段里，前额皮层增加的比例要比纹状体或是其他边缘系统的增加要大。正如在前一篇评论中图2（——见本刊2014年第8期第73页）所给出的，对37个7~29岁的青少年研究对象的功能核磁共振成像的跟踪研究显

示，在核聚体中对奖赏的反应（即对快乐的寻求）已经发育到了成年的水平，但是他们前额皮层的激活区域还处于从儿童的状况向成熟过渡，在逐渐发育的过程中。所以，前额皮层和边缘系统之间平衡关系的动态变化，是青春期脑发展的重要特征，因为，这2个区域回路之间平衡的变化，直接影响决策的变化。

美国国家健康研究院的科学家埃斯特和哈丁提出了1个简化的模型来解释这种决策变化的特点^[2]。他们首先把决策过程简化为3个基本的过程。认为当人遇到某个情景，需要采取决策时，可以看成由3个基本的过程来决定：①想要采取趋近的行动；②想要执行回避的行动；③对上述2种选择进行权衡与协调。在表1中，给出了对应上述3个过程的脑回路、涉及的主要核心脑区，以及它们的解剖结构和主要功能。

包含回避行为、趋近行为，以及对这两极行为进行认知调控的3方面过程，构成了三节点模型的主体。在图2中，给出三节点决策模型的框架示意图。趋近行为和回避行为的概念，已经被许多心理学研究用于描述个体的性格特征，或是行为反应的类型。人的动机驱动的行为显示为2类主要的表现：趋近某种刺激或回避某种刺激，这是使用这种模型的主要依据。趋近刺激和奖赏的后果（欲望、正面价值）相联系；而回避刺激和惩罚的后果（厌恶、负面价值）相联系。在这里提出的三节点模型中，增加了第3个系统——认知控制系统，主要位于前额皮层，它用以调控和平衡回避和趋近2个行为系统。对每个人来说，这种调控和平衡都具有独特性，而且是不断在发展之中的。（待续）

表1 3个回路核心节点的解剖和功能特点

杏仁体	纹状体	内侧前额叶皮层
解剖结构		
基核	尾核	额极
侧核	壳核	眶前额皮层
中心核	苍白球	前扣带回
	核聚体	辅助运动区
主要功能		
注意的取向	动作响应	自我评测
回避威胁	习惯	冲突监测
当下情感评价	动机	行动规划
条件型奖赏处理	条件型奖赏处理	条件性的情感评价
主要作用		
回避	趋近	协调

主要参考文献

[1] www.brainmapping.org
[2] Monique Ernst and Michael Hardin, Chapter 9 Neurodevelopment Underlying Adolescent Behavior, A Neurobiological Model, in book <Developmental social cognitive neuroscience >/ editors, Philip David Zelazo, Michael Chandler, Eveline Crone, 2010 ISBN 978-1-84169-767-3