全民科学素质行动
科学教育专栏

[脑科学与科学教育]

脑的基本信息处理过程

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。

人的神经系统可以分成中枢神经系统和周围神经系统两大类。中枢神经系统与身体所有部分的周围神经系统都有连接。在中枢神经系统中，包括端脑（含大脑和基底节）、间脑（包括丘脑和下丘脑）、中脑、桥脑、延脑、小脑和脊髓。人的大脑是中枢神经系统中最重要的组成部分，所以，在一般的用语中，经常把大脑和脑两个词混用。

人的精神活动都有发生在脑中的生物过程相伴，这种生物过程发生在从基因到系统的不同层次上。神经组织由神经细胞和支撑着神经细胞的胶质细胞组成。神经细胞相互连接组成不同的回路；回路进一步连接成皮层中的通路或隐藏在皮层下的神经核团；最后，通路与核团共同连接成大小不同、复杂程度不同层次的系统。在这些信息处理系统中，最基本的工作单元是细胞。虽然近期的研究表明，神经细胞和胶质细胞都参与了信息处理过程。但是在信息处理上，神经细胞（通常也称其为神经元）起到的作用是主要的，胶质细胞主要起到支撑和支持神经细胞运作的作用。人脑中的神经细胞总数有近千亿个（约 860 亿）之多，和银河系里的星星数一样多，胶质细胞的数目较神经元还要多出 10 ~ 15 倍。

在受孕的最初几周里，脑的雏形神经管的发育就开始了。在最初的 5 个月里，每分钟要形成 50 万个神经元，神经元的生成大体在出生前就基本完成了。以前科学家认为：人在出生时神经元的生成就完成了，出生后不会有新的神经元产生，但是最新的研究发现，在脑的某些部位，如负责生成陈述性长期记忆的海马区，以及嗅觉皮层区域，出生以后还会有新的神经元产生。

神经元就像许多生物一样，在竞争中生长，它们之间的连接不断在进化，强的、作用大的就保留和增多了，弱的、没那么有用的就被剪除了。在脑里，它们像是活着的小精灵，或是像梦幻式飞翔着的蝴蝶，一刻不停地在活动和变化，消耗着我们身体能量的 25%。

神经元的类型和形状不同，但都包含有胞体（cell body）、轴突和树突 3 个部分（图 1）。我们可以用我们的手来比喻一个神经元：手掌就像神经元的胞体，其中包含细胞核，与其他的细胞相似，在细胞核中包含着可以制造蛋白质的基因 DNA。手臂就像神经元的轴突（axon），它是神经元从胞体将信号输出的通道。一个神经元只有一根轴突，一根可长可短的神经纤维，长时可以达近 1 米，甚至更长。在脑的发育过程中，轴突的外面将逐渐被胶质细胞所包裹，我们称这个过程为髓鞘化。髓鞘化会起到加快在轴突中电信号传输的作用。髓鞘化以后的轴突呈现白色，常称它为白质。

我们的手指像接收送入神经元信号的天线，它们在胞体附近分叉，称为树突（dendrites）。一个神经元可以有上百条，甚至上千条接收信号的“手指”。一个神经元的树突和其他神经元的轴突或胞体之间会形成许多不同形状的凸起，称它为棘（spin）。在棘处形成神经元之间接续点，我们称它为突触（synapses）。一个神经元可以具有数千个突触。在小脑中，一个神经元可以具有多达 10 万个突触。所以脑中的突触数至少有 150 万亿个。突触处形成的不是直接的连接，而是间断的，有一个十分微小的间歇，化学突触这个间歇大约在 20 ~ 40 纳米，电突触的间隙在 1 ~ 4 纳米。神经元除轴突的部分外，常呈现的颜色为棕色，我们称其为灰质 [2]。

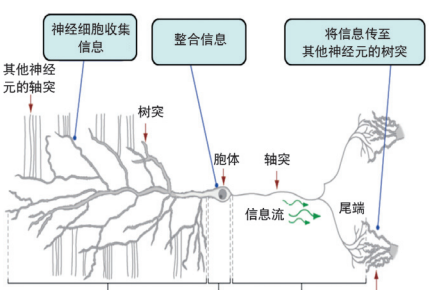


图 1　神经元的结构和信息传递（译自 MIT 公开课 [1]）

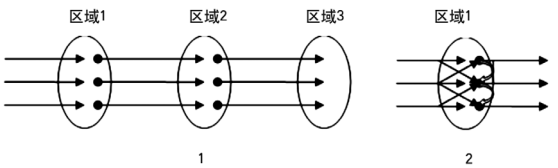


图 2　神经元按回路分类　（1）投射神经元　（2）互作用神经元

按在回路中的作用分，神经元可以分成投射神经元和互作用神经元，后者又称局域回路神经元（图 2）。投射神经元一般是激励型的，即上一个神经元会激励下一个神经元，让信号依次传递下去。投射神经元轴突较长，可以延伸到神经元胞体所在的区域之外，激励下一个同层的投射神经元。投射神经元在没受到上一个投射神经元的激励时，可以静寂待命。局域回路神经元轴突较短，经常是连接到相近的投射神经元，通过控制投射神经元的被激活的阈值，控制沿投射神经元通路上的信息流。局域回路神经元几乎不停地作用，起到重要的平衡作用。

在受到来自外部或是内部的激励时，神经元从树突或胞体接收信号，在胞体处会整合这些信号，产生出新的电信号。新产生的电信号由轴突传出，经过轴突和下一个神经元之间形成的突触继续进行传递。在轴突和树突之间形成的突触被称为类型 1 突触，他们常常是激励型突触，也就是说，会增强后续神经元的激活强度；而在轴突和胞体之间形成的突触称为类型 2 突触，它们经常是抑制型突触。在神经元轴突和树突上传输的是单向的电信号。所传递的电信号的幅度不变，只有频率的变化。受到的刺激不同时，改变的只是电信号的频率，刺激越强，电信号的频率越高。

沿着轴突传递的电信号到达突触的间隙时，在轴突和与它对应的后一个树突的突触分子后膜之间，依靠化学分子进行信号传递，这些化学分子我们称它们为神经递质。突触间隙里发生的过程十分复杂，电信号将激励突触前的膜，使其中包含在小胞体内的化学分子释放出来，这个过程把电信息转换成了化学信息。释放出来的化学分子在突触的间隙中会产生许多相互作用，一部分重新被吸纳回原来突触前的膜，一部分扩散至突触后的膜，被位于膜上的同类神经递质的化学分子（受体）接收，重新在下一个神经元中激励出电信号，完成从化学信息到电信号的转化。重新激励出来的电信号经下一神经元继续传递（图 3）。有时，这个化学过程也可能反向进行，即由突触后分子释放化学分子，由突触前分子吸收。

参与突触间隙中化学过程的经典小分子化合物——神经递质有 10 多种，还有一些神经肽参与突触传递，被称为神经调制物质或神经调质，总数已超过 60 多种，并且还在被不断地发现。在神经科学发展的过程中，曾经以为一个突触中只有一种神经递质在起作用，因而把神经元按其工作的递质命名，例如称为多巴胺（dopamine）神经元、血清素（serotonin）或称 5－HT 神经元、γ 氨基酸（gamma-amino butyric acid）或称 GABA 神经元等。后来发现每一个突触间隙中常常不是只含有一种神经递质，相反地，绝大多数突触间隙中有多种神经递质在起作用。但是，尽管有多种神经递质参与作用，它们都属于化学结构上同一类的递质，所以按神经递质命名的分类法，至今仍然被普遍使用。

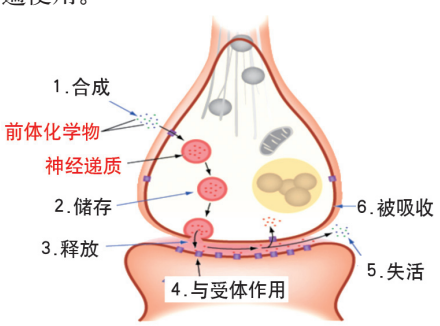


图 3　突触中发生的化学过程（译自 MIT 的公开课 [1]）

下述几种是脑中最主要的神经递质 [3]：乙烯胆碱是最早发现的神经递质，存在于神经元和肌肉细胞之间，主要作用是传递动作的意愿，与皮层中的神经可塑性及注意行为也有关。多巴胺常被称为“快乐分子”，在广泛地参与人的行为和认知过程，包括在动机、决策、运动、奖赏回路、注意、工作记忆和学习中，也在一些神经精神疾病如成瘾、精神分裂症、帕金森病中起到重要作用。谷氨酸是皮层中最广泛存在的激励型神经递质，在记忆和学习中起作用，但是，脑中存在过多的谷氨酸会导致神经元因疾病而凋亡。5－HT 被称为“镇静的化学分子”，它最著名的作用是可以调节心情，缺乏 5－HT 可以导致抑郁症和相类似的神经疾病，近期也发现它与食欲、睡眠、记忆和决策行为有关。去甲肾上腺素既是激素又是神经递质，它与心情、警觉、激励、以及记忆和应激状态有关，近期也发现它与应激后遗症和帕金森病有关。GABA 是最广泛存在的抑制型神经递质，与谷氨酸的作用相反，它与自杀等疾病的发病有关，也会在脑的发育中起到作用。

突触间化学过程的存在使人脑神经网络变得异常复杂和强大。在突触的间歇之中充满着不同的化学分子，就像不同的控制开关，它们各自起着不同的控制突触处信号传递的作用。脑的正常工作需要在突触间隙中存在的神经递质，在一定的时间进程中保持一定的合适浓度。因为是在溶液中的化学开关，控制多少突触和控制的强度和类型都千变万化。所以，我们脑中神经元形成的是一个最复杂的、不连续的、具有高度可塑性的生化网络。把人脑比拟成用物理器件搭造的计算机，忽略了人脑处理系统是一个生化系统这样一个本质性的问题，因而是一个很不恰当的比拟。

主要参考资料

[1] MIT 公开课：Learning and Memory
[2] Dana Foundation，The Synapse—A primer
[3] Dana Foundation，Neurotransmitters—A Primer