

国际著名脑科学家

〔日〕池谷裕二 著



海马 记忆法

从根本入手，快速增强记忆力

日本连续五年销量第一的记忆书

为什么做了那么多记忆训练，记忆力还是没有提高？因为方法没有触及大脑记忆的本质。

为什么池谷裕二的海马记忆法有效？最新脑科学研究证实，人是通过海马体记忆的，通过针对性的锻炼，能促进海马体的活性，就可以从根本上增强记忆力。海马活化训练体系是著名脑科学家池谷裕二多年研究成果的精华。

感谢

爱书网 www.ilovebook.cn

提供图书模板

前 言

我想现在读这本书的读者应该都是多多少少对“脑”感兴趣的人吧。对我们这些站在世界最前端、从事脑科学研究的学者来说，脑仍然是一个非常奇妙的物体。为什么这个如此小的物体能够思考、烦恼和想象，发挥丰富多彩的机能呢？坦率地说，关于脑机能现在仍有很多方面无法解释。这么说来，脑可以称得上是人体之中最复杂和深奥的部分了。

头盖骨这个坚实的容器将脑包容其中，将其与外面的世界完全隔绝开来，这是人体其他部分所没有的独特结构。此外，脑的重量仅占人体重量的 2%，但是氧以及葡萄糖等能源的消耗却占全身的 20%～25%。因此，脑对生命来说是至关重要的、十分特殊的部分。脑的复杂机能是由脑所包含的约 1000 亿个神经细胞发挥出来的。虽然 1000 亿说

起来轻松，但实际去想象的话却是非常困难。比如说，现在世界总人口已经超过 60 亿，但是就算将地球上的所有人都加在一起，也远远不及一个人的脑所包含的神经细胞的数量。

更重要的是，一个一个的神经细胞是相互紧密联系在一起的。就如同计算机复杂的电路一样，脑是通过神经细胞所构成的精密的神经线路来发挥机能的。神经线路中神经细胞之间的连接点称做突触。据说人脑中突触的数量可达 1000 兆个。平均来说，1 个神经细胞要同 1 万个神经细胞连接，组成神经线路。虽然人类社会也是通过人与人之间的相互联系而形成的，但没有人每天能够与 1 万个人取得联系。此外，令人吃惊的是，各个神经细胞在一分钟内要彼此 进行数百次到数万次的联系。我们经常会听到“世界如此广阔”的感慨，但是我却更加深切地体会到“脑的世界更加宽广”。脑的确是一个能够称得上“小宇宙”的稠密空间。

现在，科学技术日新月异，渐渐地，人们已经能够解释脑的一部分神秘垫能了。我写本书的目的

就是要和大家一起来探讨一下，能够记忆：学习的脑的机能中更加高深和费解的问题。记忆是如何储存在脑中的？记忆力究竟是什么？采取什么方法可以增强记忆力？我们一边思考这样的问题，一边探究现代脑科学的极限。

如果明白了记忆机制，并能够控制记忆力的话，我们大概就能够轻松应付学校的考试了。如果能够掌握更多的知识的话，或许就能过上更加丰富多彩的生活了。但仅仅知道这些还不够，对记忆的研究是那些已经成为社会问题的阿尔兹海默氏症等痴呆病症得以治疗和预防的重要突破¹²¹。脑科学家们坚信这一梦想一定能实现，日日夜夜都在对记忆进行研究。现代脑科学已经掌握了增强记忆力的线索。本书会从科研最前沿对脑科学的成果进行直接报道。

当然，我们脑科学研究者希望能够尽快地将当前脑研究的最新成果介绍给大家，但还是暂且平缓一下这种心情。本书首先要介绍的是脑科学的基本概念和记忆机制，然后再谈一下有关海马和LTP(Long Term Potentiation 长时程增强)现象的

最新话题，并以此为中心来展开如何在现实中增强记忆力的话题。不顾一切地拼命学习对脑没有任何益处，脑本身就有高效的学习方法。如果能够理解脑的结构，自然也就能了解提高脑学习和记忆的效率的方法。脑的机能是非常深奥的，如果我在这里能够多多少少地将其本质传达给大家的话，就深感荣幸了。

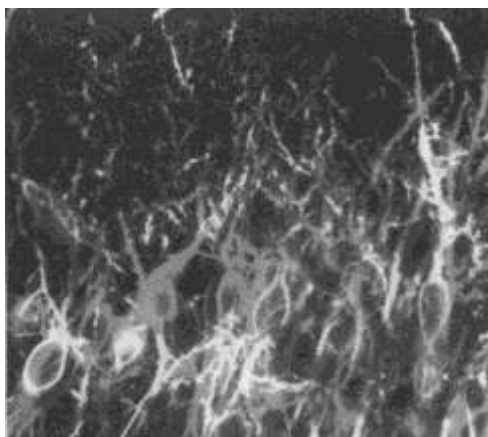
目 录

- 第一章 从脑科学看记忆
- 第二章 记忆的司令部——海马
- 第三章 人脑和电脑哪个更优秀
- 第四章 可塑性——脑能够记忆
- 第五章 脑的存储单元——LTP
- 第六章 科学锤炼记忆力
- 第七章 增强记忆力的灵丹妙药
- 第八章 脑学科的未来
- 结束语

第一章 从脑科学看记忆

在道路纵横交错的城市中，出租车司机能够轻松地选择出最合适的路线，他们的记忆力着实令人敬佩，他们与我们的脑究竟有什么不同呢？

科学家通过研究发现，由于不断地锻炼头脑，出租车司机脑神经细胞的数据增加了 20%，脑的体积膨大了 3%。那么，在什么样的环境中，记忆力才能够得到提高？怎样来保护我们的神经细胞，才能避免宝贵的记忆力受到伤害呢？



海马的神经细胞

1 出租车司机的记忆力

我非常喜欢东京商业区池袋夜晚的街景。行色匆匆、赶路回家的公司职员，毫无顾忌地穿越十字路口、嬉笑打闹、充满活力的年轻学生，店门口悬挂着红色灯笼的酒馆，装潢考究的咖啡馆，灯火通明的快餐店，这些各种各样的事物巧妙、均衡地共存着。

那天，我与朋友在池袋举杯畅饮，畅谈着各种有趣的话题，尽情享受休闲时光，我们似乎已经将白日的喧嚣统统抛在了脑后。但快乐的时光很快就过去了，等我们回过神的时候，已经错过了末班车。

从池袋步行回家的话，路程比较远，这个时候只能坐出租车了。今天运气也不错，很快就叫到了一辆出租车。车停在了我的面前，我一头钻了进去。出租车司机很礼貌地对着略带醉意的我问道：“您要

去哪里？”他对待客人的态度非常老练，给人一种经验丰富的感觉。出租车平稳地行驶着，将我所钟爱的池袋大街的灯火甩在了身后。



记性很好的出租车司机

坐车回家大概需要 20 分钟，我像往常一样透过车窗出神地望着外面的景色。但是每次坐车，东京那一成不变、四处延伸的复杂的道路网就会不由自主地扰乱我的脑子。现在，车究竟是在哪个地带

哪条道路上行驶着呢？哪边是北，哪边是南呢？下一个十字路口应该往右拐还是往左拐呢？这时的我就像一只被汽车带到了•个陌生地带的狗，虽然目不转睛地盯着眼前流动的景色，但始终不清楚出租车所行驶的路线。于是我又陷入了一种自怨自艾的情绪之中，为自己的记忆力而哀叹。

但是，出租车司机为什么能够准确地推断出自己应该行驶的路线呢？我刚坐上车，出租车就朝着目的地出发了。大概就在那一瞬间，司机的脑中就已经勾画出了一个路线图，决定要走哪条道路，从什么地方拐弯，等等。纵横交错的东京路线图中的每一个细小的地点一定都尽在他的脑中。

除了地图，经验也是非常重要的。比如，周末的时候，回 5 个交叉路口会施工，必须在前一个路口 E1 转弯；在什么时候穿过这条路，就不会遇到红灯等，这些长年累积下来的知识和经验成了非常宝贵的线索。当然，这些知识和经验是作为记忆存储在脑中的，出租车司机就是凭借着自己所存储的记忆进行思考，并作出相应的判断。。

也就是说，司机可以在瞬间运用自己头脑中的地图和经验，进行最先进的电脑也做不到的复杂思考，从而正确、灵活地推断出到达目的地的路线。这让我不由地想：“脑真的是不可思议啊。”与此同时，也进一步激发了我的想象：“脑的机能究竟是怎样巧妙地运作的呢？出租车司机是如何掌握普通人无论如何也无法记忆的、复杂的路线图的呢？”

2 神经细胞进行想象的脑

人体是由无数细胞构成的。脑也不例外，它是一个细胞的集合体。现在看来这是理所当然的事情，但这一事实却是大约 100 年前才被人们承认的。很早以前，人们头脑中就有这样的概念——生物是细胞的集合体，但是脑例外，它具有有一种神秘性。当时很多的研究人员都认为，脑不可思议的能力是无法用科学理论阐明的。此外，也有不少人站在宗教

的立场上，认为将科学的手术刀伸进人们敬畏的脑这一神圣领域是一种禁忌。

在这样的潮流之下，意大利的解剖学者卡米洛·戈尔季以及西班牙的生物组织学者桑地牙哥·拉蒙·卡哈尔开始对脑的结构进行研究，发现在人脑中神经细胞具有复杂、精巧的结构。这两位学者奠定了近代神经学的基础，他们的光辉业绩也得到了世人认可，于 1906 年同时被授予了诺贝尔医学·生理学奖。

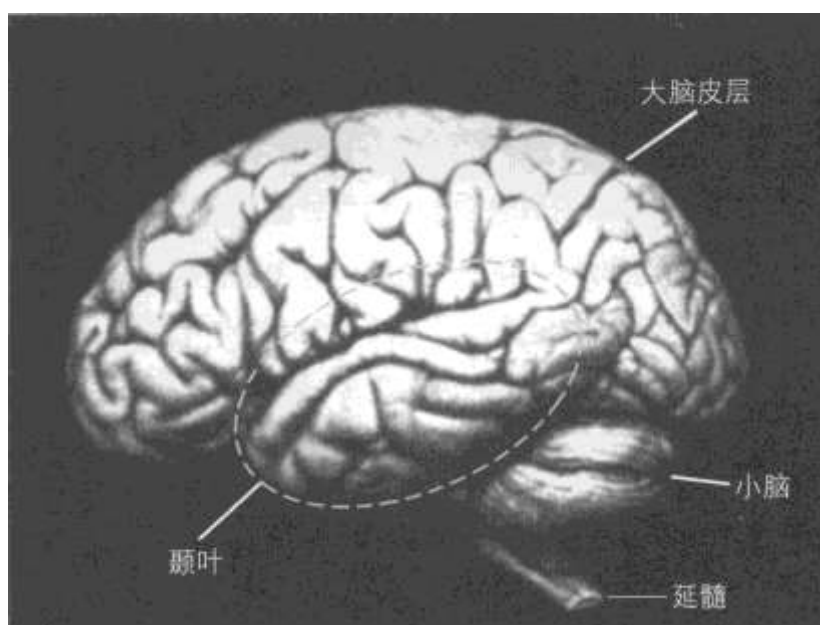


图 1 人脑的外观

戈尔季和卡哈尔对神经细胞进行了详细的记述，在此之后，神经科学的技术取得了突飞猛进的发展，现在人们对脑神经细胞进行了更为详细的研究。研究的结果表明，人脑之中大约有 1000 亿个神经细胞，每个神经细胞的直径为 10~50 微米，仅相当于头发粗细的 $1/2 \sim 1/10$ ，这 1000 亿个细胞鳞次栉比地排列着。细胞的排列并非杂乱无章、毫无规律，而是按照一定的规则整齐排列。这种排列方式非常明确，不会因人而异。在任何人的脑中，神经细胞几乎都是以相同的数量，按照相同的秩序存在着的。每个人的脑都是由大脑、小脑、延髓以及更细微的部分构成的，用显微镜等仪器对这些部位进行进一步的详细观察，我们就会发现每个人脑中的细胞的排列方式以及形状都完全相同。

在图 1 中，我们可以看到人的脑沟壑纵横，有很多的褶皱。我在和孩子们交谈的时候，了解到一些家长经常会训斥他们：“你脑袋笨就是因为脑袋的褶皱太少了。”实际上，脑的褶皱数目都是相同的，不会因人而异。

3 神经细胞增殖的原因

每个人的脑结构和神经细胞的排列方式都是相同的。但是，单就个人而言，神经细胞的数量在人的一生中会发生变化。实际上，人神经细胞的数量在刚出生的时候最多，随着年龄的增长而逐渐减少。也就是说，年轻人的神经细胞相对多一些，而上年纪的人的神经细胞就相对少一些。此外，神经细胞的减少速度比大家想象的要快得多，每天都会以数万个的速度剧减。我们可以大致计算出平均每秒都会有一个神经细胞死亡。这样，每天都会有大量的神经细胞死亡。人从出生到 70 岁的时候，脑的重量会减轻 50% 左右。

神经细胞的数量只减不增是有原因的。实际上，神经细胞没有增殖的能力，除了神经细胞，大多数的人体细胞都具备增殖能力。比如大家所熟知的肝脏细胞。假如肝脏因手术等原因被切除了 90%，之

后的几个月，剩下的肝脏细胞就会增殖，最终恢复为机能良好的肝脏。此外，皮肤、肠以及血液的细胞等也都具备旺盛的增殖能力，可以不断产生新的细胞。与之相对，神经细胞缺乏增殖能力，会不断衰老死亡。就在大家读这本书的期间，你的神经细胞就正在迅速死去。而且，死去的神经细胞是不会再度复活的。

那么，为什么神经细胞没有增殖能力呢？这大概是为了保持“脑的个性”吧。大家可以思考一下，如果脑能够不断创造出新的神经细胞，来取代旧的神经细胞，将会怎样呢？神经细胞进行思考、感知和想象，从而控制着人的性格和行动。如果将其全部替换掉的话，这个人就不再是他本身了。也就是说，“今天的我”和“明天的我”成了两个不同的人。这样，人就无法很好地适应社会，对生物自身的生存也是不利的。

一般来说，生物是通过吸收、适应外界信息而生存的，并不断积累经验，适应周围的环境。记忆可以说是人在生存过程中不可或缺的因素。但是，

假如神经细胞逐个被更新替换的话，好不容易存储的记忆就会消失不见了，无疑，这对生存是不利的。大概就是因为这个原因，人脑在长期的自然进化的过程中，选择了神经细胞不会增殖，终生使用相同细胞的方式。

实际上，这里还隐含着揭开记忆之迷的钥匙，关于这一点，我会在后面谈到。我们就暂时先记住这一点——为了保持自我、为了将过去的记忆持续不断地带到将来，神经细胞不会更新，而是终生发挥着自身的机能。神经细胞正是为了保持“脑的个性”，而选择了这种命运。

4 保护神经细胞

神经细胞是不会增殖的，已经死亡的神经细胞也不会再度复活。无论怎样，每天都会有数万个神经细胞死亡。珍贵的神经细胞如此迅速地死亡，不仅仅是我们这些脑科学研究者，我想每个人都会感

到非常可惜吧。神经细胞的死亡速度是不是太快了呢？

实际上，那些自然死亡的神经细胞大多是没有必要的部分，没有使用的神经细胞会有选择地死亡，这对脑来说是一件合理的事情。为了节约资源，就应该削减不必要的神经细胞。脑就是这样淘汰着神经细胞的。

那么反过来说，如果我们有意识地充分利用脑，就应该可以抑制神经细胞的死亡。但实际上，在大约 1000 亿个神经细胞之中，人们真正能够有意识地活用的细胞数量还不满 10%，所以无论怎样运用头脑去抑制神经细胞的死亡速度，几乎都是不可能的，我们不要太在意神经细胞接连死亡的事实。

然而，有的时候，对脑有用的神经细胞也会死亡。这种情况下，脑机能就会发生重大的问题。比如，与记忆关系密切的脑细胞的大量死亡的话，就会导致痴呆症。控制人体运动的神经细胞死亡的话，就会引起运动障碍。前者为阿尔兹海默氏症，后者为帕金森氏症，这两者都是有名的代表性神经疾病。

神经细胞的自然死亡是自然生理现象，但是我们有必要对此予以充分重视，防止神经细胞不必要地过早死亡。

比方说，当头部遭到重创的时候，就会造成大量神经细胞的死亡。大家都知道，经常会受到打击的拳击运动员，会更容易痴呆。但并不仅仅这样。将手握成拳状“砰”地轻击一下头部，也会造成数千个神经细胞死亡。所以，无谓地敲击头部绝不是一个明智的举动。父母在训斥不好好学习的孩子的时候，如果用拍打孩子头部的方法来进行惩罚的话，我想也是一件非常不好的事情。

再举一个例子。酒精可以加速神经细胞的死亡。饮酒过度会对大脑产生非常不好的影响。此外，某些药物也会引发神经细胞的死亡。比如安眠药、麻醉剂、兴奋剂等。虽然它们不会直接作用于脑，但是容易阻塞血管，所以也应该注意。脑对氧以及营养不良是非常敏感的。脑血管一旦阻塞，几分钟之内，氧气以及营养的供给就会断绝，神经细胞就会随之死亡。实际上，老年人常见的痴呆症中，大多

数都是由于血管阻塞造成的。如果在日常饮食中经常摄取高脂肪食品的话，血管就比较容易破坏和阻塞。所以，大家平时一定要多注意日常饮食的均衡性。



药物、酒精、撞击都会使神经细胞受到伤害

诸如此类的注意事项还有很多，假如平时过分在意这些事情的话，大概就无法保持愉快的心情了，所以过分的神经质也没有必要。但是，要想保护我们宝贵的记忆力的话，就要将这些注意事项放在心灵的一个角落里，在日常生活中多少注意一下。我

们每个人都能充分理解神经细胞的性质，保护好自己的神经细胞，这就是提高记忆力的第一步。

5 出租车司机的脑膨大了

在英国伦敦市内，大约纵横交错地分布着 2.4 万条道路。要将所有路线都牢记心中，即使是每天行驶于市内的出租车司机也要花数年的时间，各个直行大道、环岛以及数千个标志物的确可以称得上是庞大的信息库。英国的认知神经学者埃莉诺·马圭尔和我一样对出租车司机高超的记忆力非常敬佩。他将每天行驶于伦敦市内的 16 名出租车司机作为研究对象，使用一种被称做 sMRI (结构磁共振成像) 的方法对他们的脑结构进行检查。sMRI 是一种将人脑的截面在电脑上进行投影的技术，通过这种方法，研究人员可以在不造成损伤的情况下，对处于自然状态下的脑进行缜密的检查。

世界上总是存在一些具有奇特想法的人。前面我们已经提到，脑的结构不会因为个体的不同而有所差异，对脑专家而言，这是常识。所以通常来说，他们不会产生将出租车司机的脑结构与一般人进行比较的奇怪想法，而且，将出租车司机作为研究对象就更新鲜了。虽然记忆研究人员的实验对象多是人、猴子或老鼠，但是，即使以人作为研究对象，特意将多位出租车司机作为对象进行实验的方法绝不是一般人所能想象出来的。现在，我要介绍一下马圭尔在这次打破常规的独创性研究中的意外发现，这种摆脱既有理论的自由想法常与惊人的发现联系在一起，2000年的《美国科学院院刊》中就刊载了这一重大发现。

马圭尔在这项崭新的研究中发现了一个康人的事实——出租车司机脑的某个部分要比一般人大。也就是说，这个部位的神经细胞数量要比一般人多。这一事实彻底否定了脑的大小以及形状不会因人而异的常识。

惊人的结果并不仅限于此，仅凭这一实验结果还无法阐明出租车司机与其脑的某个部位大于常人这一事实之间的因果关系。也就是说，目前还没有明确到底是因为出租车司机的职业使得其脑的某个部位膨大，还是与之相反——因为此人脑的某个部位比较发达而从事了出租车司机职业？马圭尔又进行了进一步的详细研究，从而解释了这一疑问。研究表明，出租车司机长期从事这一职业，经验比较丰富，其脑的某个部位比较发达，并且从业时间较长的人神经细胞的数目较多。操作方向盘 30 年之久的人，其脑中某个部位会膨大 3%。这一发现对脑研究者产生了两个方面的冲击。其一就是原本认为只会不断减少的脑神经细胞实际上是可以增殖的。脑体积增加 3%，如果换算成神经细胞数量的话，就是增殖 20%。由此，脑研究者必须从根本上重新考虑以往有关神经细胞生老病死的概念。

其二就是越勤于用脑，神经细胞就会越多。通过脑部锻炼，可以增加控制记忆力的神经细胞。出租车司机高超的记忆力的确是长期锻炼脑部的结果，

而神经细胞多于一般人的现象正好说明了他们拥有优秀的记忆力的原因。那天晚上，我在池袋所碰到的那位资深的出租车司机大概就拥有非常丰富的神经细胞吧。

6 加强脑部锻炼，提高记忆力

我想那些像出租车司机一样从事着经常锻炼头脑的工作的人群中一定也会有类似的现象。这样想来，马圭尔的这一研究结果就能给我们这些普通人以非凡的勇气。

基本上来说，脑的结构不会因人而异。但是如果经常运用头脑的话，神经细胞就会随之增殖，记忆力自然也就会增强了。这并不是那些被选择参加实验的人所独具的功能，任何人只要努力都有可能。这样说是因为无论哪一名出租车司机，随着长年工作经验的积累，神经细胞都会增多。他们在从事出租车司机这一行业之前，拥有的也不过是极其普通

的头脑，而之后的超强记忆力则是通过一番磨炼而形成的。

更令人惊讶的是，马圭尔的研究对象——出租车司机大多都是成年之后才开始从事出租车行业的，也就是说，即使是成年人，他的神经细胞也是可以充分增殖的。大家很可能会有些犹豫，认为“我已经不再年轻了，现在这个时候才锻炼的话……”其实大家不必有这样的顾虑，实际上，即使是超过 70 岁的人，只要充分运用头脑的话，也同样可以提高记忆力。

出租车司机比一般人发达的地方其实只是脑中的一个特定部位。马圭尔的研究表明，这个部位就是位于大脑皮层内侧，被称做海马的领域。从大脑皮层无法直接看到海马，因此图 1(第 5 页)中没有海马的图像。海马位于被称为颞叶的大脑皮层的最深处(左右半球各有一个)，位置大约在耳部内侧附近，直径约 1 厘米，长约 10 厘米，大致呈弯曲状，形状就像一根细长的小黄瓜。关于海马，我们在后面还会作更为详细的说明。马圭尔已经发现，出租

车司机就是利用海马来确定空间位置的。也就是说，人们依靠记忆力来进行各种思考的时候，使用的是海马这一部位。并且，在使用的过程中，海马会得到锻炼，并呈现出膨大状态，记忆力也会随之不断提高。

根据这一发现，一个有关神经细胞的事实浮出了水面——只要锻炼头脑，记忆力就会提高，反之则无法增强。

7 多样的环境与丰富的记忆

还有研究人员进行了一项与马圭尔的实验相似的研究，研究对象是老鼠。这就是刊载于 1997 年《自然》杂志上美国生物学家盖奇的研究。首先要准备两个图 2 所描绘的饲养箱，其中一个饲养箱里放着很多梯子、跑轮等小玩具，另一个饲养箱里没有任何玩具，是一个非常空旷的环境。将两只老鼠分别放在这两个箱子里面进行饲养，一只老鼠处

在时常受到外界刺激的环境之中，而另一只老鼠则生活在毫无刺激的环境里。



图 2 不同饲养环境下的老鼠

然后，对这两只在不同环境下成长的老鼠的脑进行详细研究，结果表明，在有玩具的环境中生活的老鼠，脑中的海马非常发达。也就是说，在常受到刺激的环境下饲养的老鼠，其海马神经细胞数目增加了 15%。盖奇又作了进一步的详细调查，发现这只老鼠的神经细胞的增殖能力提高到原来的两倍

以上，这是因为神经细胞得到了锻炼，并被激活。在丰富环境下所饲养的老鼠可以玩各种玩具，比起那只没有玩具的老鼠来说，脑受到了更多的刺激。

更令人惊异的是，研究显示，海马的活性化同老鼠的年龄没有关系。相当于人类百岁高龄的老鼠，它的神经细胞的增殖能力也会提高。而且，如果将老鼠转移到外界刺激较多的多样化环境里面，这种效果在数日之内就会充分表现出来。老鼠所处环境的不同，确实会在潜移默化之中促使其脑细胞发生变化。在这项实验里，有一个非常值得关注的事实，这两只在不同环境下成长的老鼠，其学习能力显示出明显的不同。当然，说到学习能力的话，老鼠当然不会拥有像解析微积分方程式或在股票市场进行交易那样高的智能，这里所说的只是指一些解决简单问题的能力。比方说一些简单的小测试：选择哪条道路来获取食物，蜂鸣器一响是否能够迅速通过控制拉杆来躲避电流等。对于老鼠来说，这些已经可以称得上是非常了不起的记忆了。现在我们就从

这几个小测验中选出英国实验心理学家莫里斯发明的水迷宫实验介绍给大家。

8 莫里斯的水迷宫实验

水迷宫实验是检验老鼠记忆力的一个非常有名的测试。如图 3 所示，将一个直径 2-3 米大小的水池注满水，让老鼠在里面游泳。老鼠是一种在陆地上生活的动物，但是它们不用进行专门的训练就能轻松自如地游泳。尽管如此，游泳可绝不是老鼠所喜爱的运动。刚被放入水池里，它们就想方设法寻找躲避的地方。

水池中布置了一处可以避难的浅滩，但是这个浅滩只能供一只老鼠容身。生来厌恶游泳的老鼠会尽可能以最快的速度发现这个避难场所，并躲避到那里。这里有一个关键问题，避难场所——浅滩位于水面以下，正在水中挣扎的老鼠绝对看不到它。也就是说，第一次被丢进水中的老鼠会在水池里四

处团团转，并到处寻找有无浅滩。一周之内，每天反复进行数次这样的训练，训练期间，莫里斯还故意将每次开始游泳的位置进行变换，但是浅滩的位置一直都在原来的地方。

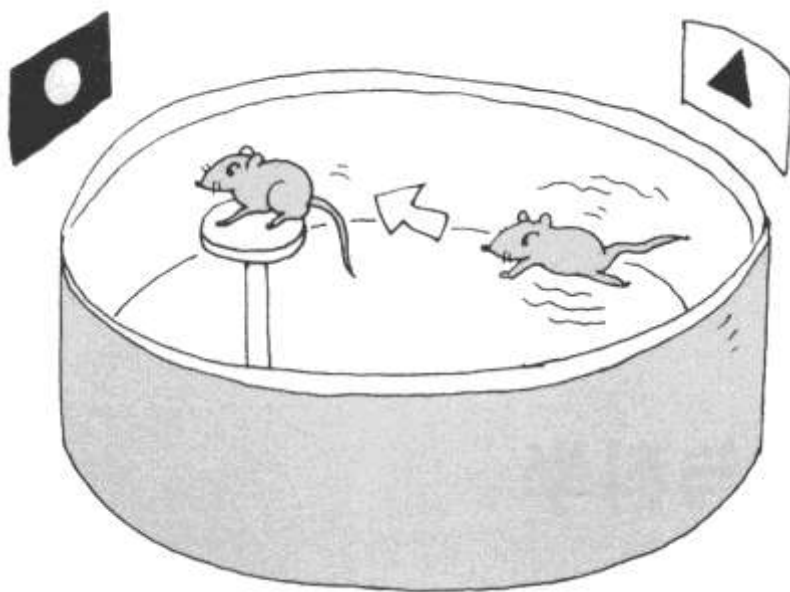


图 3 莫里斯的水迷宫实验

一开始还四处搜寻避难场所的老鼠经过这些反复的训练之后，逐渐能够很快到达这个避难场所。也就是说，浅滩的空间位置已经储存在老鼠的记忆

之中了。由于每次训练时，开始游泳的地点都各不相同，所以对老鼠而言，发现浅滩的唯一线索就是水池外的环境，即放置水池的研究室的样子。老鼠一边参考周围的“景色”，一边借助于自身的记忆力来寻找可以避难的浅滩，这正是这个实验被称为“水迷宫”的原因。

最初老鼠发现浅滩要花几分钟，经过几天的训练之后，大约 5 秒钟就能够找到浅滩了。通过测定老鼠到达浅滩所花时间的推移状况，就能正确评价老鼠的学习能力。水迷宫实验可以说是一种操作简便、实验结果明确的高明方法，我也曾经多次进行过老鼠的水迷宫实验。对于研究人员来说，这是一项很有趣的实验。特别是看到自己亲手饲养的老鼠们每天勤奋学习的样子，心里真是说不出的高兴。

下面，再来看看在外界刺激较多的环境中成长的老鼠。研究发现，与出租车司机一样，神经细胞增殖能力较强的老鼠在水迷宫实验中显示出了较强的学习能力。在刺激较少的环境中培育的老鼠要花 5 天时间才能够记住浅滩的位置，而在刺激较多的

环境中培育的老鼠仅用 2 天就能记住，也就是表明这只老鼠的记忆力增强了。这个实验证实了记忆力可以通过锻炼得到增强这一事实，以往认为不断减少的神经细胞是可以通过训练被激活并增殖的。记忆力会根据个人的训练程度而变化。因为老鼠生长环境的差异造成神经细胞活性化的程度不同，这一事实给我们以重要的启发。我们在培育孩子的过程中，应该尽量注意到这一点。当然，我们自身也应该尽可能置身于外界刺激较多的环境之下，经常灵活运用头脑。如果这一点很难做到的话，那么就保持一种积极的心态，培养对周围事物的兴趣，丰富自身的感觉。这样，自然而然地就会提高海马的活力，从而提高自身的记忆力。

9 常识与科学

“神经细胞没有增殖能力”曾经是神经科学界的常识。但是研究表明，在海马等特定的部位，神

经细胞会增殖，数目也会不断增加，当然也会有减少的可能。

这种摆脱常识的束缚所进行的研究带动了科学的巨大进步。曾经颠覆传统，倡导“地动说”的伽利略对他的朋友说过这样的话：“为什么你只是相信别人的说法，而不亲自去验证一下呢？”这番话让我深有感触，对研究而言，最重要的就是不受他人意识所左右的个人的感觉。

现在刚刚进入了 21 世纪，神经细胞的增殖现象已经成为世界普遍公认的学说了。有一些科学家正在研究如何将具有增殖能力、充满活力的神经细胞移植到患有脑疾病的患者身上，从而使疾病得到有效治疗。一个新的发现确实能大大地促进现代科学的进程，在这个快速发展的时代下进行脑研究，每天都有新的发现。作为一名脑科学研究者，我会从科研现场向大家介绍一下有关记忆的更为详细的研究。

在第二章里，我们将讨论掌握记忆力钥匙的海马。

第二章 记忆的司令部——海马

1957 年，一位癫痫患者接受手术，切除了病灶部位——海马，结果却出现了健忘的症状。由此，海马引起了人们的大关注。

在海中，海马处于什么位置，有什么样的结构？它与人的记忆力有什么联系？记忆储存在什么地方？想不起也是记忆吗？

神奇的海马将为我们揭开这一系列谜题，带我们认识记忆的奇妙之处。



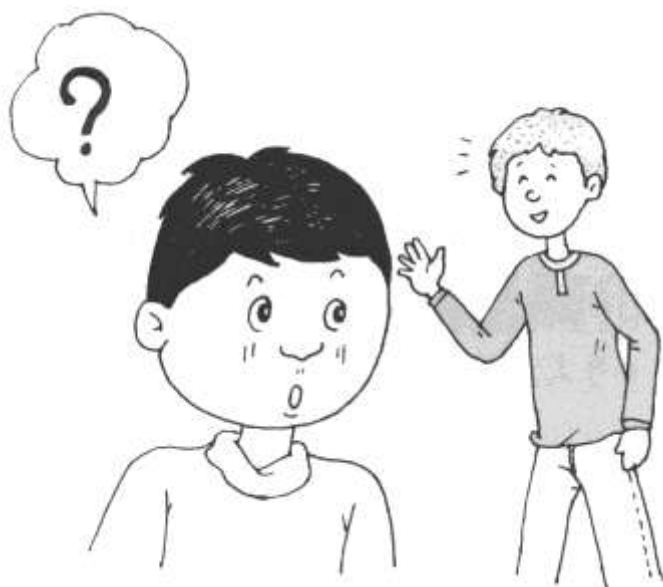
三丁基锡(环境激素)下死亡的海马神经细胞

1 奇妙的记忆力

一个晴空万里、风和日丽的假日，我在一处旅游景点观光的时候，迎面走来一位 20 岁出头的年轻人，恰好和我的目光相对。这位似曾相识的年轻人对我轻轻点了一下头，我也轻轻颌首，笑脸相迎，之后我们就各自朝不同的方向走了。他到底是谁呢？我绞尽脑汁也没有想起来，明明是一个认识的人却怎么都想不起来。我把自己所有的熟人和朋友都想了一遍也没有结果。最后，这一天我都是在恍惚的状态中度过的。

第二天，我又像往常一样去了大学的研究室。当我在研究室前的走廊里踱步的时候，突然遇到了昨天的那个年轻人。这时我才想了起来，这个年轻人是和我处在同一楼层另一个研究室的学生。虽然没有和他特别亲近地交谈过，但是因为两个人时常

会在走廊里擦肩而过，所以我对他的面孔还是比较熟悉的。



这人好像在什么地方见过…

记忆真是一件奇妙的事。虽然是一个熟悉的人，当时却怎么都想不起来。然而，尽管没有想起来具体是谁，但碰面的那一瞬间却能够立刻判断出认识这个人。毫无疑问，能够作出这个判断是由于有关这个年轻人的记忆储存在我的经历之中。

大家一定也遇到过诸如此类的事情吧。我和那位年轻人在走廊里的再次碰面，让我想起了这位和我在旅游景点擦肩而过的人，但有的时候却没有明确的线索来提示。比如，考试或测验中无论如何都想不出来的答案，却在事后一个极其普通的时候突然浮现在脑中，那时心中的悔恨和懊恼真是无以言表。好不容易才记住的东西到了真正要用的时候却怎么都想不起来，那个时候才能真切地感受到记忆的奇妙之处。

那么，究竟为什么记忆会如此神奇呢？海马又是怎样和记忆联系在一起的呢？

2 切除海马会怎样

对记忆来说，海马是一个非常重要的大脑部位。关于这一点，其实我们早已从第一章的出租车司机实验中了解到了。首先明确海马重要性的是 1957 年美国神经外科医生斯考维勒和加拿大神经心理学

家米尔纳的报告。这个报告是从临床心理学的角度对美国一位癫痫病患者 H. M. 进行详细调查的成果。1953 年，H. M. 27 岁，他的癫痫症状不断恶化，药物治疗几乎无济于事，所以最终接受了脑手术治疗。H. M. 的癫痫病是典型的颞叶癫痫。他的癫痫病是从位于大脑皮层的、紧贴颞叶内侧的海马开始的，所以手术就是要大范围地切除两侧的海马及其周边部位。

手术后，病人的状况非常好，癫痫的症状得到了比较明显的改善，人们都认为这一手术获得了巨大的成功。但是，恢复期的 H. M. 却出现了一个令人意想不到的症状——严重的记忆障碍。H. M. 连周围人的名字以及回家的路线都想不起来了。吃完饭后，吃了什么暂且不论，就连刚刚吃过饭的事情都忘了，当天发生过什么事情也完全没有记忆，剩下的只是这样的怪事——同样的漫画书百读不厌。H. M. 说出了这样的感受：“一天一天地过去了。但曾经的喜怒哀乐却丝毫没有存留下来，总是像从梦中醒来似的。”

事情还不仅如此。经过详细的调查，H. M. 连手术之前的事情也想不起来了，这一状况影响到手术之前的 11 年。也就是说，H. M. 16 岁以后的记忆发生了障碍，但 16 岁之前的记忆却完全正常。记不住新的事情，在医学上被称做顺行健忘；相反，记不住以前的事情，则被称做逆行健忘。也就是说，H. M. 发生了这两种记忆障碍，其中顺行健忘的症状比较严重。

H. M. 积极协助研究人员进行脑研究。迄今为止，已经有很多的研究者从各个方面对他进行了调查和研究。最终得出了有关海马的宝贵的研究成果。H. M. 所显现出的异常只限于记忆障碍，他的人格与知觉都完全正常。IQ 测试最高时达到了 118，H. M. 的智力仍旧保持在一个非常高的水平上，只是记忆丧失了。

继关于患者 H. M. 的报告之后，脑神经科学界又推出了患者 R. B. 的病例。1986 年，这名患者因心脏暂时停止跳动导致海马区的神经细胞死亡，从而出现了顺行健忘的症状。此外，一个利用动物进

行实验的研究也确认了海马的重要性，海马逐渐受到了全世界的重视。

3 进化历程决定的“记忆厨师”

正因为海马对脑如此重要，所以被安全放置于脑的深处。正如图 1 所显示的那样，从脑的表面观察，是不会发现海马的。我们再来看一下图 4，在这张图里，我们可以看到海马。在这里，大脑皮层的一部分已经被切除了，图右侧的模式图中，灰色的部位就是海马。海马位于大脑中心附近，被很好地保护起来，以免受到外界的伤害。

另外，图 4 中的照片分别是老鼠和人的脑，让我们好好比较一下这两个脑的海马部分。首先，我们不难发现一个事实，就是海马在整个脑中所占的比例截然不同。老鼠脑中的海马所占比例相对大一些；人的大脑皮层非常发达，几乎将海马覆盖了起来。我们知道，从生物进化论上来讲，越是高等动

物，大脑皮层越发达，海马所占的比例就越小；反之，低等动物的海马是非常发达的。

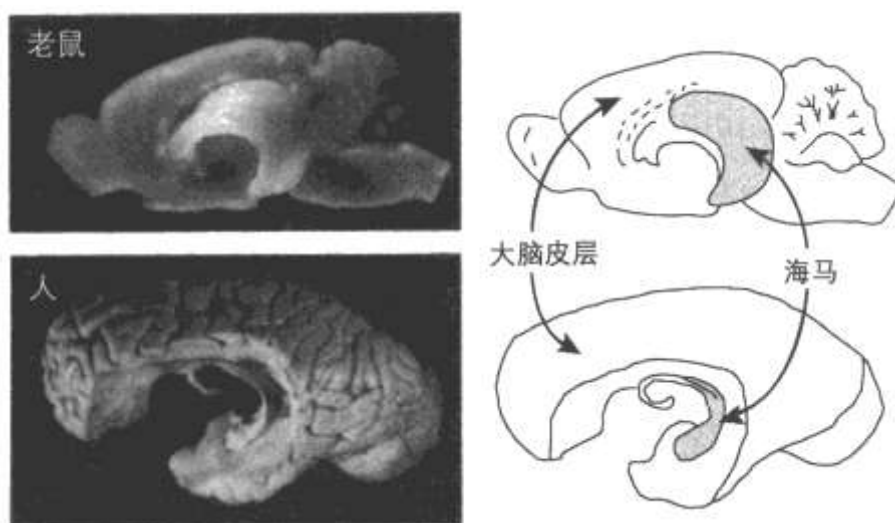


图 4 老鼠和人的海马大小比较

想要推测人体的某个器官对生命的重要程度，就需要调查一下该器官在低等动物中的发达程度。如果该器官对生命相当重要的话，那么在低等动物中也应该比较发达。从这个意义上讲，自古以来就比较发达的海马，可以说是脑中特别重要的部位了。

因此，虽然人脑中海马所占的比重并不高，但绝不能说它不重要。实际上，海马在脑发挥高层次机能中扮演了重要的角色，从 H.M. 的病例报告中，我们就可以明白这一点。

据推测，人类脑中的海马约有 1000 万个神经细胞。如果整个脑约有 1000 亿个神经细胞的话，海马可以说是从神经细胞中精选出的为数较少的“精锐集团”。

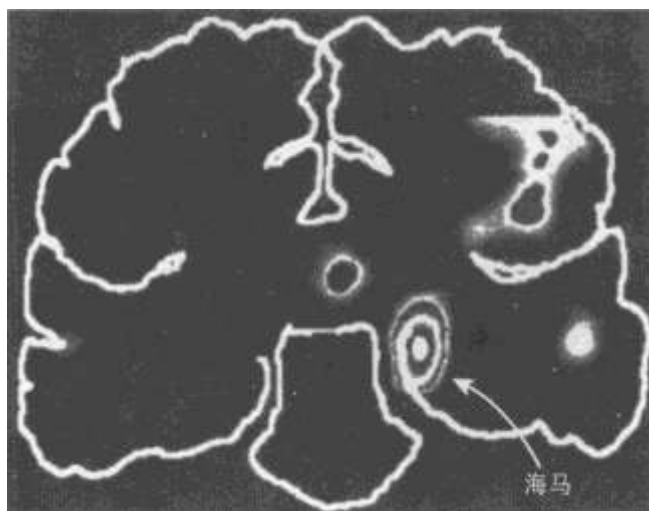


图 5 记忆状态下活动的海马

图 5 是用一个被称做正电子发射断层扫描 (PET) 机的医疗仪器对人脑的横截面进行观察的图像。正

电子发射断层扫描是一种测定注入体内的微量放射性物质被脑的哪个部位如何利用的方法。利用这种方法，人们可以详细研究大脑的活动模式。在这张照片中，白色发亮的部分显示了正在活动的脑部位。在实验中，先让接受实验的人记忆几个单词，之后再接受一个测验，就是给出提示让他回忆出这个单词。比如，先让他记忆“angelfish”（神仙鱼）这个单词，几分钟之后，把写有“an9……”的卡片给他看，让他回忆是什么单词。图 5 就是接受测试的人在回忆单词的时候脑活动的情形，我们可以看出，右侧的海马活动旺盛。

在进行自由想象的时候，海马的神经细胞也非常活跃。我想，大家能够从这个实验中了解到那些少而精的海马神经细胞对记忆而言是何等重要。如果海马活动失常的话，即便大脑的其他部位都没有问题，人们也无法良好地进行记忆，还会出现健忘的症状。刚才我们举的 H. M. 的记忆障碍就是一个很好的例子。

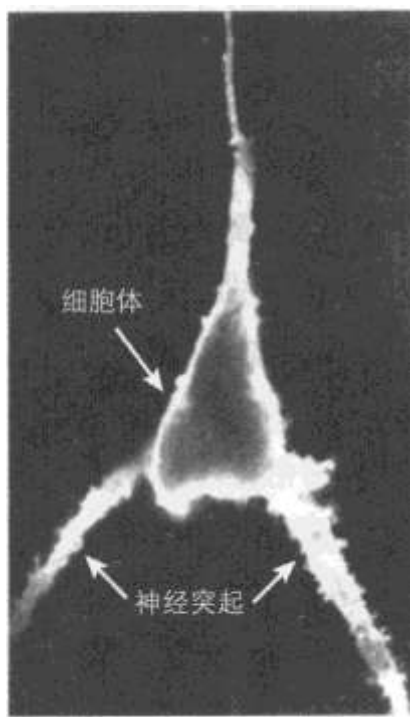


图 6 海马的神经细胞

图 6 是在我的研究室拍摄的活的海马神经细胞，这是用共焦点激光显微镜这种特殊仪器拍摄下来的影像。想到正是因为我们大脑中海马神经细胞活动旺盛，我们才能够正常地记忆事物，我不得不对这个仅有 25 微米大小的脑细胞深表敬意。那么，海马的神经细胞到底对记忆有什么样的作用呢？简而言之，海马神经细胞的作用就是记忆信息的“管理

塔”。它会收集各种各样的信息，对其进行整理和取舍，就像一个记忆的司令部一样发挥着作用。我时常会将海马比做厨师，海马将汲取的各种配料（信息）进行自由组合，制成菜肴（记忆）。下面，我们就来观察一下海马是如何烹调记忆这道菜的。

4 海马的结构

海马这个名称的意义从古至今发生过改变。江户时代的学者越谷吾山曾经编著了一本名叫《物类称呼》的书。翻开这本古书，我们可以看到里面记载着这样的内容：“海马意为‘海马’。（指动物——编注）”后来的解剖学者在对脑进行研究的时候，发现潜藏在大脑皮层下的、呈弯曲状的脑部位看上去很像海马的尾巴，才将其命名为海马。

但总算取了海马这样一个别致的名字，我们在学习海马的时候，却觉得与其说是海马，还不如把它想象成金太郎糖（日本的一种糖果，切开后其横截

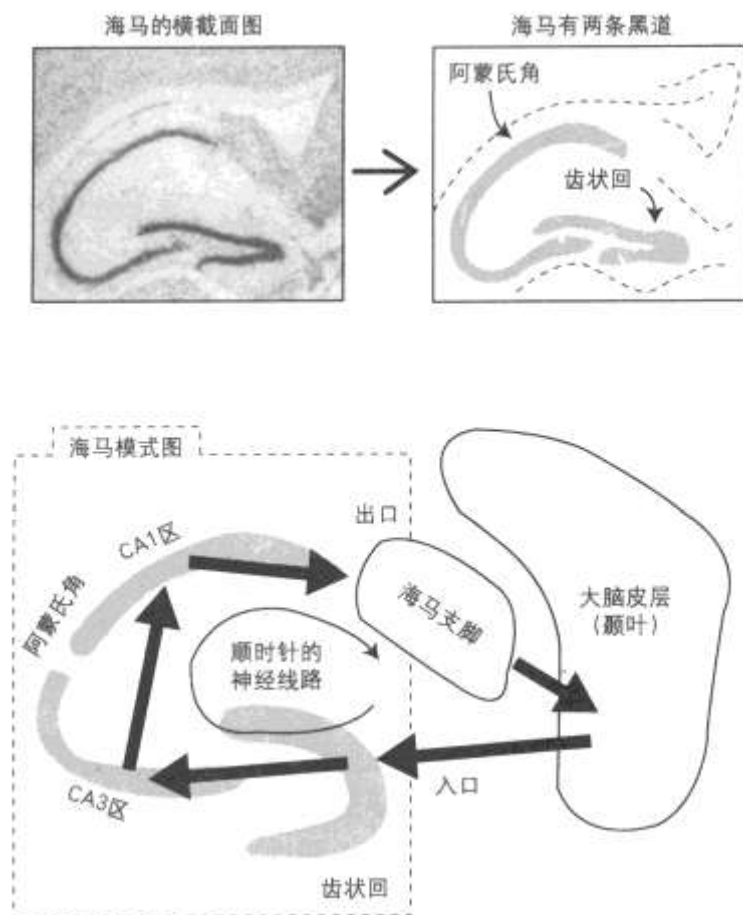


图 7 海马的构造和神经线路

面为日本神话传说中的人物金太郎的头像——编注)
更为合适一些。海马就像金太郎糖一样，无论从哪

里切断，都呈现大致相同的横截面，图 7 就表现了该横截面的样子。正如左上方的照片里所表现的那样，仔细观察海马的横截面，我们就会发现两条特别的黑道，看上去好像是 n 和 U 相互交叉组合在了一起。



这两条黑道其实是整齐排列着的神经细胞的集合体，海马的神经细胞在里面排列得井然有序。另外 n 和 U 还有各自的叫法，呈 n 状的叫做阿蒙氏角，而 U 状的则被称做齿状回。有的脑解剖学者会

单把阿蒙氏角称做海马，为了避免混淆，本书中将二者合在一起统称为海马。

阿蒙氏角和齿状回中的神经细胞数量大致相同，但是二者所含的神经细胞的形状和性质却截然不同。阿蒙氏角的神经细胞像金字塔那样呈三角形，所以被称做锥体细胞；而齿状回的神经细胞却呈浑圆的小颗粒状，因而被称做颗粒细胞。让我们再来看一下图 6，照片上所显示的海马神经细胞呈三角形，所以这是阿蒙氏角的锥体细胞。

下面，我们再对海马的构造进行更加详细的说明。根据阿蒙氏角锥体细胞的性质，又进一步细分为四个部分，分别为 cA1 区、CA2 区、CA3 区、CA4 区，其中最重要的是 CA1 区和 CA3 区。CA1 区和 CA3 区这两个区域通过神经纤维与齿状回连接在一起，并构成了一个联系网，可以从图 7 中的海马模式图看出这一点。这个神经线路是 20 世纪早期由西班牙的组织学家罗兰多·德·纳发现的。这个神经线路非常简单，比较容易记住。

在海马中，神经信号的人口和出口是泾渭分明的。人口的机能由齿状回承担，出 E1 的机能则由 CA1 区承担。CA3 区则是连接人口和出口的中间点。也就是说，神经信息首先进入齿状回，然后传送到 CA3 区，最后进入 CA1 区，离开海马，这种齿状回—CA3 区—CA1 区的三段式信号传递方式通常被称做海马的主要突触线路，是脑研究中最有名的神经线路。

齿状回是信息的人口，那么信息又是从脑的哪个部位来的呢？实际上，信息是从大脑皮层进入的。大脑皮层中有一个被称做颞叶（嗅内皮质）的特定场所。颞叶位于大脑的侧面，是识别事物的重要的脑部位（见图 1）。通过看、听、触、嗅等所获得的有关事物的信息会传送到颞叶，于是人就能够认知当前的事物，接着该信息被继续输送到海马。这样，进入海马的信息到了齿状回，紧接着又到了 CA3 区、CA1 区。但是，这里又产生了一个新的疑问。到达 CA1 区的信息接下来又到了什么地方呢？下面我来公布一下答案。信息会通过一个叫做海马支脚的场

所，再返回到颞叶。也就是说，从颞叶而来的信息迅速绕海马一周，又重新回到原来的地方，并且信息的流向是单向的。正如图 7 的海马模式图所显示，信息总是按照顺时针传导的，决不会逆行传导。信号一定是按照颞叶→齿状回→CA3 区→CA1 区→颞叶的顺序传导的。

此外，更重要的一点是，每次海马以这样的路径传导信息的时候，所输入的信息会以各种各样的方式被整理合并或被删除。进入海马的信息在以适当的形式被加工处理之后，会再次回到颞叶。如果用烹饪打比方的话，输入海马的信息还是各种配料，只有经过海马的加工，才变成可以品尝的菜肴，并以这种形式送还到颞叶。当然，加工方式是由海马神经线路所具有的特性决定的。这种信息处理以及经由神经线路传导信息的现象是理解后面各种知识的非常重要的概念，希望大家把这一概念牢牢记在心中。

5 重组还是过劳死

根据进化论的学说，不同种类的动物，其海马的齿状回、CA3 区、CA1 区三个部位的大小是不同的。从进化论的角度来说，低等动物的齿状回更发达一些，相反，高等动物的 CA1 区则相对发达。而人类的 CA1 区所占比重非常高，大概是由于 CA1 区与高层次脑机能有关联的缘故吧。从进化论的角度还可以发现，海马的三个部位之中，齿状回是最重要的领域，发挥着最原始的、最基本的作用。

实际上，细胞经过锻炼数量会增加的现象是齿状回的颗粒细胞特有的现象。海马中具有增殖能力的神经细胞仅仅是齿状回的颗粒细胞而已，颗粒细胞增加，记忆力就会增强。齿状回是信息进入海马的入口，所以入 1: 1 的神经细胞越多，记忆力就会越好。总之，进入海马的信息量与记忆力之间有着很深的联系。

美国神经生物学家莱普在 2000 年的《神经科学》杂志上发表了自己的研究报告。报告中写到，

因衰老而导致记忆力低下的老鼠，它的齿状回连接点的数量会减少一半，也就是说，由于无法向海马输入信息而使老鼠的记忆力减退。而那些年龄虽然增加，记忆力却没有减退，依旧充满活力的老鼠同年轻老鼠一样，拥有几乎同样数量的连接点。

大家已经知道，齿状回的颗粒细胞会增殖，但它的死亡速度也是非常快的。颗粒细胞相继产生，同时也不断死亡。这种新陈代谢是非常剧烈的，抛弃老化的颗粒细胞，由新的颗粒细胞进行替换。令人吃惊的是，仅仅三四个月的时间，全部颗粒细胞就会被新的神经细胞所替换。无论是小孩还是老人，齿状回细胞的更替都是非常旺盛的。

这种在以往的脑科学中所没有发现的、例外的“转生”现象为什么只在海马区的齿状回部位发生呢？这个问题至今仍然是个谜。或许是因为齿状回的神经细胞要负担超强工作的缘故吧。年轻的神经细胞活动旺盛，所以不断启用年轻的神经细胞来提高工作效率，能力衰减、老化的神经细胞则被解雇了。此外，还有一些研究人员认为是由于工作强度太大

而导致了齿状回细胞过劳死，它的寿命仅仅有几个月。不管是什么原因，齿状回承担了高强度工作的重要职责，这一点是毫无疑问的。

还有一点要注意的是，神经细胞的增殖速度与死亡速度之间的平衡是非常重要的。增殖速度快，齿状回整体颗粒细胞的数量就会增多，记忆力也就相应增加了。反之，死亡速度快，颗粒细胞的数量就会随之减少。记忆力增减的秘密就在于维持这种平衡。

6 为什么只能记住 7 个

海马的顺时针神经传导线路与记忆之间有什么关联呢？在回答这个问题之前，首先要详细说明一下“记忆”。

大家听到“记忆”这个词语时会想到什么呢？是考试前临时抱佛脚，将知识硬灌到头脑中的临阵磨枪式的学习，还是新同学或新同事的面孔和名字？

每个人都有各自不同的记忆内容。实际上，记忆本身就是多种多样的。所以，在进行脑研究的时候，要想更清晰地阐明记忆，首先就要对这些不同的记忆进行分类。下面，我们就来解释一下记忆的种类和分类方法。

首先，根据保存时间的长短对记忆进行分类。保持时间较短的为短期记忆，较长的则是长期记忆。大家大概会马上想到，有时一件事很长时间都不会忘记，有的事好不容易才记住却很快就忘了。那么如何划分时间的长与短呢？这是一个比较难的问题。一般来讲，脑科学家将 30 秒或几分钟的记忆称为短期记忆，将更长时间的记忆称为长期记忆，以此来进行区分。这两种记忆的使用方法和储存方法是截然不同的。

打电话的时候，我们都会一边看电话簿，一边背电话号码，然后拨号。但通常拨过电话之后，就不记得刚才的电话号码了。也就是说，这个电话号码只在脑中进行了短期存储，这就是短期记忆的典型例子。

此外，还有一个有名的短期记忆例子，就是心算。比如，计算一下 $(5+7) \div (4-1)$ 这个公式。一定是先算出 $5+7=12$ ，然后再算出 $4-1=3$ ，最后计算 $12 \div 3=4$ 。大脑在计算过程中，先导出 12 这个结果，之后暂且搁置起来，再进行下一步运算。然后再从记忆中提出 12 这个数字，进行最后的运算。所有计算结束之后，通常就把 $5+7$ 这个最开始的计算忘得一干二净了。也就是说，5、7、12 这些数字只不过是暂时记忆在头脑之中的，如果该数字已经没有用的话，就无需再存储它了，相关的记忆也就随之消失了。这样看来，所谓的短期记忆就是在必要的时候临时储存的记忆，这种例子不胜枚举。

然而，我们并不能运用短期记忆无限制地记忆事物，一次可以记忆的数目是有限的，这是短期记忆的一大特征。这个数目大致为 7 个，通过训练增强记忆的话，可以达到 9 个，记忆力不太好的一次只能记住 5 个。不管怎样，每个人的短期记忆几乎没有太大的分别。人类瞬间把握、可记忆的对象数目大致为 7。7 这个数字是美国的心理学家米勒发现

的，也就是有名的“神奇数字——7”。一星期有一、二、三、四、五、六、日共 7 天；音符也是 do、re、mi、fa、sol、la、si 7 个。此外，漫画或电视剧里面，与剧情相关的主要演员也大致为 7 名。数目再多的话，大脑记忆起来就会比较混乱了。

电话号码也有类似的情况。我们发现了一个有趣的现象。除了长途电话，电话号码都在 8 位数以内。这是与短期记忆的界限相接近的位数。所以，在拨长途电话的时候，比如 53—9046—7281，要想记住这个 10 位号码是比较困难的。但是，中间添加的“_”这个符号可以帮助我们进行短期记忆。如果没有“_”的话，就变成了 5390467281，已经完全超出了短期记忆的范围。但是在所罗列的数字中间插入“—”添加韵律节拍之后，就分成了 53、9046、7281 这三组数字，是在短期记忆所能容纳的限度内。通过组合，记忆容量增加了，这种记忆事物的方法专业术语称做意元化。这也是我们平时不知不觉所运用的一种程度比较高的记忆方法。



利用短期记忆去记电话号码

刚才我们讲到，在打电话之前，电话号码可以通过短期记忆存储在头脑之中。假如我们每天都给密友或恋人打电话的话，最后不用看电话簿就能准确地拨号了，这种情况就成了长期记忆。一旦形成长期记忆之后，遗忘的速度就会变得非常慢。记忆存储在头脑之中，几个小时、几天、几个月、几年，有时甚至一生都不会忘记。一般来说，没有意义的数字或文字会较快被忘记；反之，那些具有冲击力的场景会留下较深的印象，长时间地留在记忆之中。

与短期记忆相比，长期记忆能够维持比较长的时间，不会改变。如果用电脑来比喻的话，短期记忆是被存储在 RAM(随机存储器)中，而长期记忆则被保存在硬盘里面。所以大家说起记忆时，大概首先想到的是长期记忆，而不是短期记忆吧。

7 想不起来也是记忆吗

长期记忆还可以进一步分类。比如，如果现在问你，记忆比较深刻的往事是什么？是小学运动会上得了一等奖，还是向心爱的人表白后被拒绝，或者是考试通过之后和朋友一同庆祝欢呼？这些记忆一定是因人而异的。但大多数情况下，都是与你过去的体验和经历相关的记忆，比如何时何地做了什么事情等，一定是值得回忆的记忆。这种记忆被称做情景记忆。

但是，长期记忆并不仅仅限于这些方面。与经验没有什么联系的知识也可以是长期记忆。比如，

华盛顿是美国第一任总统、神仙鱼是热带鱼、企鹅不会飞、从这个路口向左拐有一个加油站等，这些并非体验，而是更为抽象的记忆——知识，这种记忆叫做语义记忆。

情景记忆是 1972 年由加拿大的心理学家图尔文提出的，语义记忆是 1966 年美国的心理学家奎廉提出的。这两种记忆的区别非常重要。刚才，当我说“大家想一想过去的事情”的时候，大家一定想到的是自己过去的经历(情景记忆)，大概没有人会想到“华盛顿是美国第一任总统”(语义记忆)吧。这样来看，情景记忆可以有意识地回忆出来，而语义记忆如果没有什么特别的契机是不会联想起来的。

在本章的开头，我向大家讲述了我曾经和一名年轻人在旅游景点偶遇的故事。这就是我的情景记忆。那时的情形我记忆犹新。那是一个晴空万里、风和日丽的一天，旅游景点的人群熙熙攘攘，非常热闹。在返回的途中，我买了一个鲷鱼形的豆沙馅点心，但是只吃了一半就掉在了地上，十分可惜。那个时候的情景作为过去的经历，时常出现在我的

情景记忆之中，自己也能够有意识地自由想象，这就是情景记忆典型的特征。



这些是情景记忆还是语义记忆

另一方面，语义记忆也是过去的记忆，但不会有意识地联想起来。要引出语义记忆，大多数情况下，契机是非常必要的。比如，只有被问到“华盛顿是什么人”的时候，才会联想出“他是美国第一

任总统”。我想大概不会有人会在一个风和日丽的假日，在公园散步的时候，突然想起“华盛顿是美国第一任总统”之类的事吧。即使通过提示联想起这件事，也和自身的经验毫不相干。

也就是说，语义记忆就是不介入自我(意识)的抽象记忆。事实上，“华盛顿是美国第一任总统”的事实和自我经历是没有关联的。像语义记忆那样，没有自我介入的记忆被称做内隐记忆。与此相对，联想起来的事情之中伴随着自身的体验，上升到意识的记忆被称做外显记忆。情景记忆就是外显记忆的典型表现。

但是，话说到这里，或许会有一些读者发出“哎呀”一声感叹。不同的人想到“华盛顿是美国第一任总统”的时候，还会带有不同的个人体验，比如“这是小时候邻居的叔叔告诉我的”等。但这里所联想到的就不再是语义记忆，而是情景记忆了。从这个意义上讲，情景记忆和语义记忆的界限就比较模糊了。不过还是让我们再来思考下面的事情吧。

比如，以前我曾经在电视中观看过在法国举行的世界杯足球赛，而且看到了高中时的学长——J联盟著名的主力队员中山雅史为日本踢进决定性的一球的情形。当时，我一边畅饮啤酒，一边兴致勃勃地观战。当看到射门成功的时候，兴奋得眼泪都快流出来了。直到第二天，兴奋的心情仍然难以平静。现在我回想起几年前的事情，就是一种情景记忆。但是，经过若干年之后，在电视前观战时那种兴奋的心情已经淡漠了，唯独“中山雅史在世界杯足球赛中为日本踢进决定性的一球”的事情还留在记忆之中，这里所引发的是语义记忆。前面我们已经论述了语义记忆就是知识，无论什么知识，最初都是在某种状况之下存储在头脑之中的。这种状况消失之后，仅存的知识就成为语义记忆了。

语义记忆是内隐记忆，所以没有一定的契机是不会想起的。我在旅游景点遇见那位年轻人的时候，怎么都想不起他是谁。也就是说，这位年轻人对我来说还是语义记忆。反过来，现在我总能想起那时遇到的那个学生，这一情景已经作为情景记忆留存

在我的头脑之中了。也就是说，情景记忆和语义记忆根据经历和时间是可以相互转变的。

一般来说，怎么想都想不起来或一时想不起来等状况是在语义记忆中经常发生的事情。考试过程中，无论如何都想不起答案，是由于这种记忆为语义记忆。考试前的复习中，硬塞在头脑中的知识通常为语义记忆，要想起这些知识是需要一定的契机的。当 1' 口-J N “华盛顿是什么人”时，就能够回答出“他是美国第一任总统”。如果这种契机不够充分，就无法想起这些知识，也就出现了一时想不起来的现象了。有时候，语义记忆中还会混入情景记忆，比如“就在课本的那页上写着呢”，这也同样可以成为提示记忆的契机。

另一方面，即使是同样的内容，采取不同的询问方法的时候，也会出现无法想起的情况。比如，用和刚才相反的方式询问“美国第一任总统是谁”，回答不出的人的比例就会增加，这就是一个很好的例子。总之，契机对记忆而言是一个非常重要的因素，也是语义记忆一个非常显著的特征。

话说到这，我想大家一定已经明白要想提高考试分数应该如何去做了。这并不是一件难事，只要将知识作为情景记忆，而不仅仅是作为语义记忆储存在头脑之中就可以了，这个话题我们留到第六章再详谈。

8 误解也是记忆吗

我们已经知道长期记忆分为情景记忆和语义记忆两种。美国的心理学家科恩和斯凯尔又发现了两种长期记忆，这两种长期记忆都是我们平时无意识之中的自然记忆，也就是内隐记忆。

比如，我们会穿衣脱衣，这是刚出生的婴儿所不能做的事情。我们在之前的某个时间，不知不觉之中已经记忆了穿衣脱衣的方法。现在，我们不用特意去想就能够穿衣和脱衣了。运动也是如此，没有一个人从最开始就非常擅长运动的，在反复不断的失败过程中，运动技能会自然而然地得到提高。

我们时常这样说——用身体去感知，“用身体感知”也是长期记忆的一种。当然，这并不是指用身体来记忆，也是用脑来记忆，这种记忆被称做程序性记忆。这种记忆对于行走、使用筷子、打字、打棒球等平时自然而然的行为起着非常重要的作用。情景记忆和语义记忆可以解释为 What is，程序性记忆则可解释为 How to。用专业术语来说的话，前者为陈述记忆，后者为非陈述记忆。

此外，还有一种记忆，就是促发记忆。这种记忆与其他的记忆有所不同，是一个比较难以说明的概念。促发记忆发现于 20 世纪 80 年代，在此之前人们对其一无所知。我们在解释促发记忆之前，还是先进行一个简单的实验吧！首先，先来读下面的文章。这是有关美国的一部动画片中的主人公大力水手鲍佩以及鲍佩喜爱吃的菠菜的故事。

鲍佩击败好斗的普路特的情景大快人心。鲍佩与普路特相比，体格处于绝对劣势，所以更激起了我们的同情心。吃了菠菜之后，鲍佩变得力大无比，

最终打败了常胜将军普路特，反败为胜。这种熟悉的模式会带给观众一种安心的感觉。众所周知，鲍佩的力量源泉——菠菜实际上是一种富含营养的食品。这个动画片的影响非常大，据有关方面报道，当时喜欢鲍佩、正值发育旺盛的孩子们都变得积极主动地去吃菠菜了。

上面的文章虽然只是一段平淡无奇的解说，但是或许大家在读过这篇文章之后，已经在脑海中看到了一些有关促发记忆的影像。在这篇文章里，“菠菜”这个词总共出现了三次。但不知道大家注意到了没有，第三次出现的并不是“菠菜”，而是完全没有含义的文字的罗列——菠菜。大家在读文章时，一定有人没有发现这个问题，而是马马虎虎地读成了“菠菜”。这是因为大家已经预先意识到了这篇文章的内容是关于“鲍佩和菠菜”的，所以就随意将其解释成了相近的词语。也就是说，在读到“菠菜”这个词之前，头脑中已经存储了以前曾经出现过的

“菠菜”这个词语，这个记忆比自身的意识优先识别了文字。这种无意识的记忆就是促发记忆。

除了这个例子之外，我们在日常生活中，时常会出现“误解”的现象。这一现象大多数都是由促发记忆引起的。这样一来，似乎使人对促发记忆产生了非常不好的印象。当然，事实并非如此。使‘用促发记忆的时候，无需特意逐字识别就能够顺利地读出“菠菜”这个词。促发记忆能够大大加快人们对所见事物的理解以及对自身所处状况的判断速度。

上面的说明或许有些烦琐，这里我再进行一下整理。记忆分为短期记忆和长期记忆。长期记忆还可以细分为情景记忆、语义记忆、程序性记忆、促发记忆。简单总结一下的话，就是：

A. 短期记忆：30 秒至几分钟的记忆，7 个左右的小容量。

B. 长期记忆：更长时间的记忆。

(1) 情景记忆：个人的回忆。

(2) 语义记忆：知识。

(3) 程序性记忆：身体所感知的事物的程序。

(4) 促发记忆：误解的根源——潜意识效果。

在这 5 种记忆之中，短期记忆和情景记忆都是处在个人记忆水准之上的外显记忆，所以能够有意识地回忆出来。相反，其余的语义记忆、程序性记忆以及促发记忆这三种记忆都是没有自我意识介入的，所以称之为内隐记忆。

这种记忆的分类方法是美国的心理学家斯凯尔所倡导的，现在我们把它称为“斯凯尔记忆分类”，这是最普通的记忆分类方法。下面我们再更加详细地阐述一下这些不同类型的记忆。

9 记忆的阶层

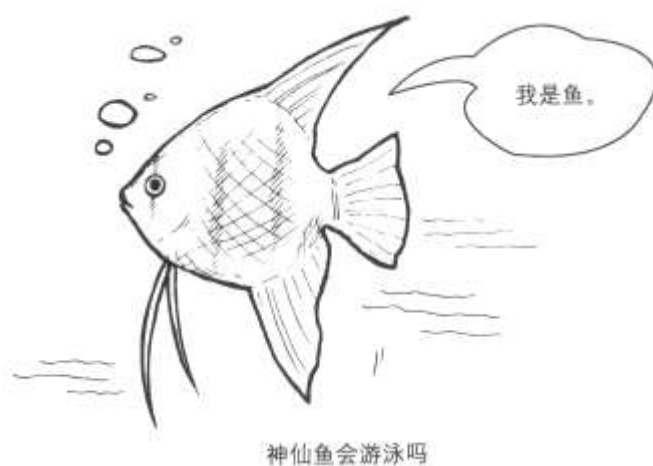
美国的心理学家柯林斯和金利恩曾经做了一个有关人类记忆的有趣实验，就观赏性热带鱼——神仙鱼进行简单的提问。这些问题都是随意的，但是能让回答者轻松回答，这种简单问题实验的效果比较明显。

“神仙鱼会游泳吗？”回答当然为“会”。接下来的一个问题是“神仙鱼会呼吸吗？”回答也是“会”。当听到别人向你提出诸如此类常识性问题的时候，你恐怕会大发雷霆，觉得自己被愚弄了。

这两个问题都引出了回答者储存在头脑中的语义记忆。但是，当对提问到回答之间所花时间进行测试的时候，结果显示，回答“会呼吸吗”这个问题比回答“会游泳吗”这个问题的时间要长。虽然是相同的语义记忆，回答所花费的时间却不同，这是为什么呢？

我想大家在回答完这两个问题之后，一定会察觉到这个问题。当被问到“神仙鱼会游泳吗”的时候，大多数人都会首先考虑到“神仙鱼是一种鱼”，然后才考虑到“鱼会游泳”，由此得出“神仙鱼会游泳”这个结论。也就是说，从被问“神仙鱼会游泳吗”到得出答案，通常要按照上述三个步骤来思考，这种典型的三段论方法在头脑中的运作只是一瞬间的事情。

那么，当被问到“神仙鱼会呼吸吗”这个问题的时候又是什么样的情形呢？大多数人会先考虑到“神仙鱼是一种鱼”，然后是“鱼是有生命的动物”，接下来是“生物都会呼吸”，最后才得出“神仙鱼会呼吸”的结论。也就是说，回答“会呼吸吗”这个问题比回答神仙鱼会游泳吗“会游泳吗”这个问题多了一个步骤。这种步骤的差别就造成了回答后者的时间相对长一些。



尽管都是有关同一种事物——神仙鱼的记忆，但并不是所有记忆都是以相同形式存储在头脑之中

的。虽然都是语义记忆，同样地并不都是以相同的标准记忆在头脑中的。就像刚才的例子那样，是分成了“神仙鱼”、“鱼”、“生物”几个阶段保存在记忆中的。此外，各个阶段的信息形成了相互联系的网络，从而创造出了“神仙鱼”这一概念。并且，由于引发处于不同阶段的记忆也是分若干步骤的，所以人们得出最终结果所花的时间有所不同。

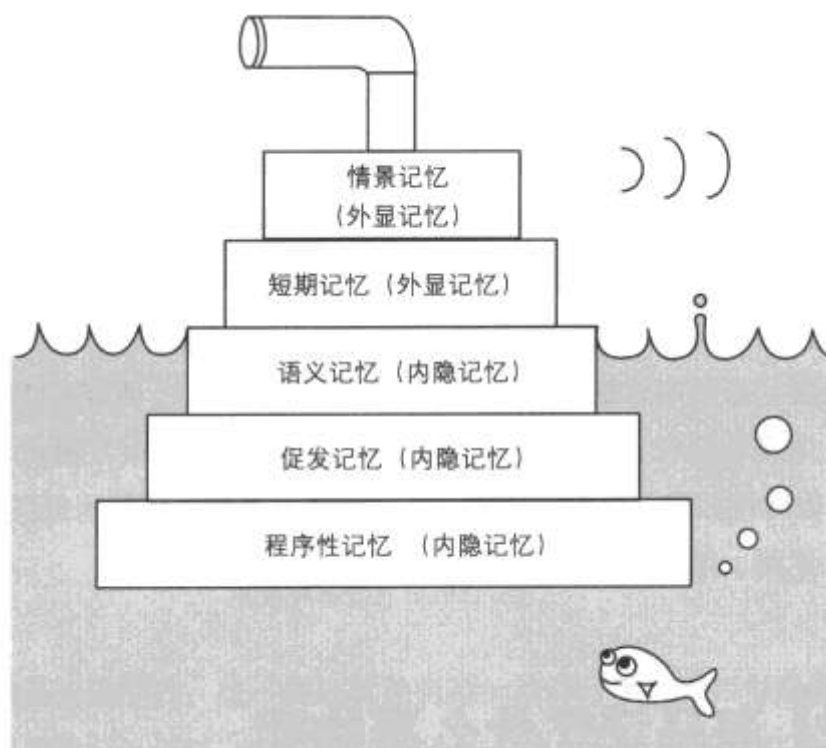


图8 记忆的阶层

分阶段进行记忆是非常重要的，这种方法并不仅仅限于语义记忆，也适用于其他种类的记忆。此外，之前我向大家介绍的 5 种记忆也相互形成了一定的体系，这就是加拿大的心理学家图尔文提出的记忆阶层(见图 8)。处在最下层的是程序性记忆，上面为促发记忆，然后是语义记忆、短期记忆，最上面的是情景记忆。阶层越靠下，就越原始，也就是对生命维持相对重要的记忆；阶层越往上，记忆内容的程度就越高。

这个阶层很好地表现了生物进化的过程。从进化论角度上看，越是低等的动物，位于下层的记忆就越发达；相反，越是高等动物，上层记忆就越发达。京都大学的松泽哲郎在 2000 年的《自然》杂志上曾经写道，黑猩猩短期记忆的能力与人类非常接近。当然，人类和其他动物相比，储存最上层记忆——情景记忆的能力非常高，这一点是毋庸置疑的。

此外，这个阶层也符合人类的成长过程。从幼儿发育为成人的过程中，最先发展的是程序性记忆，其次是促发记忆、语义记忆、短期记忆，发展最晚

的是情景记忆。我想大家都会有这样一种体验——几乎没有从出生到三四岁之间的记忆。这就是幼儿期健忘的现象，原因就在于情景记忆的发展相对比较晚。事实上，10岁之前，语义记忆发展迅速，过了这个年龄，情景记忆就逐渐占了上风。

相反，有些人随着年龄的增长，记忆力减退，会出现健忘的症状，这是因为记忆开始从最上层消失。首先，情景记忆的能力逐渐衰退，比如，日常生活中经常忘记把东西放在哪里，更严重的时候甚至忘记是否吃过饭，这是痴呆症初期的一种症状。随着症状的发展，语义记忆也开始消失，甚至连自己周围的亲朋好友都记不得了。但即使如此，最深层的程序性记忆还是得到了较好的保存，穿衣、走路、用筷子吃饭等记忆还一直保留着。

10 海马记忆什么事物呢

记忆的这种阶层表明每种记忆的机制都是各

不相同的。那么，在这 5 种记忆之中，哪一个是与海马相关联的记忆呢？这个答案也是通过 H. M. 的病例研究得出来的。

前面我们已经讲过，被切除了海马的 H. M. 显示出顺行健忘的症状。H. M. 完全记不住当天发生的事情，至少说明情景记忆已经显示出严重障碍，但也并不是完全丧失了记忆的能力，这一点在后来的研究中得到证实。

研究人员让 H. M. 一边看着镜子，一边写文字和画图形。大家只要实际做过就一定知道，镜子中所映出的手的动作和现实中是左右相反的，所以这样来书写文字或画图十分困难。但是，H. M. 通过 3 天的训练，逐渐能够非常顺利地进行书写了，而且书写的速度和镜像书写训练程序性记忆平常人大致相同。这一课题就是所谓的身体(手)感知程序测试，即程序性记忆测试。也就是说，H. M. 的程序性记忆是正常的。当然，由于 H. M. 已经丧失了情景记忆，所以完全记不起进行镜像书写训练的事情，只不过书写的技术提高了。



镜像书写训练程序性记忆

像这样，研究人员对 H. M. 进行各种测试和实验，进行了更为详细的研究，结果表明，H. M. 只是丧失了情景记忆和语义记忆，这也就说明了海马与情景记忆、语义记忆存在着密切的关系。我们在日常生活中经常使用到的一些记忆就是由海马负责管理的。比如，与人初次见面后记住对方的面孔，记住回家的路线，记住麻将牌的读法，考试前的知识记忆等，这些时候海马都起着非常重要的作用。

顺便再提一下，最新研究表明，短期记忆和促发记忆由大脑皮层管理，程序性记忆主要是由纹状体(位于大脑皮层内侧的基底核)和小脑控制的。运动能力(程序性记忆的一种)和小脑有着特别紧密的关系。实际上，小脑最发达的动物是鸟类。鸟在天空中自由翱翔，它们的飞翔能力是靠出众的运动神经支配的，这一点并不难想象。

另外，从 H. M. 的病例之中，大家也可以了解到海马的另一个重要性质。H. M. 虽然记不住每天的所作所为，但是却没有忘记 11 年前的往事。而且，H. M. 每天也阅读报纸、杂志，能够和别人交谈。也就是说，他能够正常记起过去所记忆的文字和语言等信息，对于 11 年前的事情也并非一无所知，记忆里还残留着一部分事情和知识。这些现象都表明了一个重要的事实，即即使没有海马也仍旧可以想起从前的事。虽然海马对于记忆非常重要，但对回忆却没有太大的意义。

这也说明了记忆并不是存储在海马之中的。也就是说，海马所形成的记忆存储在了海马之外的其

他地方。实际上，除了研究 H. M. 的病例，科学家们还进行了更多的研究，现在大致已经确认了海马只是暂时存留记忆的场所，记忆最终保存在海马之外的其他地方。海马存留记忆的时间最长也不过 1 个月左右。超过了这个期限，记忆就转移到了其他地方，并在那里长期储存下来。那么，记忆最终保存在大脑的什么位置呢？

11 记忆的仓库

记忆究竟储存在脑的什么位置呢？关于这个问题，还有一个有趣的实验。大约在 50 年前，加拿大的神经外科医生潘菲尔德进行了研究。潘菲尔德是癫痫病专家。当时还没有能够有效治疗癫痫病的药物，所以大多要通过外科手术来治疗。癫痫病是由于脑的一部分神经细胞活动异常而产生的病症，所以手术就是要切除异常神经细胞。

潘菲尔德为了探明癫痫的发病场所，采取了电流刺激脑部的办法。也就是说，如果病灶的神经细胞受到刺激，患者就会出现病发的状态。在整个手术过程中，医生并没有给患者注射麻醉药，只是让他服用了止痛药来抑制疼痛。也就是说，医生在患者意识完全正常的状态之下打开了头盖骨，然后接通电流，用针(电极)去刺激显露出的脑部，这是一个难度很高的手术。在潘菲尔德的努力下，这种治疗方法取得了很好的效果。此后，约有 1000 名患者都相继接受了潘菲尔德的治疗。

潘菲尔德在进行这种治疗的过程中，发现了一个非常奇妙的现象。当脑的某个部位受到刺激的时候，患者就会想起以前曾经看过的风景，或清楚地听到一段熟悉的歌曲或孩子的声音什么的。当然，事实上患者面前只有实验室的情景，并没有什么音乐。但是，脑部受到刺激的患者却会觉得好像重新体验了一次自己过去的经历。潘菲尔德当时刺激的部位是颞叶，也就是说，记忆是可以提取的完整形态储藏在颞叶里的。



回想起过去的情景

潘菲尔德的实验

现在，医疗水平取得了很大的进步，所以医生已经不会再采取那种粗鲁的方式来治疗癫痫病了。从这个意义上讲，50年前潘菲尔德的研究现在已经成了非常宝贵的资料。但是，从另一个角度来看，因为那个实验的时间毕竟比较早，一些研究人员曾经指出潘菲尔德的实验在精确程度上存在着一些问题。比如，当时的仪器是无法对电流刺激的强度进行精密控制的，所以究竟要对多大范围内的脑部位

进行刺激并不十分明确。而且，在约 1000 名的患者之中，曾经体验过往事重现的人不过才 40 人左右，因此后来的研究人员曾经指出，往事重现现象概率过低。但是，尽管存在着很多的问题，用电流刺激颞叶，会强制性地引发记忆的发现仍然引起了世人的极大关注。后来，研究人员利用猴子进行的研究确认，记忆的保存场所就在颞叶。

记忆储存在颞叶这一事实非常有趣。让我们再来看一下图 7。信息由颞叶进入海马，然后这一信息经过加工处理，在海马中按顺时针迅速旋转一周之后，再次回到颞叶。由颞叶而来的信息在海马中停留 1 个月左右，又重新返回到颞叶。进入海马的信息是人们看到、听到、感知到的综合信息。这一信息由海马进行适当处理之后，会再次从海马中提取出来，提取出的信息就作为记忆保存下来。

海马对应该记忆的信息进行取舍选择，然后将其输送到记忆储存库。海马可以称得上是“信息的筛子”了，也可以说是记忆的分类员。海马在我们没有觉察的情况下，将信息分成记忆的信息和无需

记忆的信息。进入海马的信息包括看到的事物、听到的声音、触摸到的东西、闻到的味道、感知到的滋味等，但并不是所有的信息都会一丝不漏地作为记忆储存起来，而是从中选择应该记忆的信息，进行高效的记忆。在脑中进行这种分类工作的就是海马。反过来说，我们只有充分理解了海马的作用，才能有意识地控制自己的记忆力。关于这一点，我们会在第六章中进行详细的说明。在这里，大家应该记住——获取的信息会在海马中停留 1 个月左右，之后海马会将其中应该记忆的信息送还到颞叶。

12 刻画“命运”的海马

现在，我们已经知道海马具有非常重要的作用，它是记忆的关键，可以称做是记忆的司令部。正是由于这个原因，研究人员对大脑中的海马产生了极大的兴趣，他们已经从各个方面对海马进行了许多

实验和研究。下面，我就从众多的研究中举两个重要的发现—— θ 波和处所神经细胞。

θ 波是一种脑波。大家都知道，脑波有 α 波和 β 波等。当脑处于放松状态的时候，会产生 α 波，所以能够促使 α 波产生的古典音乐或安静的环境对人的身心健康都非常有益。而人们对 θ 波的熟悉程度却不如 α 波。 θ 波主要是海马发出的一种脑波，其特征是以每秒 5 次的频率(5 赫兹)波动，这种频率叫做 θ 节奏。

但是，海马并不经常发出 θ 波， θ 波只是在某些特定的时候才产生。当遇到新事物或到了一个陌生的环境，需要了解各方面信息的时候，海马就会明显地发出 θ 波。如果你遇到了迄今为止从未遇到过的东西，海马就会发出 θ 波，并开始活动。并且，海马还会试图记住眼前出现的这个事物。 θ 波表现为试图记忆的意志形态。

相反，人在百无聊赖，墨守成规或对周围事物失去兴趣的时候，就不会产生 θ 波。只有人在充满兴趣地发现和思考事物的时候， θ 波才会随之产生。

我们经常会有这样的体验——兴致勃勃地学习总比百无聊赖地学习效果更好，记忆力更强一些，这与海马发出的 θ 波有关。所以，要想提高记忆力，就要对需要记忆的事物抱有浓厚的兴趣，促使 θ 波产生，从而使得海马的活动更为旺盛。



《命运》的旋律是 θ 节奏

贝多芬的《命运》交响曲的开头是大家非常熟悉的旋律——“当、当、当、当”。最开始的四个音

符就是 θ 节奏。当然，在这位作曲家活跃的时代，人们对 θ 波还一无所知。但是，这首曲子的 θ 节奏却给人一种激动人心、富有生命力的感受。

13 海马是地图

20 世纪 70 年代，有关海马的研究取得了划时代的巨大进步。先驱者就是英国的脑科学家阿·基夫，他于 1971 年在《脑研究》杂志上发表了自己的研究报告。阿·基夫曾经用细微的电极去刺激老鼠脑中的海马区，观察阿蒙氏角的锥体细胞的活动情况。研究报告中还详细记录了老鼠在屋中自由活动的时候，它的神经细胞活动情况。结果表明，该神经细胞仅在老鼠处于屋子中某一特定处所的时候才活动，其他的神经细胞也仅在其他特定“场所”的时候活动。也就是说，只有当老鼠处于某一场所时，锥体细胞才有反应，进行活动。这种神经细胞就叫做处所神经细胞。

这种神经细胞可以记忆事物在空间的某一特定位置，当老鼠来到这个地方的时候，神经活动就开始了。处所神经细胞只在老鼠处于某个特定场所时活动，下页的图 9 就表现了处所神经细胞的实验方法。实验者无需亲眼去看跑来跑去的老鼠，而是通过监视器来观察处所神经细胞的反应，从而准确判定现在老鼠在什么位置，这就说明了处所神经细胞井然有序的活动模式。此外，研究表明，老鼠也是通过海马的处所神经细胞的活动模式来判断自己当前所处位置的。

θ 波和处所神经细胞

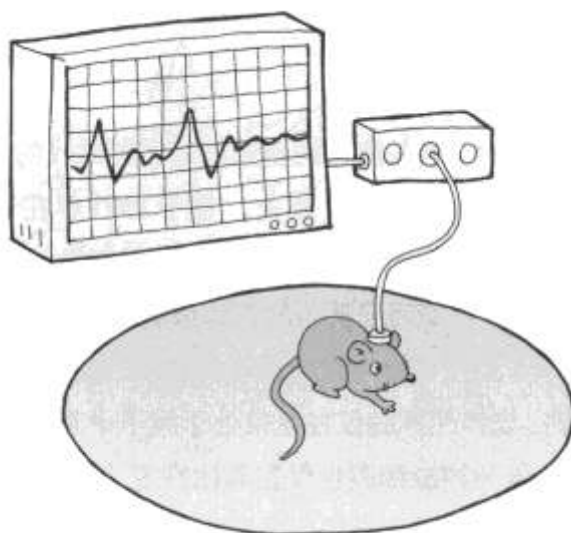


图 9 记录老鼠脑中海马神经细胞的活动

处所神经细胞有一个非常重要的性质——处所神经细胞的活动仅仅受到处所信息的影响，与老鼠身体面向哪个方向没有关系。这一事实说明了非常重要的一点，即眼前看到的景色或风景和处所神经细胞的活动基本没有关系。总之，只要处于那个地点，处所神经细胞就会作出相应反应，并进行活动。反应对象是“处所”这个抽象的概念。

比方说，即使屋里突然停电，四周一片漆黑，摸着黑来到了那个地方，这时处所神经细胞仍然会作出相应的反应。所以，眼睛有障碍的人也有处所神经细胞。即使眼睛看不见，也可以知道屋里的情况，比如桌子在屋子的什么位置，床在哪里，门在什么地方等。海马的处所神经细胞并不是仅仅凭借眼前所见的事物来判断场所的，而是运用一种综合的感觉来进行判断的。海马中有处所神经细胞所描绘的周密地图，利用这个地图就可以确定现在所处的位置了。

处所神经细胞仅存在于海马之中。从这一点上来说，人们发现处所神经细胞的时候，就了解到了

海马对于空间概念记忆的重要性。比如，老鼠在水迷宫中寻找避难浅滩，并记住相应位置的记忆。对人类而言，海马对于某地有某物的信息、有关路线的记忆、立体图形的想象、图画或文字的书写等都是至关重要的。这个理论当然是正确的。但是，后来的研究表明，海马中还有一种神经细胞，不仅仅会对场所产生反应，对声音或气味等也会产生相应反应。现在，我们已经了解到，从眼、鼻、手、耳、舌等获取的各种感觉信息都会进入海马，并在那里进行加工处理。这些信息都是形成个人经验的必要资料。对何时何地看到什么、听到什么、感觉到什么等诸如此类的资料进行整理，找出其中的联系，形成记忆——经验。这种经验就是情景记忆。

14 婴儿脑中没有海马

在结束本章之前，再说一个有趣的话题。前面我已经说过，海马中齿状回的颗粒细胞具有分裂、

增殖的能力。一般的神经细胞都是刚产生的时候数量最多，随着年龄的增长，数量逐渐减少，因此，神经细胞增加是海马的齿状回所具有的独特性质。

但是，齿状回还有一个特别的性质。这就是在刚生成的脑中，齿状回尚未发育完成。齿状回主要是在出生之后形成的。其中的原因现在尚未明确。大概是因为脑中最先发育的是对生命而言更为重要的机能，比如呼吸、身体活动、进食、排泄等，而记忆是一种对生存更有用的能力，所以像这种并非绝对必要的机能会在出生之后完成。

总之，海马尚未发育完全的婴幼儿还不能很好地运用海马形成记忆。一般来说，海马初步成形大约在两三岁的时候。事实上，幼儿期健忘的原因就在于幼儿时期的情景记忆尚未形成。

老鼠出生后大约要经过两三周的时间齿状回才完全形成，这和人类的情况大致相似。过了这个时期之后，老鼠就开始独自在洞穴周围活动了。这大概是因为老鼠已经形成了空间记忆能力，逐渐能够按照自身的意志自由行动了吧。

顺带还要说一下，加拿大的精神神经学家米尼于 2000 年在《自然神经科学》杂志上发表了研究报告。报告中写道，经常受到父母舔拭、爱抚，在亲情浓厚的环境下成长的小老鼠，脑中的海马会发育得更加成熟，记忆力也会更好。这一点和人类培育子女有共通之处。

此外，法国的心理生物学家阿布拉拉斯在 2000 年《美国科学院院刊》中汇报了自己的研究成果。研究中指出，用照明设备在一天中照射昏暗的老鼠洞穴两个小时，用这个方法造成妊娠中的老鼠精神上的紧张感，小老鼠出生之后，它的颗粒细胞的增殖率不高。更可怜的是，这只小老鼠长大之后，海马的机能低于一般水平，其一生的记忆力都相对低下。也就是说，母亲精神紧张会对孩子的一生造成很大的影响。这个研究结果同样给我们人类的生活带来很大的启示。

抚育幼儿或妊娠中的母亲的紧张感对孩子发育成长非常不利，我想任何人都会感觉到这一点。

这一系列研究从本质上向我们证实了大家的这种直觉。

同样，世界上研究颗粒细胞增殖情况的脑科学家们也提出了各种各样有趣的研究成果。比如，只吃软质的食物会导致颗粒细胞的增殖能力降低。“用力咬食硬质的食物可从整体上刺激大脑，所以对大脑有好处”，从前这个观点是比较模糊的。现在研究人员已经通过颗粒细胞的研究具体阐明了这一理论。此外，还有报告指出，走出社会，积极与人交往要比孤独、封闭的生活方式更能促进神经细胞的增殖，我们只要回想一下日常的生活就会立刻赞同和理解这个观点了。顺便还要指出的是，这个研究报告还指出，异性间的交往要比同性间的交往更能提高颗粒细胞的增殖率。

此外，还有一些因素也可提高颗粒细胞增殖率，比如，众所周知的适度运动(如慢跑等)或轻微节食。而饮酒过度、身心压力过大或麻醉剂等都是导致颗粒细胞增殖率降低的因素。大家参考一下上述研究

结果，在日常生活中注意改善自己的生活习惯，就可以提高神经细胞的增殖率了。

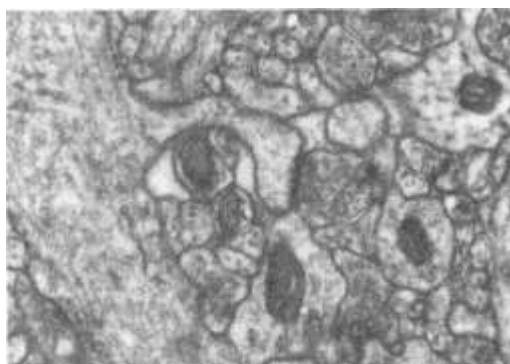
通过前面所述，我们了解到海马具有脑的其他部位所没有的独特性质。这也证实了海马是脑中一个独特的部位，是记忆中特殊的重要组织。正是由于海马具备了这种特殊能力，才能发挥高层次的机能。

那么，海马的神经细胞是如何形成记忆的呢？下面，本书就将转入到有关微观记忆的话题之中。

第三章 人脑和电脑哪个更优秀

电流信号的传导速度是每秒 30 万米，电脑可以在很短的时间内准确地进行复杂的计算；神经细胞的信号传导速度不过每秒 100 米，人脑不但计算速度慢，而且准确率不高，这样看来似乎电脑比人脑更优秀。但事实上，人脑不仅有着精巧的结构，还有着精密的运作方式，人脑要远比电脑优秀！

下面，就让我们进入脑的微观世界，一起探寻记忆现象的实质。



电子显微镜下海马的神经细胞(部分)

1 形成网络的神经细胞

为了让大家更好地理解微观的记忆，首先要对大家已知的神经细胞的性质进行说明。

那么，为什么一定要对神经细胞的性质进行特别详细的说明呢？因为神经细胞具有与体内其他细胞所不同的特殊性质。当然，既然名为细胞，就一定具备 DNA、细胞核、线粒体等细胞基本的组织结构。但是，神经细胞还具有其他细胞所没有的独特结构——神经突起。神经突起是由神经细胞延伸出的线形纤维，神经细胞的特殊性就在于这个神经突起。

图 10 所拍摄的就是神经细胞，这里只拍了一个神经细胞。仔细进行观察，我们可以看到，从具有 DNA 和细胞核的细胞体中沿照片右上方延伸出一条线状物，这就是神经突起。实际上，这张照片中的细胞是在我的研究室中培养的海马神经细胞。当

然，神经细胞通常是在脑中活动的，但是也可以像照片里那样，在浅底盘或烧瓶中人工培育。培育方法很简单，只要积累一定的经验，任何人都能够培育出神经细胞。

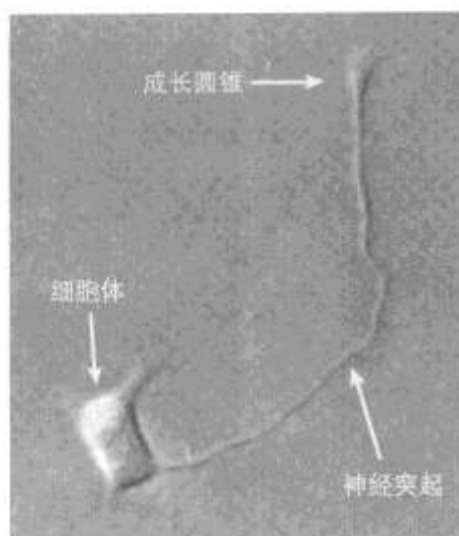


图 10 人工培育的海马神经细胞

观察人工培育的神经细胞，我们就会了解到所有的神经细胞都有神经突起，这是没有例外的。不论哪种动物的哪种神经细胞，都具有神经突起。神经细胞天生具备神经突起这样的特征，而这种特征也是判定神经细胞的证据。

那么，为什么神经细胞会有神经突起呢？这是为了探寻自己的同类。正如图 10 所显示的那样，神经细胞正在努力寻找同类的神经细胞。在神经突起的前端还有一个特殊的构造——成长圆锥。大家仔细观察一下这张照片，就能够发现成长圆锥恰好呈伸展开的手的形状。这只“手”具有天线的作用，能够感知到同类的神经细胞位于哪个方向，和昆虫触角的作用相似。神经细胞可以利用这根“天线”，有效地将神经突起伸向同伴所在的方向。

神经细胞培育一段时间之后，终于找到了同类细胞，神经细胞之间可以通过神经纤维(由神经突起延伸而来)连接在一起。下页图 11 左图所拍摄的就是通过神经纤维连接在一起的神经细胞。照片中共有两个神经细胞，但神经细胞所延伸出的神经突起却不止一条。一般来说，每个神经细胞会有若干条神经突起。照片拍摄的是在浅底盘中培养了一周左右的神经细胞。可见只需几天工夫，神经细胞就能够形成这样的神经线路了。不知不觉中，浅底盘中

的神经细胞伸出了突起,并构成了精细的神经线路,这种旺盛的生命力真是让人佩服。

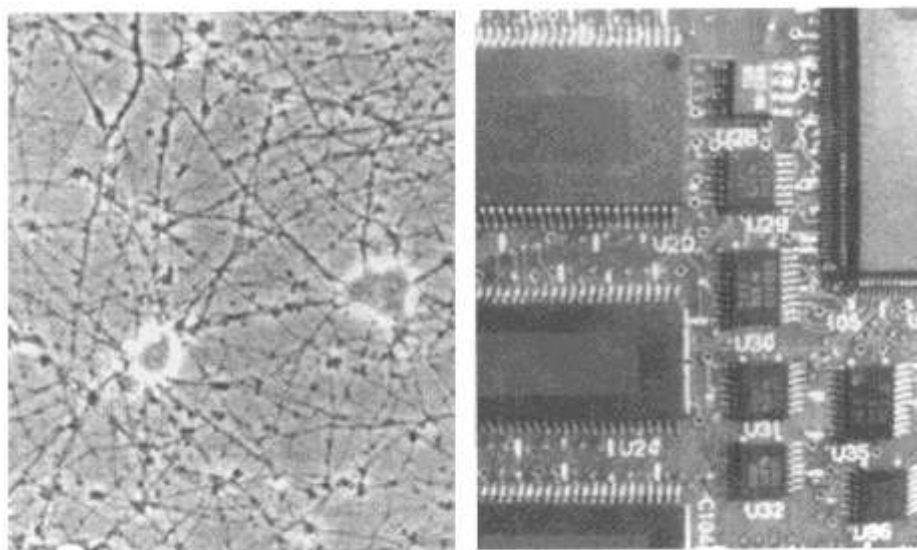


图 11 神经线路和电路

当然,大家的脑中也发生着同样的现象。但是因为约有 10004L 个神经细胞紧密地排列在脑中,脑中的实际情况要比浅底盘中所观察到的情况复杂得多。正如我们已经论述过的那样,一般来说,一个神经细胞会通过神经纤维同 1 万个同类细胞连接在一起。大家可以想象一下,在我们的脑中,包含有

约 1000 亿个这样拥有 1 万条神经线路的神经细胞。这是一个令人头脑发胀的庞大数字。我们人类就是利用这种复杂、精密的神经线路进行感知、想象和记忆等各种各样的活动的。

2 神经线路和电路

图 11 右图所拍摄的是电脑的集成电路。电脑是人类智慧的结晶，也是现代文明的珍宝，这一点是毋庸置疑的。电脑可以超高速地对庞大信息进行处理、储存等复杂作业。当然，这种作业是由电脑内部复杂的电路完成的，这一点与大脑使用神经线路的行为很相似。

实际上，神经线路和电路之间存在着若干共同点。比如，二者在线路中传导的信息都是电流。或许有人会感到很奇怪：“电流在神经线路中流动？”但在日常生活中，我们经常会在一瞬间清楚地感受到神经信号就是电流。

比如，冬天脱毛衣的时候会产生让人讨厌的静电。人之所以会产生像针扎一样的发麻的感觉，就是因为静电传导到神经纤维之后，又作为神经信号传到了大脑。当电流变得比静电还要强的时候，比如，当你触到家用电源的时候，手脚会无意识地自由活动。这是因为电流进入了原本传导活动手脚命令的神经线路中，此时手脚的活动与大脑的指令并无关系。通过这个事实，我想大家一定可以真切地感受到神经线路的信号就是电流。

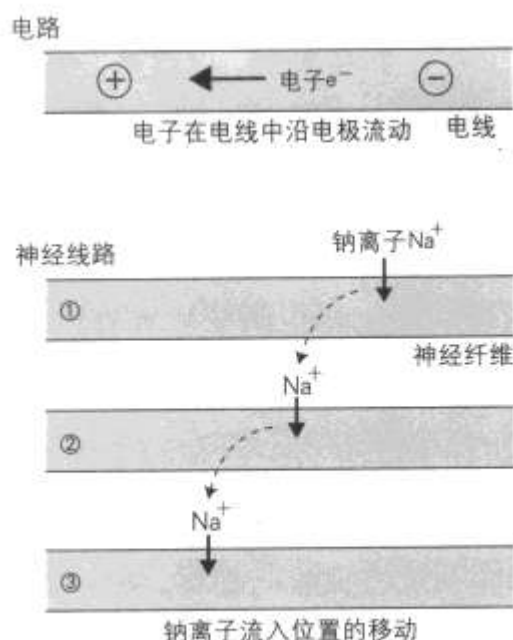


图 12 神经线路和电路中所流动信号的区别

虽然同样都是电流，但在神经线路和电路中，传导电流的实体却是不同的。电流中流动的是电子，而神经线路中的是离子。神经线路主要是通过金属离子——钠离子的流动来传导电流信号的。此外，在神经线路和电路中，电流的传导方式也大相径庭。正如图 12 所显示的那样，在电路中，电子在电线中是沿电极流动的；而在神经细胞中，钠离子是从细胞(神经纤维)的外侧向内侧流动，并朝着该信息所应推进的方向传导。这是一种非常奇异的组织结构，这种结构不仅存在于人类的脑中，也存在于其他的动物的脑内，所有的神经细胞都具有这种共同的机制。这应该是在长期的自然淘汰的过程中生成的、最适合生物生存的电导方式吧。

另外，神经细胞为什么在众多的离子中选择了钠离子呢？因为在进化初期，动物都是生活在海洋中的。海水中数量最多的金属离子就是钠离子(盐分)。神经细胞之所以选择钠离子大概是因为钠离子的资源最丰富，比较容易利用。反过来，钠离子所形成的电流信号又说明生命的确是在大海中产生的。大

海被称做“生命之母”，在这里还残留着生命的足迹，这也体现了生物有趣的一面。

在这里，希望大家记住几个用语。首先，钠离子从细胞外一齐向细胞内流去，由此引起的电位的变化被称做动作电位(神经脉冲)。由此，神经细胞会产生神经兴奋。正如图 12 所示，动作电位是沿神经纤维传递的，称为传导。复杂的神经线路布满整个大脑，动作电位就是通过在神经线路中的自由流动来传导各种信息的。动作电位是神经细胞相互进行交流的语言。动作电位是英国的生理学家谢灵顿和阿德里安在 1932 年发现的。英国的生物学家霍奇金和赫胥黎则详细阐明了动作电位的实体是离子流的现象，并于 1963 年获得了诺贝尔医学·生理奖。

在这些科学家们取得伟大成果之后，神经细胞的信号又得到了进一步的详细解析。现在，我们已经知道神经纤维上存在着无数个可供钠离子有选择通过的小洞，这个洞被称做通路。神经通路是分子总量可达 30 万的巨大蛋白质。这个通路可以自由地进行开合。

细胞外充满着液体(体液)，其成分与海洋的离子构成非常相似。大家可以回想一下，当我们舔拭到汗水或泪水的时候，会尝到一种咸味，这就是因为细胞外侧存在着大量与海水成分相同的钠离子。因此，当通路打开的时候，钠离子会以一定的浓度流入细胞内。

图 13 表现了钠离子通路的开合机制。脑科学家们曾经思考过这样的问题：通路的开合究竟是因为通路上“盖子”的开合，还是因为洞的直径扩大或缩小呢？然而，最近的科研成果揭开了有关通路开合机制的惊人事实。刚才那两个设想都不对。研究表明，通路的内壁上有 4 根平行的小棒，它是通过小棒的迅速回转来控制开合的。

这 4 根小棒都带有一定的电荷。当通路处于闭合状态的时候，4 根小棒的正极部分都旋转到壁外，于是，正电荷会与钠离子的正电荷相斥，从而阻碍钠离子的流入。一旦小棒回转，正极部分隐藏到壁内，通路就处于打开状态。因此，钠离子不会受到排斥，能够自由地流动。通路就是通过这种巧妙的

机制适时运作，大体上以 10^{-3} 秒的频率开合的，从而很好地传达动作电位。从中我们不难窥视到美丽的生命现象的精髓。

此外，河豚体内所带有的毒素——有名的河豚毒素会导致通路从外侧闭合，阻止钠离子的流通。这是杜克大学的酉桥敏夫得出的研究成果。也就是说，所谓河豚中毒就是由于神经细胞的动作电位到抑制而导致人体麻痹的症状。

在电路中，电子在电线中是沿电极流动的。在神经细胞中，钠离子流经的位置(通路)是像多米诺骨牌那样逐次打开，并通过这种方式来传导动作电位。和电路相比，神经线路的组织结构更为复杂一些。所以神经线路的信号传导速度同电路相比也慢很多。在电路中，电流的传导速度和光速相同，即每秒 30 万千米。在神经细胞里，动作电位的传导速度最快也不过每秒 100 米而已。从这点来看，神经线路要比电路逊色许多，不过动作电位的传导速度还是可以和磁悬浮列车相匹敌。

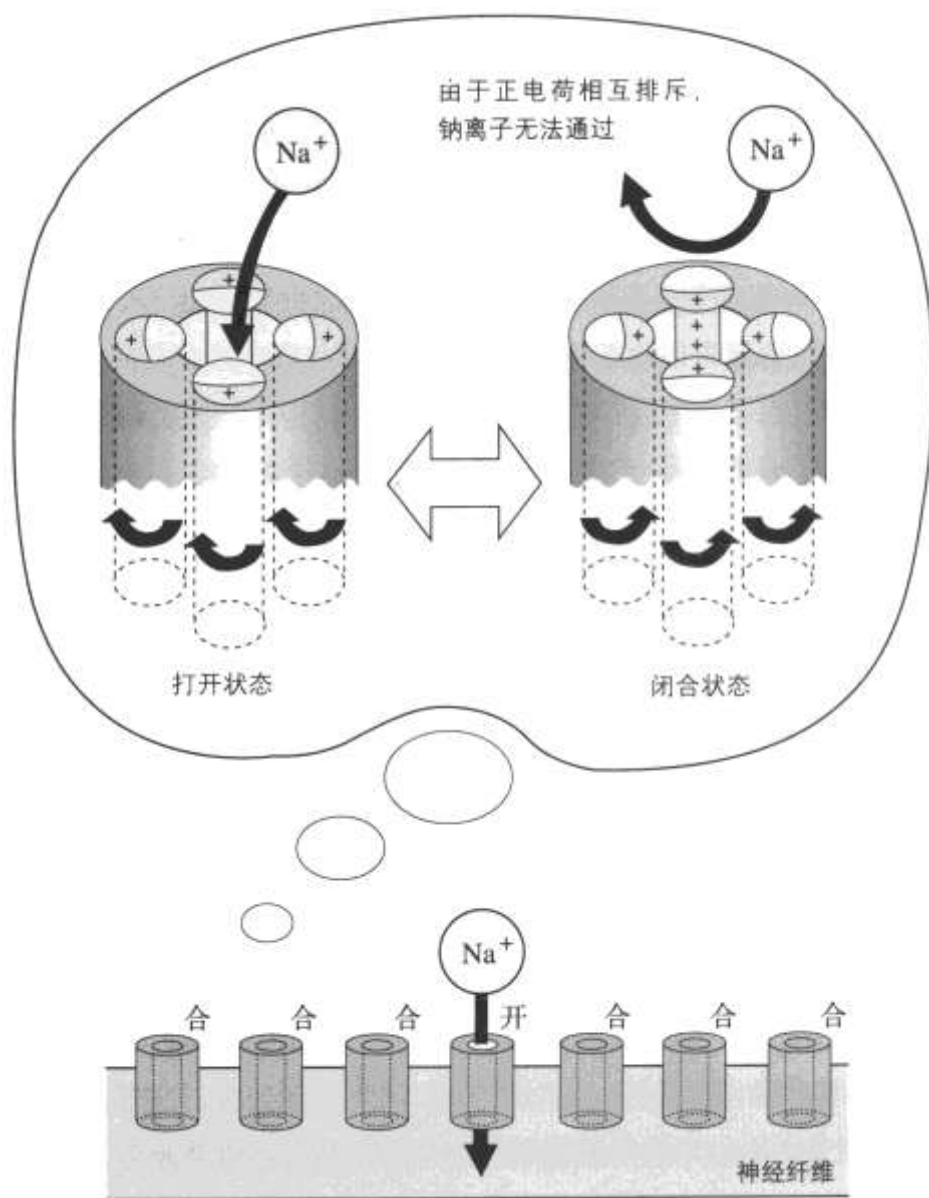


图 13 钠离子通路的开合机制

3 信号的换乘站——突触

在这里，我还要说明的一点是，神经线路与电路是截然不同的。电路是通过电流流经整个线路的导体连接在一起的，如果线路的某个地方稍有一点断开或被隔开的话，电流就无法流动了。家用电器开关的闭合以及由于接触不良等原因造成的故障都是源于电路的这一特性。但是，神经线路的情况却与之大不相同。正如图 14 所示，神经细胞之间是通过神经纤维连成的线路，各个神经纤维之间不存在物理上的连接。构成神经线路的各个神经细胞之间也不存在电流流动，是完全独立的。

神经线路与电线不同，它的纤维与纤维之间是相互隔绝的，还有一个比较小的缝隙。因此，沿着纤维进行传导的动作电位必须在分界处进行转换，传导给下一个神经细胞。就像打算乘电车从北海道去鹿儿岛，但是却没有直达的电车，只能在中转站换乘。

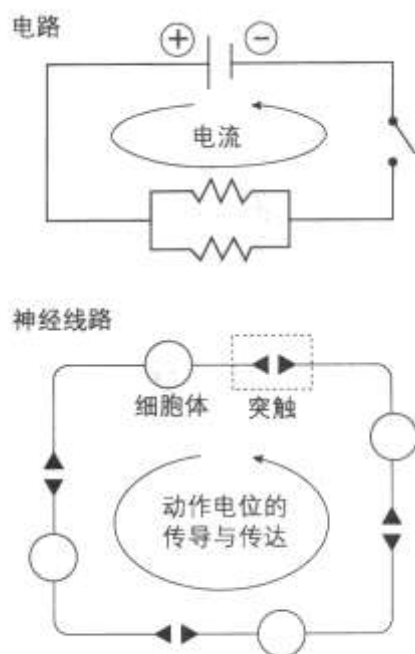


图14 神经线路和电路的简化图

一般我们把神经线路中的换乘站称做突触。而突触处的神经细胞之间的空隙则被称做突触间隙。动作电位在突触间隙处进行转换的行为叫做“传达”。前面我们已经说到，动作电位沿神经纤维流动的行为叫做“传导”，它与“传达”——动作电位被下一个神经细胞所承继的行为是截然不同的。这两个术语非常相似，大家注意一下，可以按照图 15 所示进行区分和使用。

下面我们就详细说明一下突触传达的问题，充分理解这一概念是理解记忆的第一步。突触间隙大约为 20 纳米，这是一个极其狭小的空间——只相当于头发直径的 $1 / 4000 \sim 1 / 5000$ 。但是，由于它们之间是完全隔绝的，所以电流信号即动作电位是无法直接通过突触的。那么，动作电位究竟是如何跨越这个间隙，将信号传达给下一个神经细胞的呢？神经细胞利用了一个非常巧妙的手段——用“化学信号”这一接力棒来代替电流，通过这个媒介来传达动作电位。也就是说，神经细胞是利用化学物质来进行“投接球”的。这个球就被称做“神经递质”。

神经细胞使用了很多种神经递质，目前所知的就不下 100 种。其中，大家比较熟悉的有肾上腺素、血清素、多巴胺等。但是，这些神经递质只不过对神经信号传达起到一种辅助作用。从本质上说，在神经细胞中，更重要的神经递质是乙酰胆碱和谷氨酸。

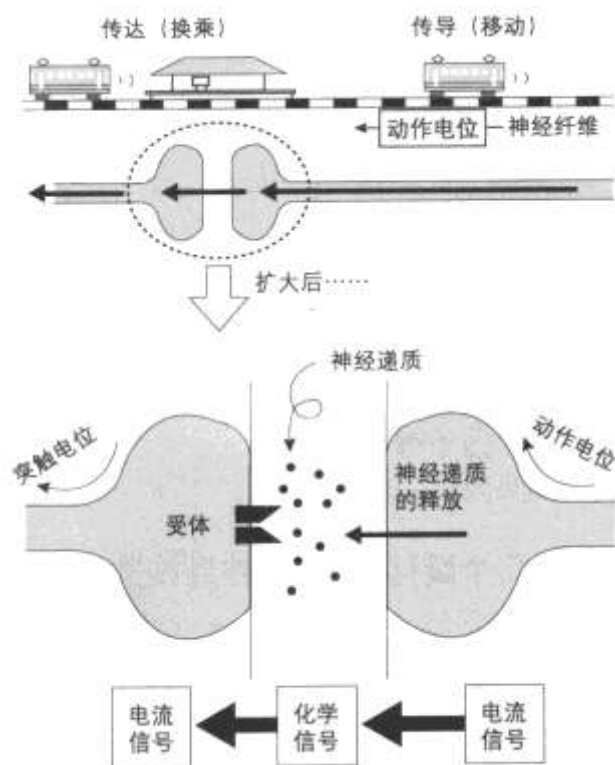


图 15 突触传达的机制

乙酰胆碱是 1933 年发现的，它是神经递质中最早被发现的物质。神经细胞在传导肌肉活动指令的时候利用的就是乙酰胆碱。此外，海马发出的 θ 波也是基于乙酰胆碱。

谷氨酸是一种氨基酸，其中含有一种舌头可以感知到的甜味成分。海带汁液所带有的甜味主要就

是谷氨酸。谷氨酸是一种化学调味料，在市场上可以买到，所以人们可能对于这种甜味成分有一定的认识。实际上，谷氨酸是大脑中含量最多的神经递质，人脑中大多数的神经信号都依赖谷氨酸来传达的。海马的主要突触也同样在使用谷氨酸这种神经递质。

4 突触的结构

这里又产生了几何疑问。首先，神经细胞是如何将动作电位这种电流信号转换为以神经递质为媒介的化学信号的呢？1973年，英国的神经科学家霍扎和里斯给出了明确的答案。实际上，神经纤维的顶部有一个个小口袋，里面充满了谷氨酸、乙酰胆碱等神经递质，当电流信号到达这个地方的时候，口袋内的神经递质就会释放出来。这个小口袋被称做突触小泡。

图 16 中的照片是在电子显微镜下拍摄的照片，它抓住了突触小泡释放神经递质的决定性的一瞬间。图中下方的照片是一部分突触小泡同突触间隙黏结在一起，开口一下子张开的情景。一般来讲，海马中的一个突触小泡内约含有 3000 个谷氨酸分子。当动作电位到来的时候，突触小泡内的谷氨酸会一下子释放出来。这就是将电流信号转换为化学信号的巧妙构造。

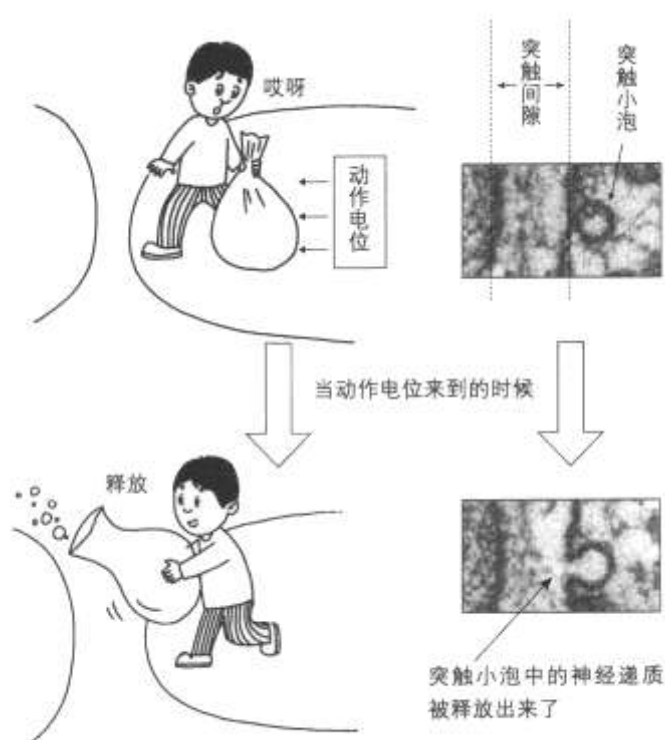


图 16 神经递质的释

接下来的一个疑问是——这个化学信号是如何在下一个神经细胞中转换为电信号的呢？下一个神经细胞要生成动作电位，就需要通过投接球的方式将飞来的“球”（神经递质）重新转变为电信号。揭开这个谜底的关键就在于接球的“手套”。这个类似手套的东西被称做受体。

受体是由所接受的“球”的种类决定的，根据神经递质的种类不同，受体也不同。乙酰胆碱的受体只能接受乙酰胆碱，谷氨酸的受体只能接受谷氨酸。图 17 中的俯视图显示的就是乙酰胆碱的受体的影像。这是利用一种叫做极低温电子线回折法的最新技术，在电脑上勾画出的乙酰胆碱受体的整体图像。受体比较小，只有 10 纳米(10^{-5} 厘米)。使用最新的纳米技术，就能够拍到这样精细的图像了。

如果我们仔细观察乙酰胆碱受体的话，就会发现它的正中间有一个大洞。乍一看，或许有人会马上想到这个洞会不会就是接受乙酰胆碱的“手套”中心。事实并不是这样，这个洞一直贯通到受体的另一侧。实际上，这个洞是离子通过的通路。换言之

之，受体自身就是一个通路。再进一步仔细观察的话，就会发现 5 个细长的棒聚集成一束，中心就形成了一个通路。这一个个的棒状物被称做亚单元，亚单元的成分是蛋白质。也就是说，蛋白质巧妙地形成了五个棒，并构成了一个受体。

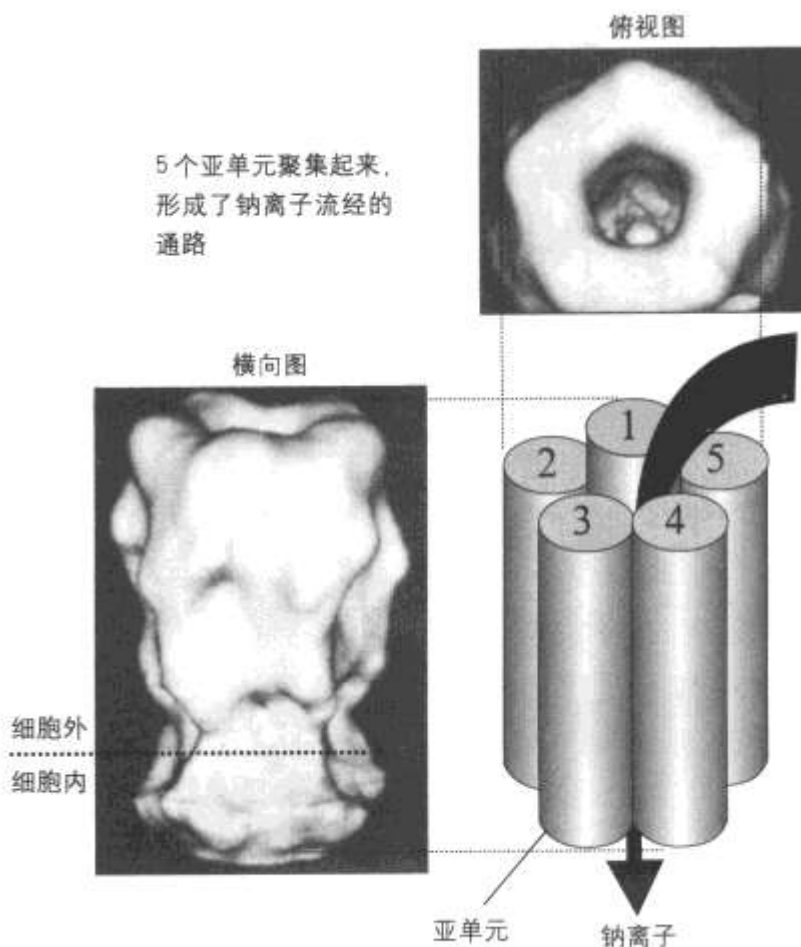


图 17 钠离子流通的受

这个受体的结构非常巧妙，平时通路是闭合的，但当接受乙酰胆碱的时候，通路会立刻打开，钠离子就会随之流入。换句话说，通路的开合取决于乙酰胆碱的有无。最近的研究表明，在 5 个亚单元中，有 2 个亚单元具有乙酰胆碱传感器。该传感器一感知到乙酰胆碱的存在，离子就可以通行，通路的大门也会随之打开。

这个通路主要是让细胞外的钠离子流入细胞内部。由此形成的钠离子流，也就是正电荷流就会形成电流信号，并促使下一个神经细胞兴奋起来。这种惊人的巧妙构造就是神经细胞将化学信号转换为电流信号的手段。

5 单向通行的突触

刚才的话题有些复杂，在这里我再简单总结一下。神经线路的信息主要是动作电位，是通过钠离子通路形成的电流信号。但是，动作电位是无法跨

越突触间隙这个空间沟壑的，正如图 15 所描绘的那样，电流信号会被暂时“翻译”为神经递质的化学信号，该化学信号会借助于受体通路重新还原为电信号。

简而言之，突触就是进行电信号—化学信号—电信号转换的小型工厂。并且，这种转换是以 10。秒的惊人速度进行的。这种绝妙的机制是在生物进化的过程中形成的。反过来说，正是因为获得了这种机制，生命才进化到如此程度。突触结构是众多生命现象中最为完美、巧妙的构造之一。动物全部的和行动都是靠神经细胞支配的，换句话说，“神经活动”才是生命最重要的根源，所以神经细胞自身的机制才如此精巧，想一想这也是非常合理的事情。

我想或许已经有读者意识到了这一点，突触作为将信息传导给下一个神经细胞的中转站，有一个非常重要的性质——神经递质的释放方和接受方一定是确定的。也就是说，只有具有突触小泡的神经纤维才会释放出神经递质，也只有具有受体的神经

纤维才会接受神经递质，这一性质是至关重要的。在突触中，信号只是按照一个方向通行的，这是电流线路与神经线路之间具有决定性的差异。

在图 14 所描绘的电流线路中，如果调换正负极的话，电流就会逆向流动。但是，神经线路却不同，信号绝不会逆向传导，只能够向一个方向传导。换句话说，突触具有类似给电流定向的、整流二极管的作用。利用图 7(第 27 页)来说明掌管记忆的海马的神经线路的时候，已经说到该神经线路一定是“顺时针”的。神经信息绝不会反方向传导，这一现象就源自于突触单向通行的基本性质。

我们可以设想一下，神经细胞具有专门输送信息的神经纤维和专门接受信息的神经纤维。实际上，大多数的神经细胞都有这样机能各异的两种神经纤维。专门输送信息的纤维被称做轴突，专门接受信息的纤维被称做树突。树突为信息进入神经细胞的入口，轴突则为出口。如图 18 所示，轴突的特征是又细又长，最长的超过 1 米；树突则与之相反，其特征是又粗又短，最长不过 1 厘米。在突触中，轴

突与下一个神经细胞的树突之间非常接近，最近距离仅有 20 纳米。

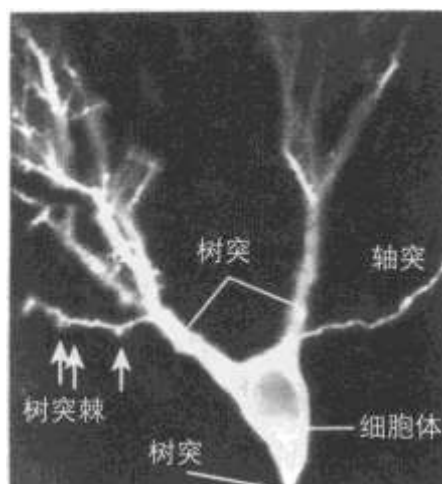


图 18 海马的神经细胞

此外，在突触中，我们为了更好地区分神经纤维，将轴突叫做突触前侧，将树突称为突触后侧。

6 突触电位与动作电位

动作电位传达的场所只有轴突，这里有很多可引起动作电位的钠离子通路。动作电位沿轴突传达，

神经递质就会随之释放出来。突触前侧有个部分稍有隆起，被称做神经末梢，其中储存着很多充满神经递质的突触小泡。神经末梢是电流信号转换为化学信号的场所。

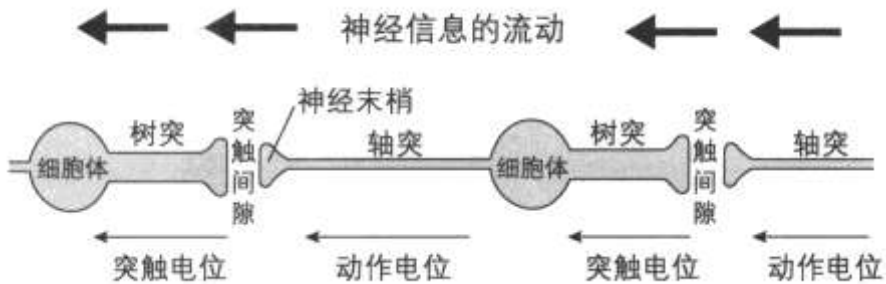


图 19 突触电位与动作电位

树突具有神经递质的受体通路，但是却没有能够引发动作电位的钠离子通路。换言之，这里的电流信号不是动作电位，而是受体通路形成的小电流信号，该电流信号被称做突触电位，和动作电位完全不同的是，突触电位通过树突传递到细胞体，在细胞体内初次转化为动作电位(见图 19)。

乍一看，你或许会对树突和细胞体内所进行电流信号的转换产生一种奇妙的感觉。为什么神经细

胞非要形成一次突触电位，再转换为动作电位呢？这和直接在树突处形成动作电位，然后一下子传送到神经末梢不是完全相同吗？为什么偏要费两遍事这么繁琐呢？

实际上，这个疑问直接指向了神经细胞的本质。产生这个疑问的时候，大家已经开始接触到微观的记忆机制了。

7 突触在思考

这个问题的答案就在于沿轴突传达的动作电位的性质。谈到电流信号，一般来说它的电流大小是能够自由改变的。但是动作电位却有所不同，动作电位不能调节自身的强度，只能打开或关闭。换言之，传递信息的轴突只有传达和不传达两种状态。

为什么会采取这样的方式呢？这是为了能够准确地将信息传递到目的地。电流线路是由电线等金属导体构成的，从理论上讲，即使是很小的电动势

也能够有效地将电流传递到远处。但是，神经线路就不一样了。神经纤维的基本成分是蛋白质和碳水化合物，作为导体来说，它们并不优良——电流阻力太大了。通常电流信号刚进入神经纤维，就会立刻减弱，所以信号在沿轴突传导的中途就消失了，也就不可能将信号传导到更远的地方。

而使神经信息传导成为可能的装置是钠离子通路。当电流信号进入的时候，钠离子通路会感知到这一电流，从而打开通路。于是，钠离子就会随之流入，新的电流信号就会产生。新的电流信号又使毗邻的钠离子通路打开，生成新的电流信号……像这样，毗邻的钠离子通路相继被激活，电流信号并不会减弱，可以一直顺利地传导到神经末梢，这就是动作电位的实质。图 12 是这一过程的简化示意图。钠离子通路随着电流信号的变化打开或闭合，所以又经常被称做电位感受性通路。根据电位感受性的性质，动作电位会积极不断地再生，并毫无衰减地通过轴突。

钠离子的性质将动作电位变成了“有”或“无”的单纯信号。轴突的电流信号只有传达或不传达两种，所以神经细胞也只能从两者中选择其一。一旦形成了动作电位，信号就不会停止，并自动传达到轴突的末梢，因此神经细胞必须“仔细斟酌”是否要传达信号。

要作出决断，神经细胞所使用的判断基准就是突触电位。由于树突没有钠离子通路，所以突触电位和动作电位不同，微妙的强弱调节就有可能会产生电流信号。假如将动作电位看做数字信号的话，突触电位大概就可以比做模拟信号了。

神经细胞是以突触电位作为参考，从而作出是否传达动作电位的重要判断。简单来说，如果突触电位较大的话，神经细胞就会形成动作电位，将信号传达到轴突；如果突触电位较小的话，就不会产生动作电位(见图 20)。总之，神经细胞是否生成动作电位是根据突触活动的强弱来决定的。换言之，对神经细胞的决断起决定性作用的是突触的活动。

神经细胞利用树突来进行“思考”，直截了当地说，突触本身就是决定神经细胞行为的枢纽。

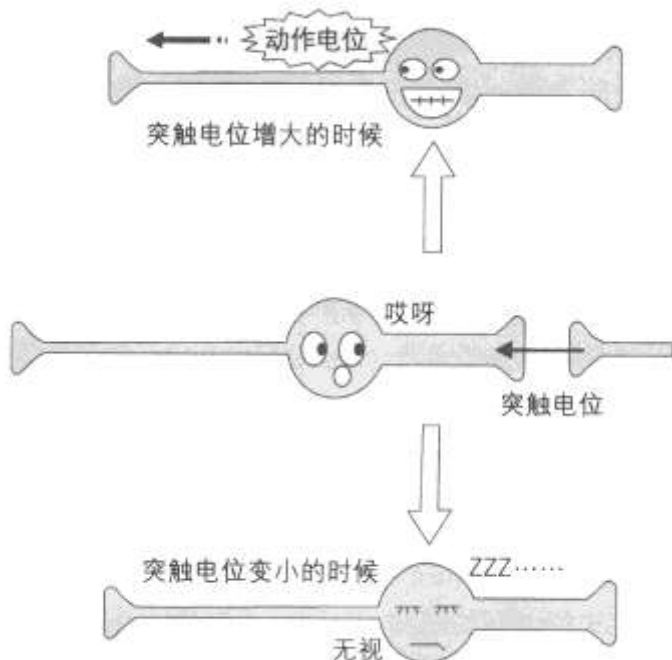


图 20 突触电位是判断基准

图 18 是在我的研究室成功拍摄的神经细胞。它是位于海马 CA1 区的锥体细胞。从三角形的细胞体处伸出数个神经纤维，看上去好像是有美丽鹿角的雄鹿头。在这些神经纤维中，向右伸展的细细的神经突起为轴突，其余都是树突。神经细胞一般具

有一个轴突和数个树突。轴突细长地伸展着。而树突则比较粗壮，非常醒目，并且还延伸出一些细小枝杈，看上去宛如树枝一样，这就是树突名称的由来。

进一步观察树突的话，我们就会发现枝杈上还有一些细小的刺状物，这被称做树突棘。树突是形成其他神经细胞以及突触的场所，也就是将神经递质的化学信号转换为电流信号的场所。树突棘在海马的锥体细胞上呈高密度分布，一个神经细胞大约有 3 万个树突棘。因此可以说是大量的突触构成了一个神经细胞。

顺便还要提一下，一个树突棘能够形成大约 10^{-4} 伏特的突触电位。这是非常小的电流信号。所以，仅凭借一个树突棘的活动是不足以使神经细胞作出生成动作电位的判断的。但是，如果这些树突棘的电量叠加组合起来的话，就会形成一个较大的突触电位，神经细胞就能够生成动作电位了，这是一种积少成多的作战方式。实际上，保守估计的话，假如 100 个以上的树突棘全部展开活动，大概就能

够判断是否生成动作电位了。这样或许会给人一种优柔寡断的感觉，但是这种“慎重”态度却是神经细胞必须具备的重要性质。

我一边观察神经细胞一边思考的时候，头脑中也会不断进行想象。我们再来看一下图 18 的神经细胞，复习一下到现在为止所学的内容。

在树突上，我们可以看到大量的树突棘。神经信息从树突棘进入，通过树突在细胞体内合并。最后，细胞体发出“OK”指示，动作电位随之生成，然后从轴突输出。神经细胞会整体考虑树突棘带来的信息，从而作出综合判断。

我们都是运用神经细胞，进行各种各样的思考，最终采取行动。每个神经细胞也是这样“思考”并“行动”的。这些思虑审慎的神经细胞纵横交错，形成了一个巨大的神经网络，最后成为我们进行各种各样的思考和行动等生命活动的根源。希望大家能够记住这个事实——每个神经细胞都在思考。在下面的第四章中，大家将了解到神经细胞还具备记忆的能力。

8 以突触命名的精密仪器

现在，人们凭借科学的力量揭开了复杂的生命现象。当我们重新审视的时候，就会发现神经组织的构造都像是按照物理和化学的法则形成的“机械”。传达动作电位的钠离子通路、随之释放神经递质的突触小泡、感知神经递质并进行开合的受体通路等，这些组织虽然巧妙之极，令人瞠目结舌，但如果了解它们的结构以后，就会发现这不过是一些单纯的机械而已。

1953 年，詹姆斯·沃森和弗兰西斯·克里克共同提出，运送遗传信息的 DNA 为双重螺旋式构造。生物的中心信息——DNA 是一种单纯的几何构造。这一现象的发现不仅给当时的生物学者们以巨大震撼，就连人文学者以及哲学家们都为之惊叹。曾被誉为神圣领域的形而上学的生命中枢 DNA，竟然只不过是一个具有单纯(但美丽)形状的物体。但只要有了

这一物体，就可以形成生物。近年来备受瞩目的克隆动物就完全证实了这一点。换言之，生命是物质的。反之，正是这种物质才是生命的要素。

此外，动物生命现象的枢纽突触也不过是一个物理、化学层面上的机械。欢笑、烦恼，这些复杂的人类行为最终都是大脑这个“精巧的机械”在发挥着作用。现在大家读这本书时的感触会因人而异。读书以及由此所感受和思考的行为，说到底都是大脑中的“化学反应”。这种微观的化学反应复杂多彩，具有令人叹为观止的多样性。

我并不是一位主张任何精神都是以物质为本原的唯物论的绝对支持者。但是，在不断研究奇妙的生命现象的过程中，我看到了一个事实——生物是一个严守物理及化学法则的物体。当我发现某一事物的时候，对于生命的理解甚至世界观就会相应发生变化，这也是科学研究的乐趣所在。

如果我们将“记忆”这一现象进行细分后再去观察的话，就会发现记忆是依靠单纯的化学反应，或者说是依赖于巧妙的精密仪器运作的，生命所有

的活动都是由物理化学物质构成的，这已经不再是一件令人惊讶的事情了。现在，更重要的问题大概就在于这些各种各样的零部件是如何形成一个有组织的分子社会、细胞社会以至个体社会的。20 世纪，控制生命活动的化学反应得到了详尽的阐述。但是，这些化学反应是如何有组织地构成一个“社会”的呢？遗憾的是，面对这个疑问，现代科学还没有给出一个明确的回答。

路德维格·维特根斯坦在其著名的《逻辑哲学论》中曾经有这样一句名言：“（哲学）对于无法说明的事物只能保持沉默。”但幸运的是，科学同维特根斯坦的哲学不同，它始终坚持去试图说明那些“无法说明的事物”的态度。这绝不是过于自信或自作多情，而是面对未知事物自然流露出的一种冲动和憧憬。正是这种本能的好奇心和探究心，或是弗洛伊德所说的根源性的本能冲动才是推动科学的源动力吧。我深信 21 世纪的科学一定能够解开组织化这一生命极限之迷。我也将为此研究倾注自己的全部心血。

到这里，本书已经开始为进入微观记忆的话题做准备了。但是，为了使话题更加深入，我需要稍加说明宏观的话题。一进入微观世界，视角就会停留在一个比较狭隘的范围内，也就无法看清它的全貌了。为了避免这一情况，我想重新从一个比较宽广的视角来回顾一下记忆这一脑机能。

9 电脑比人脑更优秀吗

大家看到这个题目的时候，或许会觉得没有必要进行讨论。如果凌驾于人脑的人工智能诞生的话，世界大概就会变成一个人类反受机器人支配的世界了——这一画面经常成为科幻电影的素材。但是，现实世界里并不会发生(或是尚未发生)那样令人惊恐的事件。综合来讲，人脑比电脑更优秀一些。

让我们的思绪再缜密一些。近年来，无论是工作还是娱乐，电脑技术在各个领域的发展都日新月异。最近一段时间还掀起了 IT(信息技术)革命的浪

潮，电脑在信息化进程中的作用不可欠缺。现在这个世界，电脑大有泛滥之势，这一事实也说明电脑有其优秀之处，并具有很强的实用性。比方说，多位数的加减乘除以及平方根运算等并不需要动用大型电脑，从超市里买来的廉价计算器就能够非常快速、准确地计算出结果。而如果人工计算 12345 的平方根的话，或许就要花费很多的时间和精力了。所以，用计算器来解决这种复杂的计算问题不失为一个高明的方法，这样就会大大降低错误率。

只要利用电脑就能够比较快速、准确地完成数值计算或单纯的事务性工作，这已经成为一个不争的事实。但电脑也有“失灵”的时候，比如在一些高层次的思考、直觉判断以及创造活动中。在这些方面，人脑远比电脑优秀得多。现在我在这里不停地强调这些事情，大家一定会觉得都是常识性问题。但关键是为什么人脑在这些方面要比电脑优秀呢？神经线路和电流线路使用的都是线路，为什么会如此不同呢？

前面我们已经讲过，电流线路的信号是以每秒 30 万千米的速度传导的，但神经细胞内的信号传导速度最快也不过每秒 100 米。“因此电脑要比人脑优秀数百万倍。”一个著名的神经研究学家曾经这样说道。但我认为这种说法近似于诡辩。简单考虑的话，这种说法完全正确，但实际上，人脑的综合性能更为优秀一些，尽管人脑传导信号的速度比电脑慢得多。



人脑和电脑哪个更优秀

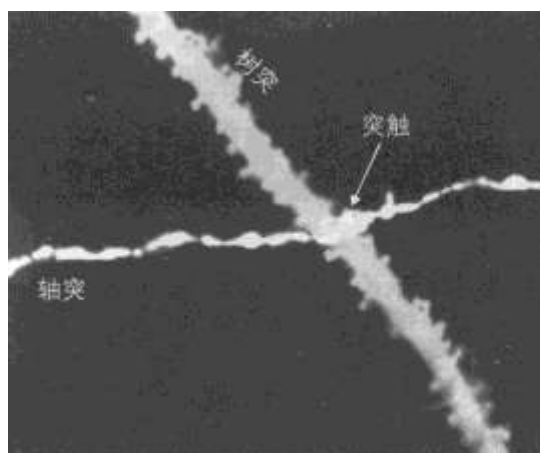
记忆也是如此。电脑拥有可以引以为傲的巨大容量，而人脑则能够利用有限的神经细胞快速和充分地记忆事物。即使速度比较慢，人脑也可以克服这一弱点。人脑和电脑在处理信息的方式上是截然不同的。

因此，我们首先要好好地去理解脑的记忆方式。如果理解了脑记忆的性质，自然就可以掌握高效的记忆方法了。与其蛮干，还不如巧妙地去学习与记忆，这样不仅会减轻自己的负担，对脑来说也不失为一件好事。希望大家能够充分理解这一点，下面我会在第四章的前半部分，先谈一谈有关记忆生理学的话题。

第四章 可塑性——脑能够记忆

我们的脑在学习时有自己的一套规则，比如必须要不断实践、不断强化才会记住；要先学会简单的才能学会难的；要经过多错失败才能掌握学习的规律；记忆事物时不是特别精确，有很大的灵活性…

提记忆力的捷径就是了解脑学习和记忆的规则，有针对性地采取适当的学习方法，这样才能做到事半功倍。



海马的神经细胞：轴突和树突

1 红灯停，绿灯行

我的老家养着一只狗。这只狗除了早晨散步外，其余的时间都是在门前的狗窝里度过的。在我忙着工作的时候，它终日无所事事，闲散地度过一整天。对它而言，为数不多的乐事大概就是进餐了。只要我在厨房朝它喊一声“要吃什么东西吗”，它就会非常兴奋，高兴得活蹦乱跳。在我拿给它食物的时候，它早就垂涎欲滴地等在一边了。但是我一看到这只活蹦乱跳、可爱的小狗，就总想刁难它一下。我不会立刻把食物给它，而是命令它“伸出手来”。小狗会按照我的命令将一只前爪伸出来，然后它就会得到作为奖赏的食物了。自从这只狗来到我家，这就成了一个老规矩了。

在整个过程中，这只狗共记忆了几件事情。比如，当问到“要吃什么东西吗”，它的嘴里就会流出口水。狗已经记住这句话意味着“可以立刻得到食

物”，所以它会对这种声音产生反应，流出 121 水。这就是大家所知道的条件反射。此外，这只狗还记住了要得到食物就必须伸出“手”来。大家都知道，狗具有记忆能力。像这样，为了能够获得食物，它能够进行与食物毫无关系的动作。因为“伸手”也是作为与食物有关的记忆而产生的行为，所以这一行为也属于条件反射。



狗具有记忆能力

由此，我们可以思考一下，其实除了狗这种动物之外，我们人类的行为大多也是在条件反射下完成的。课堂或会议的过程中会举手；看到蟑螂的时

候会不由得大声喊叫；当交通信号灯变红的时候，不会去走人行横道；遇到可怕的老师或严厉的上司的时候，会毕恭毕敬地去打招呼。这些都是条件反射的表现，而条件反射是依赖记忆进行的。毋庸置疑，没有过去的记忆，就不会产生条件反射。也就是说，充分利用条件反射研究记忆是非常有效的手段。

条件反射共分两大类。狗流口水等生理学的反射被称为古典条件反射。而像“伸手”等与食物毫不相干的反射行动被称做自发条件反射。利用这两种反射行为进行记忆实验的历史非常久远，前者是1887年苏联的心理学家巴甫洛夫进行的，后者则是1938年英国的心理学家斯金纳进行的。此外，巴甫洛夫在1904年荣获了诺贝尔医学·生理学奖。

当然，在这两种条件反射里面，对我们生活更为重要的是自发条件反射。要适应外界的环境变化，生存下去，自发条件反射是不可或缺的，所以本书将对自发条件反射进行详细说明。充分理解大脑学

习能力的性质是增强记忆力的捷径，所以希望大家能够好好理解。

2 失败是成功之母

脑研究者们经常会把老鼠作为对象来研究记忆。可能有的读者会产生这样的疑问——记忆力最优秀的动物当属人类，为什么不用人作为实验对象呢？其实，利用老鼠进行实验有一些优点。比如，和人类相比，老鼠在记忆方面相对纯粹一些。老鼠的记忆大多是基于本能，所以不会像人类那样被“今天很累”、“真麻烦”、“早点完吧”等感觉因素所左右。在鼠类中，“没有定性”、“情况不稳定”的情况比较少，比如，老鼠不会出现“昨天还记得，今天就忘了”的现象；也不会出现这只老鼠记得，而其他老鼠不行等情形。在研究记忆这种抽象的、难以把握的对象时，非常重要的一点就是，那些成为实

验障碍的因素越少越好。正是由于这个原因，在我们的研究室中主要将老鼠作为实验对象。



图 21 自发条件反射

图 21 表现的就是利用老鼠进行自发条件反射实验的方法。图中的箱子叫做斯金纳箱。这个箱子设有这样的构造——蜂鸣器一响，压下拉杆，食物就会出来。虽然只是一个简单的实验，但是比起第一章所介绍的水迷宫实验来，它还是一个高难度的课题。这种训练重复多次，老鼠仍然无法掌握操纵

斯金纳箱的方法。那么，老鼠究竟是如何学习的呢？我们进行了仔细观察，发现了一个非常有趣的事实。

对老鼠而言，还是平生第一次看到斯金纳箱。斯金纳箱没有出口。眼前的拉杆到底发挥着什么样的作用，它还一无所知，就连按压拉杆的动作也不会。突然间，蜂鸣器响了。这时，老鼠碰巧压了一下拉杆，美味的食物就从里面出来了。第一次纯属偶然。但是，这种偶然现象接二连三发生之后，老鼠就会注意到“按压拉杆”和“得到美食”之间的因果关系了。到此为止，这是学习的第一个阶段。

达到这个阶段时，老鼠为了得到食物就会一个劲地按压拉杆。但是，即使按压拉杆也未必就能够获得美食。因为蜂鸣器不响的时候，即使去压拉杆，食物也不会出来。反复经历多次失败之后，老鼠最终意识到这个事实。这样，它理解了蜂鸣器和拉杆之间的因果关系之后，老鼠的自发学习才算告一段落。经过了数十次乃至数百次的失败之后，老鼠才最终记住了这一程序。

在这个过程中，老鼠经历了很多次的失败。“这样也不是”、“那样也不对”——种种失败之后，老鼠才发现蜂鸣器和拉杆之间的关系。也就是说，获得一次成功是需要经历多次失败的。反过来说，没有这种多次失败的体验，是无法进行正确记忆的。所谓记忆就是通过失败和反复来形成并进行强化的。

这和电脑有很大的不同。电脑一次就能够完全记忆下来，并且能够正确地记忆。脑却不同。要得出正确答案，多次的尝试和失败是非常必要的。失败之后，在此基础上，考虑下一步怎么做，然后再经历又一次的失败……脑的记忆就好比所谓的“注销法”一样。在“这个不对，那个错误”的过程中脑会进行各种各样的尝试。

脑所记忆的是努力和毅力。读到这里，可能会有一些读者觉得很沮丧，“原来就是这样啊”、“一点都不快乐”。事实确实如此。但是，通过这个自发条件反射的课题，可以加速老鼠的学习，这是一种步骤分解的方法。在我的研究室里，当用自发条件反射的课题对老鼠进行实验的时候，采取分阶段记忆

的方法。突然将老鼠放入斯金纳箱里面，按下蜂鸣器，让它去记忆其中的因果关系，是不那么容易实现的。所以，首先要让老鼠牢牢记住——和蜂鸣器无关，只要按下拉杆，食物就会出来。接下来，将食物与蜂鸣器联系起来。这样，老鼠的学习过程就会大大加快。这种方法不是同时记住两件事情，而是分成不同步骤来进行记忆，学习效率也就相应得到了提高。

这一点和电脑有所不同。即使有多个程序，电脑也可以通过一次保存来完全记忆，并且非常准确。而另一方面，脑不断进行尝试，经历失败，但如果不按照步骤逐一进行的话，是不会达到很好的记忆效果的。这样看来，大家一定会觉得电脑相对来说比较优秀，甚至会懊恼我们的脑为什么会采取注销法这么愚笨的学习方法。我们在考试的过程中，经常会因想不起本来已经记住的东西而懊恼不已。但是，脑的这个性质是有着深层原因的，我们必须充分理解这个原因，这一点非常重要。

3 敷衍塞责的脑

在这里，我们故意刁难一下正在学习自发条件反射课题的老鼠，变换一下蜂鸣器的音高。比如，在训练的时候，让老鼠听到的音为 do。然后，突然将蜂鸣器的声音变为稍高一些的 sol 音。那么，将会发生什么样的事情呢？实验结果表明，老鼠同样会对蜂鸣器发出的 sol 音产生条件反射，去按压拉杠。这样看来，老鼠只是对“蜂鸣器发出的声音”产生条件反射，无论是 do 音还是 sol 音都没有关系。

相比之下，电脑的情况则有所不同。对电脑而言，do 和 sol 是截然不同的。do 的频率是 sol 的 1.5 倍。因此，假如将“do 音一响就按拉杠”的信息告知电脑的话，电脑在 sol 音响起的状态下是不会产生任何反应的。所以，和电脑相比，人脑的记忆比较粗略，不够精确，因为它无法区分 do 和 sol 等不同的音。

比如，我教给家中饲养的小狗“伸手”的技能。当狗记住了这一指令之后，即便我不说话，当听到别人说“伸手”的时候，它也会伸出前爪，无论是谁发出的声音都没有关系。这样看来，大脑的记忆很不严密，是非常模糊的，或许可以称做模糊记忆吧。实际上，这就是脑记忆的本质。

这种模糊的性质对生命具有极其重要的意义。之所以这么说，是因为我们所处的环境时时刻刻都在发生变化。比方说，初次见面的时候，对方在飘逸的头发上扎着一条串珠丝带，穿着一条深蓝色连衣裙。但是，再见面的时候就不一定会扎同样的丝带，穿同样的裙子，甚至有可能会烫了头发什么的。假如脑将所有的这些特征都进行了精确、严密的记忆的话，第二次见面的时候，就会把这个人当成其他的人了，这可就麻烦了。所以，对记忆而言，模糊和灵活性比起严密精确性来说，更加必要。

文字也是一样的(见图 22)。内容相同的文字，不同的人书写，笔迹会有所不同，但是人们还是能够辨认出同一文字内容。关键在于相似。这是由于

记忆具有适当的模糊性和灵活性的缘故。记忆所使用的就是注销法——要记住相似之处，就必须删除不相似的地方。

大 脑 使 用 手 册
大 脑 使 用 手 册
大 脑 使 用 手 册

图 22 文字识别“大脑使用手册”

生物要想在不断变化的环境中生存，就必须依靠过去的记忆，在生活中作出各种各样的判断。但随着环境的变化，完全相同的情况是不会再次发生的。所以，记忆保持适当的灵活性是极其必要的。如果记忆非常缜密的话，在不断变化的环境之中，它就会成为无法活用的、毫无意义的知识了。近代语言学之父费尔迪南·德·索绪尔曾说过：“意思和语

言只不过反映了产生于人际关系以及社会结构的相对不同的结构。”因此，脑的记忆并不是绝对地抽取事物，而是记忆了该范畴的相对连贯的关系。

但是，这并不是说脑不存在缜密的记忆。比如，遗传基因就是具有一定序列的绝对记忆，或者可以称之为本能。天气变暖，从冬眠中醒来的青蛙；7年内形态不断变化的蝉；被黄莺养大之后，飞到南方的杜鹃；乳头放在E1中，就能够吮吸母乳的婴儿。这些都是所谓的记忆。这种本能的记忆是没有变通性的，因此，它只在一定的环境下发挥作用。雏雁或雏鸭会跟在第一次进入眼帘的、活动的生物后面行走，这就是有名的“印刻”现象。它们会认为第一眼看到的对象是母亲，这就成了它们第一个有意义的记忆。假如在雏雁或雏鸭旁边正好通过的是蛇的话，或许就会发生一场意想不到的悲剧了。

由此看来，记忆具有一定的灵活性对生命而言是至关重要的。并且，从进化论的角度来看，越是低等的动物，缜密记忆的比例就会越高，模糊记忆相对要少一些。那些低等动物即使经历了失败也不

会从中吸取教训，结果只能是丢掉了性命，这样的事例屡见不鲜。反过来，我们人类的脑被赋予了非常大的灵活性。所以，经历无数次失败之后，从中吸取教训，灵活处理，就能够获得成功。这是我们脑的一项“权利”。

这样来看，失败或错误是同随机应变的“泛化”这一重要机能相辅相成的，也可以理解为一定程度的必然性。我们一定要改变这样的认识——优秀的脑就是能够正确地记忆任何事物，并永不遗忘。像电脑那样精确无比的脑并不是一个能够发挥作用的脑。人类总是要遗忘和失败的，要弥补这一弱点，人类只有发明电脑和文字。

4 循序渐进地学习

我们刚才讲了，在自发条件反射实验中，老鼠不会区别 do 音和 sol 音。但是我们能够训练老鼠进行区分，只有在 do 音时才给它食物。当然，老鼠在

最开始的时候并不会认识到这一点，即使蜂鸣器为 sol 音的时候，它也会去按压拉杆。但是，经历多次失败之后，老鼠就不会再理会 sol 音，而只对 do 音产生条件反射。这样，逐渐地，老鼠就能够区分 do 音和 sol 音了。学习到达这一阶段之后，老鼠也能够将 do 和 fa、do 和 mi 区分开了。即使是 do 与升 do 这两个音，也有可能区分开来。但是，假如在老鼠无法区分不同声音的时候，就先对它进行 do 与升 do 的辨听训练的话，不管花费多长的时间，老鼠都不能分辨出两个音的差异。

也就是说，在不能够分辨出差别大的事物的时候，是不可能区分出差异小的事物的。所以，要想了解细微现象的差异，首先要从大的方面上去把握、理解这一事物。看起来似乎要绕很大的圈子，但是，要学习 do 与升 do 之间的区别，就要先去学习与掌握 do 和 sol 之间的区别。因为脑采取的是一种模糊的记忆方法，所以这种循序渐进的方法是非常重要的。我想，这也符合我们日常生活中的记忆，这一

点我们会在第六章里进行说明。在这里，我们用图 23 总结一下我们通过记忆生理学得出的结论。

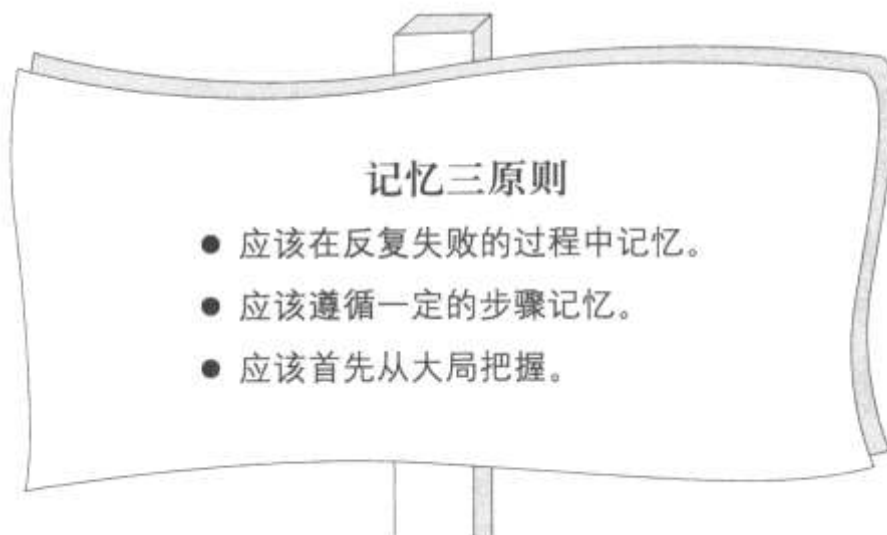


图 23 记忆三原则

5 脑在记忆时发生的变化

我和大家一起从不同的角度对记忆的性质进行了深入的探讨和研究。那么，进一步来讲，大家可以思考一下脑在记忆的时候究竟是如何活动的？通过这个问题，大家可以进入到微观记忆的话题之中。

我们已经知道华盛顿是美国第一任总统。虽然获取这种信息的渠道是因人而异的，但是，不管是谁，都不可能在被告知之前就知道这个知识，没有人天生就知道华盛顿。但是，在这种司空见惯的事实背后，却隐藏着一个非常重要的线索。



图 24 华盛顿是谁

请大家看图 24，左边的人处于尚不知道华盛顿为美国第一任总统的状态，右边的人则相反。大家最初的时候都处于左边的状态，但现在已经是在右边

的状态了。这种变化是由从出生到现在为止的某个契机引起的，不同的人，契机也不相同。但不管怎样，以前都是左边的状态，现在为右边的状态，这一点是毫无疑问的。当这两种状态变换的时候，人脑一定会产生一定的变化。在尚未记忆和已经记忆的两种状态下，脑一定存在着某些不同。并且，所产生的这些不同也不会转瞬即逝，而是持续地保存在脑中。

换言之，脑具有一种性质——某种契机会引发一定的变化，这种变化会一直保持下去，这被称做脑的可塑性。可塑性是一个比较难的词语。翻开词典，我们可以看到这样的解释：对固体施加外力，因超过其弹性界限而使得该物体变形，即使撤消外力，仍保持其变形状态的现象。也就是说，所谓脑的可塑性就是指脑由于一些因素引发了某种变化，即使这些因素消失，脑仍然能够保持变化后的状态。现实中，我们已经知道了有关华盛顿的情况，所以每次回忆的时候，就没有必要去重新翻看教科书中相应的篇章。那么，脑在记忆的时候，究竟产生了

什么样的变化呢?这个问题是了解记忆机制的第一步。

6 人为什么成为人

这种变化究竟是什么呢?我想,大家读到这里的时候,一定会去猜想这个问题的答案。脑是由精密的神经线路构成的,脑也是通过使用这一神经线路来管理信息的。也就是说,脑是根据线路的连接情况来决定如何处理信息的。那么神经细胞是如何构筑神经网络的呢?对于脑而言,这是一个极其重要的问题。

此外,未记忆的状态和记忆的状态之间的差别就在于神经线路模式的不同。也就是说,记忆意味着神经细胞的连接方式发生了变化。脑的可塑性是因新神经线路的形成而产生的。从这个意义上讲,记忆状态的变化就在于神经线路。神经线路的变化就是记忆的真实面目。

顺便还要补充一下，用专业术语对记忆进行较为严密的定义的话，则为：记忆就是将神经线路的动力作为运算法则，在重重叠叠的突触空间内，通过复制外界的时间信息、空间信息，将其转换为内部表现的方式。

这一点和电脑的记忆方法有很大的不同。电脑是通过地址的方式来进行记忆的。也就是说，进行记忆的场所是事前安排好的。并且，该场所由很多房间构成，并按照一定的顺序排列，有固定的房间号。记忆的信息被单独放入了这个小房间之中，当记忆重现的时候，电脑会指定相应的房间号码，提取该内容，这是一种高效的方法。由于各个房间之间都是相互独立的，所以在储存或提取的过程中不会发生不必要的错误。

另一方面，记忆在大脑中是存储在神经线路中的。实际上，相同的神经细胞也可以被不同的记忆所利用，为什么会这样呢？这是因为如果一条神经线路只能存储一条记忆的话，所存储的记忆就非常有限了。这样就只能记忆与神经线路数目相同的信息

了。所以，为了确保记忆容量，脑必须全盘筹划，随机指派神经细胞。

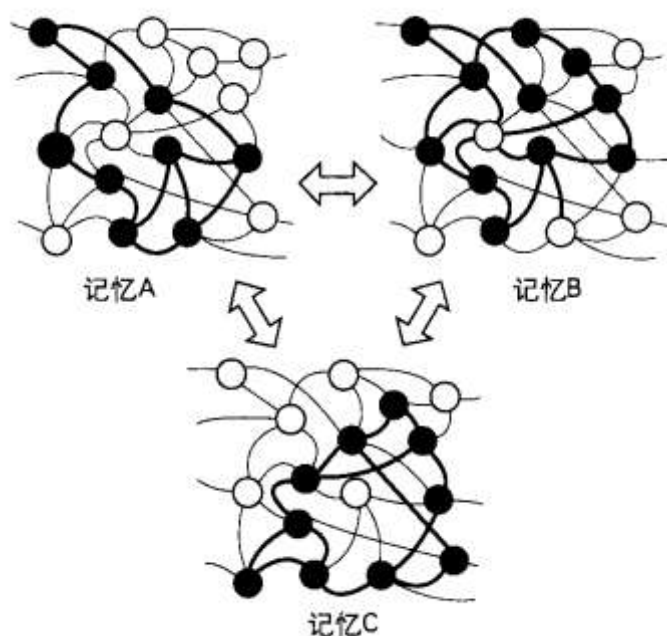


图 25 脑自由使用神经线路

这样，同一个神经线路会有不同的信息同时？
昆居、储存其中。当然，这样储存下来的信息之间就会产生相互作用。人类记忆之所以模糊的原因大概就源于这里吧。人类经常会产生错觉或错误，并且，记忆会随着时间的流逝发生变化，变得模糊不

清。记忆模糊的元凶就在于脑自身的“宿命”——不得不重复使用神经线路。

但是，反过来说，我也希望大家能够理解这一点，这一性质恰好赋予了大脑以“人性”。因为脑所储存的信息之间相互作用可以使得完全不同的事物产生联系，这也就是我们所进行的行为——联想。并且，各种信息之间的相互联系，或许还可以形成完全不同的新生事物，即创造。我们进行想象、思考或创造的行为都要归功于神经线路中所储存的信息之间能够产生相互作用。当然，这种机能是以精确著称的电脑无法比拟的。人之所以为人的根源就在于脑储存了模糊、混杂的记忆。

7 路线图还是时刻表

所谓记忆就是神经线路的变化。换言之，记忆就是建立起新的神经线路模式。那么，要形成新的

神经线路，脑要具备什么样的结构呢？图 26 就列举了 3 种形成新神经线路的方法。

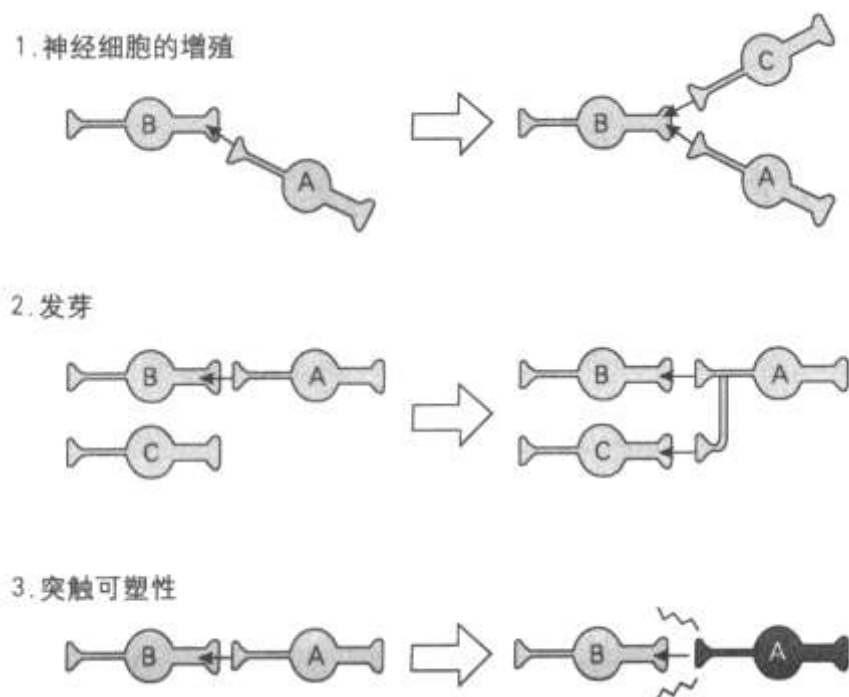


图 26 生成新的神经线路

第一个假说就是通过神经细胞的增殖形成新的神经线路的方法。神经细胞 A 为进，B 为出，这两个细胞通过突触形成 A → B 的组合。接着，繁殖出新的神经细胞 C，形成了新的神经线路 C → B。

第二个假说就是生成新的突触的方法。假设有 A、B、C 三个神经细胞，最初只有神经线路 A→B，后来 A 与 C 形成了新的神经线路 A→C。这就是所谓的“发芽”现象。

第三个假说是突触的传达效率提升的方法。从表面来看，神经细胞的数目以及突触的数目都没有发生变化，但神经细胞之间的信号传导更为容易。如果用电路来打比方的话，可以看做是由于电阻减小，电流更易流动的现象，这是一种比较难的方法。平常由于电阻总是比较大，传导效率比较差，突触几乎没有得到利用。假如电阻减小，信息能够更加顺利地传导的话，从整体来看，就可以认为是形成了新的线路。总之，突触的机能得到了强化。这种方法被称为突触可塑性。

如果将神经线路比做公车线路的话，增殖和发芽就相当于在原有线路的基础上，增加了新的线路，设立了新站。突触可塑性则可以看做在本来没有充分利用的路线上，增加了公车数目，换乘车站得到

了充分利用。也就是说，路线图可以替换为增殖和发芽；时刻表可以替换为突触可塑性。

8 一位哲学家的记忆

刚才我们列举了 3 种假说。那么要形成新的神经线路，脑需要具备什么样的结构呢？我们先谈一下第一个假说中的增殖结构。具有增殖能力的神经细胞是海马齿状回的颗粒细胞，这种神经细胞在大脑中的数量极为有限。当然，我们可以充分认定齿状回中所利用的就是这种方法。但是在脑的其他部位中，不会因神经细胞的增加而形成新的线路，所以不能说这是一般的方法。

其他两种假说就是发芽和突触可塑性。在这两种方法里面，脑究竟使用的是哪一种呢？我们想象一下日常的亲身体验，大概就可以明白了。比方说，打电话的时候，我们可以一边看电话簿、记忆电话号码，一边拨电话。这个时候，记忆电话号码的时

间是以秒为单位的。另一方面，最新的研究表明，突触发芽需要一个相对较长的时间——一般来说为几十分钟到数日。也就是说，从时间的观点来看，发芽不是一个合格的记忆机制。但是，脑的神经细胞中确实存在发芽这一现象，要保持更长时间的、更稳定的记忆，而非短暂、快速的记忆，或许就同这种现象有关了。这种情况也完全适用于增殖现象。大概这种长期记忆是同发芽、增殖现象相关联吧。

最后剩下的假说就是突触可塑性。这种现象只是使突触的阻力发生变化，所以这一行为是瞬间进行的。实际上，包括我在内的现代脑科学研究者都认为突触可塑性是形成记忆或学习基础的最主要的机制。

这里，我还想介绍一个文献资料，就是哲学家笛卡儿在 300 多年前写的《情念论》。他在这本著作中写了一部分有关记忆的内容。那个时代别说动作电位或突触了，就连神经细胞也尚未发现。他在书中这样写道：

心在回想某件事情的时候……精气会在脑的各个处所流动，直到遇见所要回忆的对象的残留痕迹为止。但是，这种痕迹只不过是出于搜寻对象出现之后，精气由此流出的脑气孔。结果，当精气到达的时候，这一痕迹就会再次同样打开，这和其他的气孔相比会变得极为容易。所以遇到这一气孔的精气……就会告知心——该对象就是心所要回想的。

这是一段颇具笛卡儿风格的、比较令人费解的文章。在当时尚未了解神经细胞实质的时代背景下，人们肯定更难理解这篇文章。但是，现在我们已经非常清楚神经细胞的具体情况了，这篇文章也就能非常容易地解读了，比如可以将精气看做动作电位，将气孔看做突触。

当我们回想某件事情的时候，为了搜寻脑中所储存的过去的记忆(痕迹)，动作电位会被传送到脑的各个地方。所谓痕迹就是动作电位通过的突触。这样，当动作电位到达的时候，该突触的活动就变

得极其容易了。所以，该突触所储存的记忆正是当前所要回想的事物。

换句话说，笛卡儿所说的就是某一特定的突触较易活动的现象，也就是记忆。这会不会是突触可塑性呢？自苏格拉底以来，很多的哲学家都曾论及记忆这个话题，但是涉及本质并采用一种与现代科学相通的思辨方式来说明的人，我想只有笛卡儿。

突触的可塑性被认为同记忆有关，下面让我们再进一步思考一下这个问题。

9 赫伯法则

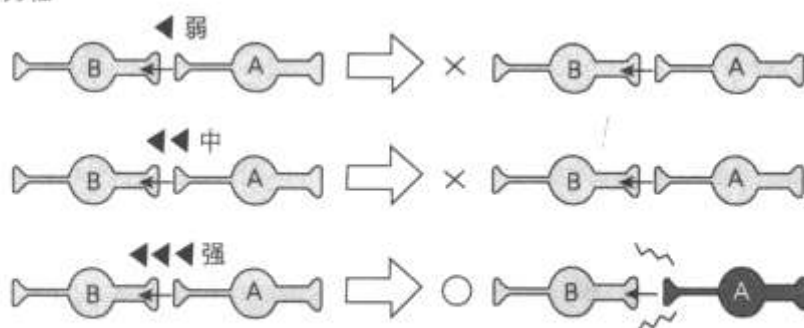
如果突触可塑性真的和记忆存在一定关系的话，我们就可以从反面入手，从记忆本身的性质对突触可塑性进行一定程度的讨论。那么，我们首先假定突触可塑性为脑记忆的基础，大家可以考虑一下这种组织结构会具有什么样的性质。

首先，大家思考一下迄今为止我们所记忆的对象是怎样的事物 100 呢？如果现在我们回想一下往事，想起的一定都是一些比较特别的事情，比方说印象深刻的或者无论如何都要记住的事情。而那些可记可不记的事情大概就不会留存在记忆中了。这样看来，人们通常记住的只是印象深刻或者自己希望记住的事物，这是记忆的基本性质。如果只是呆呆地发愣的话，是不会留下什么记忆的。反过来，假如学生在考试前拼命地学习，把看到的東西全都一丝不漏地记了下来的话，脑的存储室在短短的几分钟之内就会全部填满。脑的容量就是这样的。

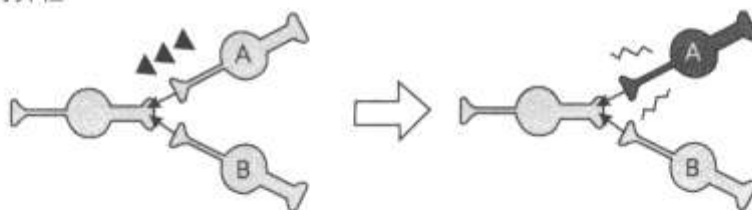
所以，只记忆需要记住的东西——记忆的这个性质绝不是一件令人悲观的事情。对于应该记忆以及不该记忆的事物进行精挑细选，这是有效利用有限记忆容量的起码条件。换言之，只有当“应该记忆”的强烈信号到来的时候，脑才会进行记忆。当然，我们认为突触可塑性也具备这样的性质。只有当一定程度的强烈信号到来的时候，才会产生突触可塑性，这种性质就被称做协力性（见图 27—1）。

突触存在着一定的临界值(记忆所必须的最小刺激量)，脑只选择超过临界值的强烈信号进行记忆。

1. 协力性



2. 输入特异性



3. 联合性

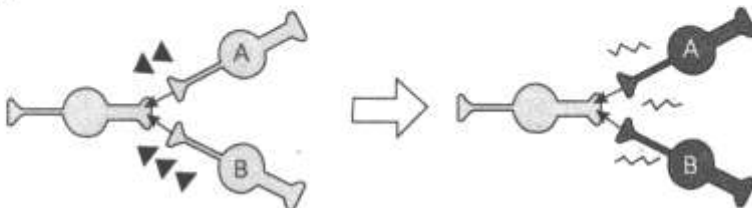


图 27 赫伯法则

所以，我们的脑如果不想去记的话，就不可能记住。反过来说，我们想要去记的时候才能记住。比方说，不会产生这样的事情，本来你要去记“华盛顿”，却不知道为什么错误地将教科书前一页所写的“拿破仑”记了下来。我们只会确切记忆那些希望记住的事物，这也是记忆的基本性质之一。

突触可塑性如图 27—2 所示。通常来说，一个神经细胞约有 1 万多个信息输入 1: 3。但这里进行了简化，只列举了 A、B 两个。假设现在一个超过可生成突触可塑性临界值的强烈信号从神经细胞 A 处进入，而神经细胞 8 则处于尚未活动的状态。按照记忆的性质，此时只有 A 处会产生突触可塑性，8 处突触不会受到任何影响。突触可塑性只在应该产生的突触处产生，不会影响到无关的其他突触。这一性质就被称做输入特异性。换言之，要想准确记忆希望记忆的事物，协力性和输入特异性是必不可少的两个性质。

但是，记忆还有一个不可忽视的性质。那就是联合性。我们在记忆事物的时候，经常会利用某些

联系进行记忆。比方说，要记忆教科书上的华盛顿。如果仅仅去记“华盛顿”的话是毫无意义的。只有记住他是“美国第一任总统”才可以称得上是一种有意义的记忆。一般而言，每个记忆都不是相互独立的，而是相互联系的。比方说，我曾在某旅游景点偶遇同一楼层的学生。这一情景记忆同诸多无法解析的事物紧密联系在一起，并构成了一个完整的记忆。此外，看到话梅流下口水——这种单纯的条件反射也是联合学习的一个例子。我们就是这样把某一事物同其他事物联系起来进行记忆的。

另一方面，我们不能否认一个事实——将各个事物之间联系起来就能够比较容易地进行记忆。“华盛顿”只是一个文字的排列，没有任何意义，如果单是记忆这个名词的话，很快就会忘了。但是，如果与“这个人是美国第一任总统、取得过伟大的功绩”这一事实联系起来的话，就会帮助我们进行记忆了。此外，谐音也是通过联系来帮助记忆的一个典型例子。换言之，如果善于联系的话，即便记忆该事物的信号处于临界值以下，也能够将其记住。

让我们看一下图 27—3。尚未达到临界值的较弱信号从 A 进入。这之前当然没有突触可塑性产生，但是假如从 8 处进入强烈信号的话，A 也会产生突触可塑性了。像这样，B 对 A 处突触可塑性的产生起到了一种辅助增强作用。结果，A 事物与 B 事物就通过该突触联系在一起了。如果用线路来打比方的话，这种情况同公车从不同路线驶入的情况相似，这种性质被称做联合性，这是联合学习的基础。

实际上，半个多世纪以前的 1949 年，一位名叫赫伯的心理学家就已经发现了这些性质。如果突触可塑性同记忆相关的话，就会具有协力性、输入特异性以及联合性这 3 种性质，这被称做赫伯法则，这一法则对后来的脑科学研究产生了巨大的影响。

10 是梦境还是现实

到这里，我们所谈的内容似乎有些繁琐，不妨作一下整理。第四章里，我们首先从大的方面介绍

了记忆这一事物所具有的基本性质。由此，我们知道了记忆是储存在神经线路之中的。由于神经线路的相互作用，记忆具有粗略、模糊的性质。

记忆模糊的性质是生命得以存续、发展的一个重要条件。我们还了解到，要保持记忆的这种模糊性，脑采取了一种注销法。并且，从进化论的角度来说，越是高等的动物，记忆的模糊率越高。实际上，从我自身的研究经验来看，老鼠能够记住新的事物，但由于模糊率较低，记忆会更为精确一些。老鼠的记忆同人类相比，或许同电脑更为接近一些。正是由于这个原因，一旦保存下来的记忆就很难发生变化，所以也就比较难以适应新的环境。这大概就应了一句俗语“百岁之雀，不忘舞技”。

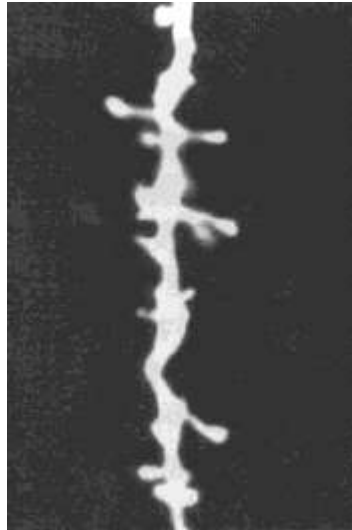
此外，我们还了解到这种模糊记忆正是孕育高度思考与创造力的源泉。之后，我们通过进一步的深入考察，了解到要将记忆输送到神经线路之中，突触可塑性是非常必要的。然后，我们又认识了突触可塑性，并引出了赫伯法则。现在剩下的问题是，

脑中确实存在满足赫伯法则的突触可塑性吗？突触可塑性这一假说会不会只是假说而已呢？

脑可以记忆，所以突触可塑性是一定存在的。此后，怀着这种坚定信念的神经科学家们又踏上了探索突触可塑性的未知旅程。这种信念变为现实的那一天终将到来。

第五章 脑的存储单元——LTP

当我们对脑中的海马施以高频率电流刺激时，海马对信息的加工时间就会变长，该信息储存的时间也会变长，人就更容易记住事物。这种现象被称为“长时程增强作用”，即 LTP。那么 LTP 是如何影响记忆的？研究 LTP 对人类有什么深远的意义？压力、紧张、过度饮酒以及喜怒哀乐等情绪与 LTP 的产生又有什么关系呢？



储存信息的海马的树突棘

1 LTP 的发现改变了整个世界

继笛卡儿后，赫伯的学说成为了最能体现记忆核心的理论，并受到了世人的注目。从那个时候开始，很多的研究学者们就进行了各种尝试，试图发现满足赫伯法则的突触可塑性。

首先，20 世纪 60 年代，美国的神经生物学家保罗-格林加德和埃里克·坎德尔指出，软体动物海兔的神经线路中存在着突触可塑性。这一成就得到了很高的赞誉，坎德尔荣获了 2000 年诺贝尔奖。其次是在赫伯法则提出 20 多年以后，1973 年的《生理学》杂志登载了美国的神经生理学家波利斯和挪威的勒蒙的发现，这一研究成果给整个神经科学界以更大的冲击。此研究报告表明，两位生理学家在哺乳动物兔子的海马中发现了突触可塑性。他们的发现过程是这样的：

用高频率电流去刺激海马齿状回的突触，突触

传达的效率就会上升，并且这种现象在刺激过后仍能持续较长的时间。

波利斯和勒蒙二人将这种突触强度增加、并长久保持该状态的现象命名为长时程增强作用。此后，这一有趣的现象得到了广泛的研究，现在人们取其英文名字的开头字母，称之为 LTP，并为世人所熟知。下面，我们就对 LTP 进行一下详细的说明。

脑研究者在记录神经细胞活动的时候，会采取这样一种方法——用一根极细的金属针（电极）去刺激脑部，并将金属针的尖端靠近所要研究的神经细胞，从而记录其活动情况的方法。这种用电流刺激、解析神经细胞活动的学科被称做电流生理学。波利斯和勒蒙这一重大发现也是运用了电流生理学的方法。

请大家看一下图 28。图右面的波形是示波器所记录的神经细胞的活动。从图中我们可以看到，这一波形恰似水滴着地之前的形状——向下凹陷。这里我们不作专业的解释说明。这种下凹的波形记录了突触电位，而波形的大小（水滴的高度）则表现了突触电位的大小，也就是突触进行了多大强度的活

动。对神经细胞而言，突触电位的大小是判断是否产生动作电位的基准。示波器所记录的突触电位凹度的大小是电流生理学家最为重视的一个指标。

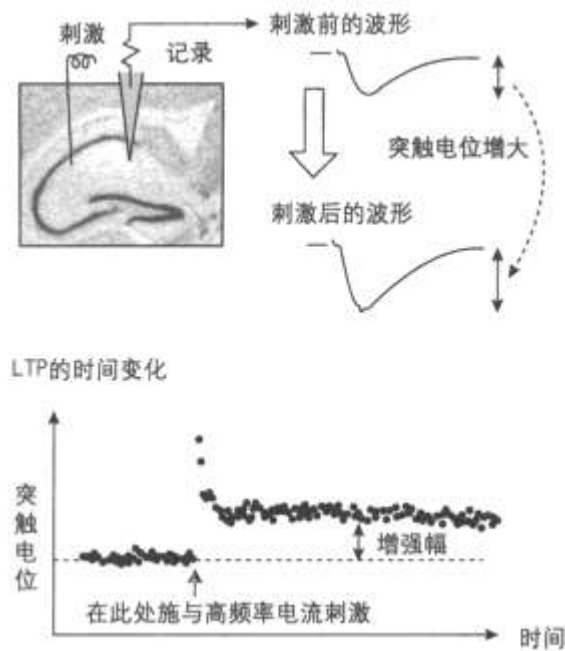


图 28 记录 LTP

波利斯和勒蒙在记录神经细胞活动的时候使用了电极，同时，他们还将另一根用于刺激神经细胞的电极插入了脑中。该电极能够以每秒数百次的高频率刺激神经细胞，从而更大程度地激活神经细

胞。于是，突触电位可以瞬间增大，并且这种状态可以从数小时一直持续到数日之久。引发这种 LTP 的高频率电流刺激叫做高频率刺激。

当然，突触电位的增大必然使突触传达效率提高。假如将突触比做公交车车站的话，就相当于路线的时刻表变了，车站得到了更多的利用。突触可塑性正如我们所预想的那样，它的确存在于脑中，存在于与记忆有很大关联的海马中。

图 28 下面的图是 LTP 的时间变化图表。正如图表中所表现的那样，当对海马施与高频率刺激的时候，突触电位就会瞬间增大，并维持在这种高水平上。虽然当时只施与了一次高频率刺激，但突触电位却持续保持在增大的水准之上。突触的确将这种高频率刺激记忆下来了。

波利斯和勒蒙有关“突触可以记忆”的发现对神经科学界产生了巨大影响。继这一世纪重大发现之后，世界上的脑科学研究者开始对 LTP 进行了更加详细的研究。首先发现 LTP 是在兔子的齿状回。后来的研究还进一步确认，除了齿状回之外，

CA3 区和 CA1 区等海马其他的突触中也观察到了 LTP。之后的研究还表明，除了兔子以外，包括人在内的所有动物的海马中都发现了 LTP。也就是说，LTP 是海马中普遍存在的突触可塑性。实际上，图 28 下面的图表是我在研究室记录的 LTP，这是在老鼠的 CA1 区中得到的数据。

此外，我们还对高频率刺激进行了详细的探讨。结果表明，假如以 0 节奏施加高频率刺激的话，可以更容易地生成 LTP。正如第二章中所述，当人们满怀兴趣地去观察和思考的时候，海马就会发出 0 波，也就是所谓的贝多芬《命运》交响曲的节奏，这可真是一个有趣的事实。我们在日常生活中，经常会有这样的体验，可以比较容易地记住自己感兴趣的事物。LTP 也是如此，当兴致盎然的标记——0 波出现的时候，就会比较容易产生 LTP。

但是，LTP 对于海马的神经线路来说究竟具有什么实质上的意义呢？为了给这个问题寻找到一个明确的答案，最近，我所在的研究室进行了相关的实验，结果如图 29 所示。这是利用一种光学观察神

经细胞活动的特殊手段，抓住了按顺时针方向传递信号的海马神经线路具有决定性的一瞬间。现在世界上采用这种方法的研究室还不多见，这或许可以称得上是最新技术了。

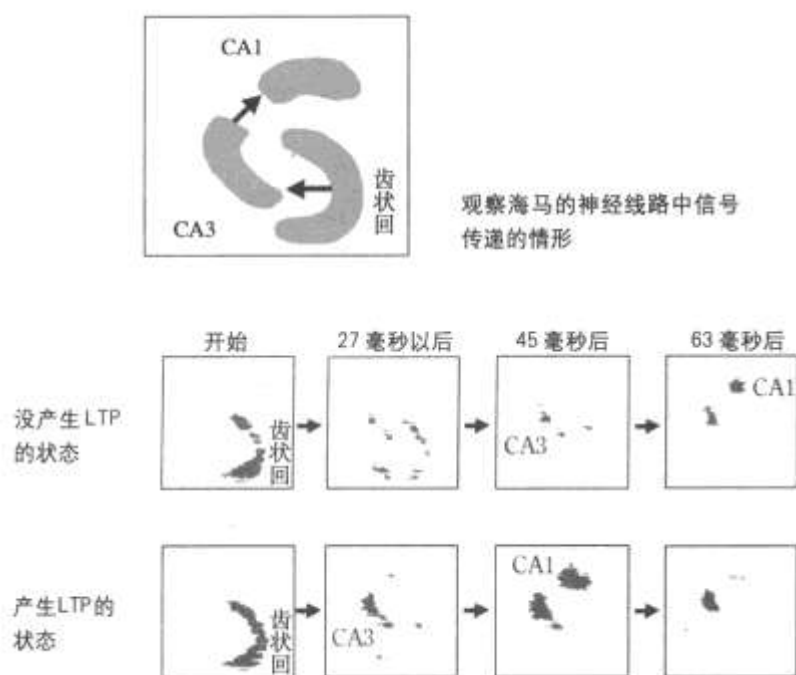


图 29 更强、更快、更远

为了比较清楚地看到神经传导的状态，我们在图中将神经细胞活动的部分用阴影表示出来了。正如左上方的模式图所表现的那样，神经传达是按照

“齿状回—CA3区—CA1区”的顺序，经过了三个突触进行的，我们可以从下面的资料中了解到这一过程。图 29 中没有 LTP 的状态记录的是施与高频率电流刺激之前的海马，也就是尚未产生 LTP 的海马。图中生成 LTP 的状态则是记录了在施与高频率电流刺激之后、产生了 LTP 的海马。

从这一结果中，我们可以明白两个事实。首先，通过 LTP，神经传导变得一目了然。产生 LTP 的时候，CA3 区和 CA1 区的面积变得更大了。其次，当 LTP 产生的时候，神经传导的速度会随之加快。在没有 LTP 的状态下，神经活动到达 CA1 区的时候需要 63 毫秒。当产生 LTP 的时候，仅用 45 毫秒就足以传导到位，传导速度可提高约 30%。

总而言之，更强、更快地传导信息的现象就是 LTP。如果以公车的线路网为例，LTP 就是没有更换路线图（齿状回—CA3 区—CA1 区的顺序），而只是变更了时间表（信息量和到达时间），这是一种典型的突触可塑性，从刚才的研究结果中我们可以清楚地了解到这一点。

2 侧耳倾听的 LTP

刚才我借用一些复杂的图表进行了说明，或许有些不够清楚。这里，我再重新整理一下。简单来说，所谓 LTP 就是突触进行记忆的现象。具体来讲的话，当某种强烈刺激到来的时候，之前几乎尚未活动的突触就会突然变得活跃起来。并且，这些活跃起来的突触在此之后会一直保持在一种活跃的状态之中。我们可以把突触比做学生。一些学生在课堂上打盹儿，被老师呵斥之后，就会立刻认真听课来了。听课的认真程度，即注意力集中率就是突触的传导效率，而老师的训斥则是所谓的高频率刺激，结果是这个学生的考试成绩提高了。我想大家通过这个比喻就能够理解了。

接下来，我们再探讨一下 LTP 的组织结构问题。LTP 是指突触的传达效率提高的现象。如果我们从更微观的角度来审视这一现象的话，又会发现什么

呢?突触是将电流信号转变为化学信号,然后再将化学信号还原为电流信号的场所。因此,突触传达效率的提高其实就是这样一连串的步骤顺利推行的结果。

LTP 就是指电流信号转换为化学信号和化学信号转换为电流信号二者之中,哪一种变换更为有效的问题。再具体一点的话,就是指神经递质更容易释放,还是突触电位更容易生成的问题。神经递质的释放是通过突触前侧的组织结构,而突触电位的生成则是通过突触后侧的组织结构。换言之,这是 LTP 的组织结构是位于突触的前侧还是后侧的问题。总的来说,学生认真听讲是因为课程有趣还是学生要努力学习呢?这一点是脑科学家所要考虑的问题。

那么, LTP 究竟是在突触的前侧还是后侧产生的呢?发现 LTP 距今已有约 30 年了,但在此期间,神经科学界就这一问题的长期论争始终未果。但是,美国的神经生理学家玛里奥的研究小组在 1999 年的《科学》杂志上就此疑问提出了一个非常美妙的

结论。在向大家说明这一内容之前，我再详细地说明一下海马的突触，帮助大家复习。

前面我们已经讲到，海马的神经递质主要为谷氨酸。并且，谷氨酸的受体就位于突触后侧的树突棘。所以，在海马中，谷氨酸与其受体结合，就生成了突触电位。但有趣的是，海马的突触所具有的谷氨酸受体并不是只有一种。迄今为止，已经发现了若干种，其中比较重要的是 AMPA 受体①和 NMDA 受体②。突然一下子冒出英文来，或许会有些令人困惑，但这两种受体是理解后面内容的关键，希望大家牢牢记住这两个名称。图 30 所表现的就是 AMPA 受体和 NMDA 受体的模式图。

这两种受体都具备让钠离子流经的通路，所以也可以说是具有能够生成突触电位的电流信号的转换装置。但是，为什么海马偏偏要拥有两种类型的受体呢？一定是有其相应意义的。

①AMPA: a-amino-3-hydroxy-5-methylisoxazole
-4-propionicacid

②NMDA: N-methyl—D—aspartate

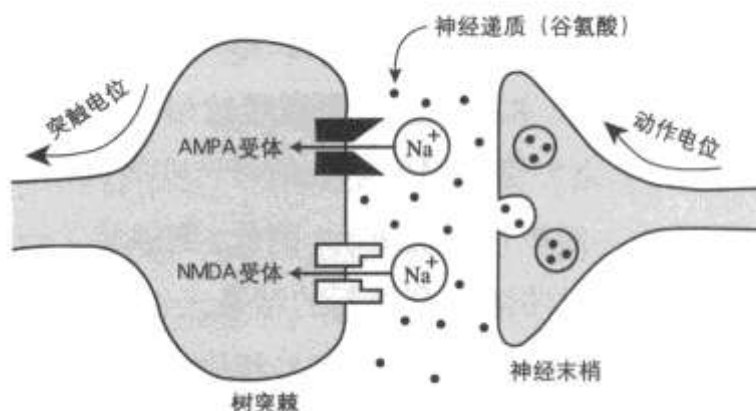


图 30 海马的突触具有两种受体

实际上，通常突触活动所使用的只有 AMPA 受体。之所以这样说是因为 NMDA 受体和 AMPA 受体相比，反应要迟钝得多。也就是说，即使 NMDA 受体感知到了谷氨酸也很难打开通路。必须用更多的谷氨酸刺激它，给突触强烈的信号，NMDA 受体才会有反应。简单来说，只有对神经细胞予以刺激的时候，NMDA 受体才会打开。除此之外，海马则专门使用 AMPA 受体。

此外，NMDA 受体还有一个非常重要的特征。那就是该通路可以使钙离子通过。也就是说，NMDA 受

体受到刺激后打开，钙离子就会一下子涌入神经细胞内。一般来讲，钙离子对所有的体细胞都具有非常重要的意义。这是一个比较深奥的话题，光是钙离子这个问题，就能写上几本书。

当然，神经细胞也不例外，当钙离子流入的时候，神经细胞内部就会躁动起来，开始各种各样的活动。英国的药理学家柯林里基刊登在 1983 年的《生理学》杂志的报告中指出，当使用药剂使 NMDA 受体无法打开的时候，无论怎样施与刺激，都不会产生 LTP。从反面来讲，钙离子通过 NMDA 受体通路流动的行为对 LTP 而言是非常重要的。

至此，我们理解了流经 NMDA 受体的钙离子的重要性。当然，仅仅这样还不能说明 LTP 这一现象。最近的研究发现，在突触后侧的树突棘中存在着钙传感器。这样，科学家们讨论的焦点就放在了该传感器是如何运作从而引发 LTP 的这一问题上。为了找出答案，世界上的研究人员提出种种假说，并进行了积极的探讨。在这样的背景之下，玛里奥提

出了一个美妙而朴素的结论——钙传感器一运作，AMPA 受体就会随之增加。

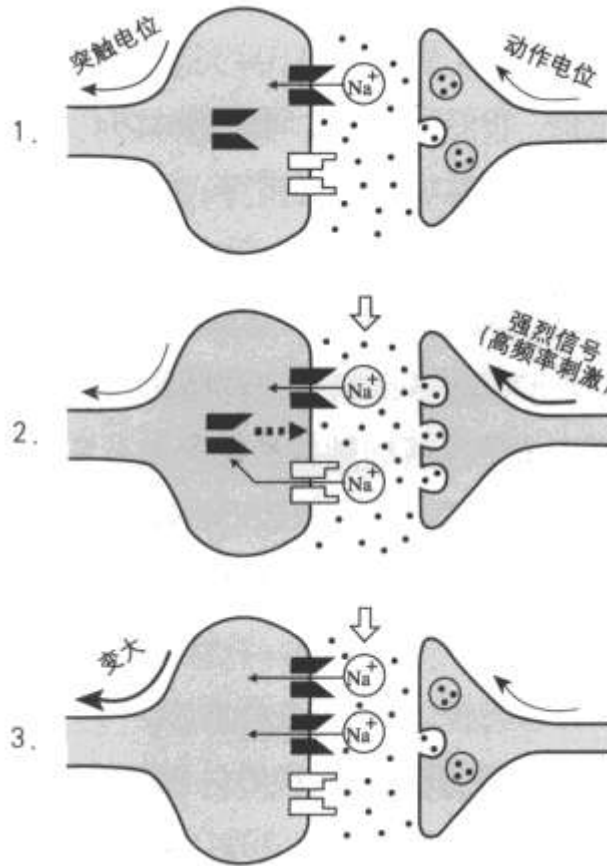


图 31 LTP 的产生过程

让我们来看一下图 31。AMPA 受体不仅仅存在于突触内，还存在于树突棘中。当然，树突棘中的

AMPA 受体是无法感知其外的谷氨酸的，因而也就无法参与到突触传达活动中去。换言之，它就像闲置的库存品一样，成了没有任何作用的受体。但是，当受到外界刺激的时候，钙传感器就会开始启动，这样原本储存于树突棘的 AMPA 受体就会移转到突触中去，从而变为能够发挥效用的受体。其结果就是突触中 AMPA 受体的数量增加，钠离子的流入量随之增加。于是，突触电位增大，传达效率就会随之上升了。

这样，结论就一目了然了，LTP 其实是通过突触后侧一个单纯的组织结构生成的。我们还是用上课来打比方，当学生在课堂上感到困倦的时候，就会下意识地提起精神、竖起（增加）耳朵（AMPA 受体），认真地听起课来，而不是由于老师讲话有趣的缘故。

当话题转入这个微观世界的时候，我想大家也一定会有这样一种感受，调控生命现象的其实就是一台精密仪器。当我们俯视 LTP 这一现象的时候，承担丰富的脑机能的突触可塑性显得颇为神秘。当我们从分子角度去观察的话，就会发现眼前的现象

变得精细起来，我们会发现这不过是一连串的机械反应而已。谷氨酸释放出来，NMDA 受体打开，钙离子流入，AMPA 受体补充到突触中去。这就是 LTP 的真实面目——一种化学反应。

现在或许有的人会感到趣味盎然，也可能有人会觉得索然无味，仁者见仁，智者见智，这是诸位自由。但重要的是一个不可否认的事实——随着 LTP 机制的阐明，医疗事业也取得了巨大的进步，无论是癌症、糖尿病还是高血压都不例外。疾病其实就是人体内的化学反应失灵所导致的。因此，如果能够非常详细地了解这一化学反应的原理，就能够明确疾病的治疗方法和预防方法了。有关 LTP 的知识被人们运用到了药物开发方面，关于这方面的一些实际例子，我会在第七章向大家进行介绍。

3 LTP 才是脑的记忆吗

刚才我们逐一详细介绍了 LTP 的性质以及机制，

LTP 是神经细胞具有的一种重要的突触可塑性，这是一个不可动摇的事实。但是，话题至此，我想大家对于 LTP 还留有一个根本的疑团——LTP 真的是记忆和学习的基础机制吗？

LTP 是在海马中发现的，所以总应该和记忆有着什么关系。但仅仅在海马中这一点还不足成为一个决定性的根据。当然，突触可塑性对记忆而言是非常必要的，这一点已成事实。话虽这么说，突触可塑性的一个例子——L1 甲并不仅仅是记忆的一个要素。现在，科学人员从事着更高等的电流生理学的研究，并已经确认了 LTP 是满足协力性、输入特异性以及联合性的赫伯法则的。但这终究只是一个必要条件，而非充分条件。也就是说，LTP 这种突触可塑性即使满足了赫伯法则，也并不能保证它就是记忆的基础机制。这样一来，现在我们对于 LTP 的疑问就变为了 LTP 本身是不是记忆呢？如果没有阐明这一问题，刚才我们所做的有关 LTP 的所有论述都没有意义。但是，对于这个问题，大家一定都有自己所期待的答案了——LTP 可能和记忆存在着

密切的联系。下面，我就介绍几个论证该观点的论据。

首先是英国的精神医学家马可邦库斯于 1993 年所做的研究。他通过水迷宫实验，对学习中的老鼠进行了详细的观察，发现了一个非常重要的事实，那就是老鼠的记忆力存在好与差的区别。“什么呀，就是这个吗？”或许有的读者会立刻作出这样的反应。这的确是一个理所当然的事实。但是，科学家是绝对不会放过这种人们司空见惯的现象的，就像看到苹果掉下来，也不会忽视其背后隐藏的事实一样。他将这些老鼠按照记忆成绩的优劣进行排序，并记录了每一只老鼠的 LTP 变化。结果，他发现动物的学习能力同海马的 LTP 大小呈正比关系。也就是说，记忆力越好的动物，就越容易产生 LTP 现象。反之，记忆力差的动物只能产生程度较小的 LTP 现象。这就表明，引发 LTP 的难易程度同学习能力之间有着很深的关联。

此外，还有一个有趣的实验，就是加拿大的心理学家斯科里顿的研究。他记录了正在学习自发条

件反射课题的老鼠的齿状回的突触电位。那么情况又是怎样的呢?随着学习的不断推进,突触电位就会不断随之增大。这一事实表明,如果齿状回的神经细胞运用于学习的时候,突触的传达效率就会提高。这也证明海马中的 LTP 会伴随学习而产生。

此后,又有一些研究将 LTP 现象和记忆的关系进一步拉进,英国的实验心理学者莫里斯发表了这一成果。莫里斯给老鼠施与了让 NMDA 受体无法打开的药物。当然,这只老鼠是不会产生 LTP 的。研究表明,服用了这一药物的老鼠无法顺利地完成任务,无法完成水迷宫实验以及自发条件反射课题。换言之,当 LTP 不发挥作用的时候,动物就无法进行记忆。结果证明了 LTP 对于记忆是非常必要的。

当今,尖端的生物工程技术相继被研究和开发出来。在这个世界上,意想不到的事情也都可能成为现实。科研人员利用遗传基因,成功地培育出无法产生 LTP 的动物,也就是从遗传基因上摘除了产生 LTP 必要的机械分子信息。1992 年没有钙传感器的动物诞生了;1996 年还研制出了没有 NMDA 受体

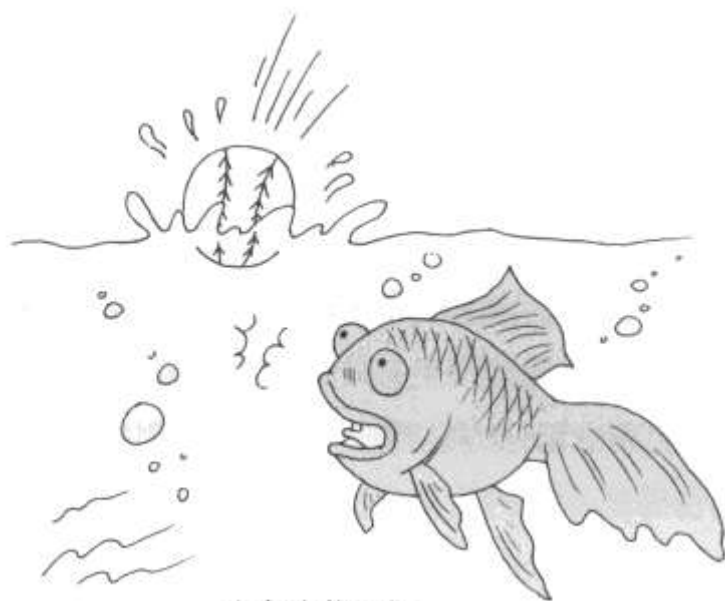
的动物。这些动物看起来非常健康，但却无法产生 LTP。这些动物在进行学习测验的时候，都普遍表现出记忆力极其低下的现象。顺便还要提一下，培养出缺乏钙传感器动物的是日本的诺贝尔医学·生理学奖获得者利根川进。

通过刚才所提及的几个实例，我想大家已经确认了 LTP 为记忆的分子机制这一事实。但现实中还存在着一些治学严谨的研究人员，有一些人（少数派）指出光凭这些是不足以证明的。然而除了 LTP 之外，至今还找不出一个形成记忆基础的突触可塑性的恰当例子，这就在很大程度上支持了 LTP 与记忆之间的关联性。最后，我还要再向大家介绍一个更具冲击力} 生的研究——不用哺乳动物，而是利用金鱼来进行实验。这一研究登载于 1998 年的《自然》杂志。

4 幻想成为现实的那一天

金鱼的脑中没有海马，但也能进行简单的记忆。

那是因为金鱼脑中存在着能够替代海马的神经线路。但是这种神经线路不具备海马那样高的性能，所以也就无法进行高度的记忆。正是由于这种单纯的神经线路，金鱼成了一种比较容易利用的、合适的研究对象。大阪大学的小田洋一认识到了这一点，并注意到金鱼的一种习性——当金鱼突然听到声音的时候，它就会朝着相反的方向游去。



金鱼也能记忆

小田把金鱼放在水桶中，并进行了多次抛球落水实验。最开始的时候，每次球落下，金鱼都会受惊吓逃走。但是反反复复抛球之后，金鱼逐渐适应

了这一状况，慢慢地就没有什么反应了。也就是说，它已经“记忆”了这个球并不危险的信息。当然，金鱼的记忆力并没有那么高，这种抛球落水的实验持续了近一个小时，金鱼也没有记住这个信息。

这个实验已经详细地阐明了金鱼的神经线路比较单纯的事实，也清楚地表明了神经线路引起金鱼受到声响惊吓、逃离的行为，还有神经线路可以记忆无需逃跑的信息。这样，小田所进行的实验就比较明晰了。他尝试着向已经记忆了无需逃跑信息的金鱼的神经线路中诱导出 LTP。在此之后，金鱼对落球就没有任何反应了。换言之，金鱼已经完全记忆了此后掉落的球不危险的信息。

这一实验具有非常深远的意义。小田利用 LTP 现象，成功地为金鱼植入了记忆，这还是首次将记忆移植给动物的实验。曾经有人在写小说搜集素材的时候问我“有没有可能改写记忆”，当然，那个时候我想世上不会有科幻小说那样的事情的。但是，小田的研究真实地表明，人们甚至可以为金鱼植入全新的、假想的记忆，使用的就是现在我们所谈论

的 LTP。这是一项令人记忆深刻的研究。对人进行记忆移植的幻想或许在不久的将来就会成为现实。到了那个时代，大概学校那些无聊的课程也无需去上了。利用 LTP，将学校要学的知识印入脑中不就可以吗？当我通过 LTP 的研究，让思绪驰骋的时候，欢愉的想象充满了整个头脑。

5 镜子里的 LTP

我们对于海马中有 LTP 这种突触可塑性的事实已经非常清楚了。从另一方面来讲，这里还留着一个疑问——神经细胞所具有的突触可塑性只有 LTP 吗？使突触的传达效率发生变化的方法只有 LTP 吗？只要稍加考虑，就能够清楚地得出答案了。

LTP 现象具有一种饱和的性质。也就是说，LTP 具有一个上限值——只记忆之前发生的事情。这也是理所当然的事情，LTP 是储备的 AMPA 受体进入突触时出现的现象，所以当储备消耗殆尽的时候，是

不会出现 LTP 的。换言之，如果脑中所有的突触都产生 LTP 现象的话，脑就不能记忆任何信息了。如果脑达到这样的使用界限的话，那就比较麻烦了。因此，消去 LTP 的工作是非常必要的。这种工作就是将 AMPA 受体重新调回仓库，降低突触传达效率。

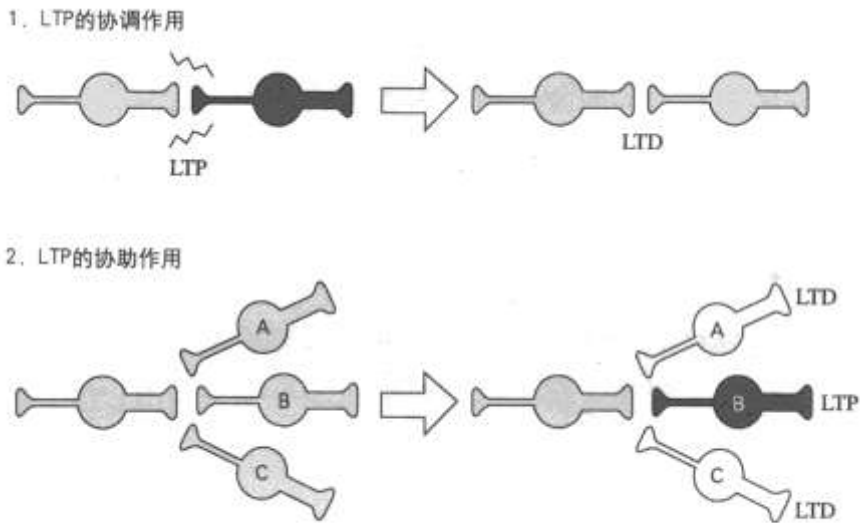


图 32 LTD 的作用

这种现象叫做长期抑制 (Long-Term Depression)，取其开头字母简称为 LTD。LTD 是与 LTP 相反的现象，所以可以将这两种突触可塑性看成是镜子成像的关系。在海马的突触处，的确发现了 LTD。此外，令人惊讶的是，LTD 也能够通过高频率电流刺激来予

以诱导。但和引发 LTP 的情况有所不同,要生成 LTD,需使用频率偏低的电流刺激。换言之,如果同时使用不同频率的电流刺激的话,海马的突触就会同时显示出 LTP 和 LTD 了。

在海马中所观察到的突触可塑性主要是 LTP 和 LTD。但是, LTD 和 LTP 相比较的话,它的作用尚不清楚。LTD 的作用如图 32 所示。其一正如我们前面所讲过的,作用是使已生成的 LTP 还原,这是非常容易理解的。

另外, LTD 还有一个非常重要的作用,那就是协助和扶植 LTP。比方说,如图 32—2 所示,假设有 A、B、c 三个突触,其中 B 中生成了 LTP。这个时候,如果其余的两个突触产生 LTD 的话,B 的 LTP 就会越发明显。B 的突触传达效率上升,A 和 C 的就会下降,从整个神经线路来看的话,LTP 的轮廓就非常明了了。比起只有 LTP 的情况,LTD 能够使 LTP 更加突出。就好比学习一样,自己的学习成绩上升的同时,周围同学的成绩就会相对下降,差距变得更大。按照赫伯法则,突触可塑性具有输入特异性

的性质。LTP 现象只产生于所应产生的突触。换句话说，LTD 使 LTP 相对突出，我们可以认为它具有提高 LTP 的输入特异性的作用，或者说是一位默默贡献的无名英雄。 大脑就是这样非常巧妙地运用 LTP 和 LTD 这两种相反的现象进行记忆的。记忆是建立在 LTP 和 LTD 达成巧妙平衡的基础上的。

6 情绪生成的记忆

自波利斯和勒蒙的发现以来，人们对 LTP 的研究可谓呕心沥血。当然，我们还是期待着 LTP 的研究能够同“记忆”这一颇具魅力的未知领域的开发结合起来，很多的研究人员也都为之付出了大量的心血和汗水。迄今为止，在这些研究之中，我所论述的大多数 LTP 的研究都是立足于细胞或者分子水平的微观视角上。此外，LTP 的研究还存在一支流派，那就是站在更高、更远的视角上进行研究。

我们已经知道，给动物施加精神压力的时候，会导致动物激素失衡，这样就很难形成 LTP 了。换言之，精神上的紧张和压力成了记忆的绊脚石。此外，如果给动物饮酒的话，LTP 也会减弱。这就相当于酒精性健忘症的症状——饮酒过度，记忆丧失。人们在日常生活中司空见惯的事情，LTP 研究都为我们作出了相应的解释。

这种研究并没有站在探究分子机制的视角上，而是从更为宽泛的角度来把握 LTP 这一现象，旨在搭起同我们的日常生活相连的桥梁。我们将这种研究视点叫做宏观视点。要将最新的脑研究还原到日常生活中去，宏观研究是非常必要的。最后，我想从诸多 LTP 的宏观研究选择一个有趣的话题介绍给大家。

我们每个人都拥有各自的回忆。由于回忆属于情景记忆，所以属于高级记忆。现在如果有人说“请大家回忆一下从前的事情”，我相信每个人想到的都千差万别。尽管回忆会因人而异，但还是具有相通之处。，无论是高兴、悲伤、惊讶，所有的回忆都与

喜怒哀乐的情感相联系着。反过来说，正是由于这些情感和思绪非常深沉的缘故，这些都成为了回忆保留在脑中。

我们把包括快乐、悲哀、恐怖、惊讶等各种喜怒哀乐的情感称情绪，我们能够清清楚楚地记忆和情绪相关的事情。换言之，情绪能够促进记忆的形成。

情绪产生于毗邻海马的扁桃体，这是一个直径约 1 厘米的球形脑部位。实际上，当扁桃体的神经细胞处于活跃状态的时候，情绪就会产生，无论是人还是其他动物都能够感受到这一点。相反，假如扁桃体遭到损坏的话，动物的情绪起伏就变得很小了。

有趣的是，扁桃体一旦开始活动，海马的 LTP 就会增强。与此同时，若用高频率电流刺激扁桃体的话，就会生成极强的 LTP。通常来讲，即便使用的是不会生成 LTP 的微弱高频率电流刺激扁桃体时，也会生成 LTP。也就是说，没有太深印象的细碎片断也会在情绪的作用下被记忆，这就是所说的回忆。

赫伯法则中有一条协力性。引发 LTP 的高频率刺激的强度存在着一个临界值。所以，我们可以认为扁桃体的神经活动会促使 LTP 的高频率刺激的临界值下降。通过这样的组织机能，我们会从日常生活的诸多体验之中，挑选出和情绪相关的影像，记忆下来，成为回忆。

当然，动物自身是不存在回忆的。实际上，扁桃体促进记忆的现象与动物的生存有着紧密的联系。动物会牢牢地记住曾经体验过的恐怖情景，下一次面对同样状况的时候，就会比较灵敏地躲避危险了。对动物而言，在初次遭遇这种危险的时候，能否很好地进行记忆，是一个性命攸关的重大问题。这种机制正是情绪所促使的记忆。这样，‘动物就能够很好地记住曾经遇到的危险场面了。

换言之，这是人从进化前的低等动物开始，脑中就存在的一种特殊性质。在现代的都市生活中，危及生命的危险并没有那么多，但在进化的过程中所培育的这种特殊记忆至今仍残留在人脑之中。回忆的产生——这种人类浪漫的佳作大概可以称得上

是动物之间生存之战的光辉遗产了。

7 梦的延续

本章对于记忆的组织机能进行了分步骤的讲解。世界上的研究人员对于 LTP 这种颇具魅力的突触可塑性注入了极大的心血，他们所发挥出来的热情对该项研究起到了巨大的作用。实际上，现在这里所谈到的扁桃体和 LTP 的关系在我学生时代的时候就已经大白于天下了。现在，世界上很多的研究人员也在以这种宏观的视点来研究 LTP 现象。

当前，LTP 现象的宏观研究作为一种阐明记忆组织机能的新型研究方法在神经学界占据了一席之地。我们通过 LTP 去审视记忆性质的时候，现实中各种各样的现象都可以从本质上得到说明。从脑的外部进行观察所无法了解的记忆的性质，现在也真相大白了。在现代脑科学研究中，LTP 在阐明记忆机制方面，是一个不可欠缺的强有力的武器。

那么,LTP 就是记忆的基础机制吗?现在还有一些态度比较审慎的研究人员对此存有疑问。但即使这一问题还存有异议,过去的 LTP 研究为揭开记忆机制之谜所发挥的巨大作用已经成为一个不可动摇的事实。脑科学的发展日新月异,坦率地讲,今后这个领域将会怎样发展,现在还无法预知。但是我坚信,不管怎样,至少我们已经一步一步地朝着那片未知领域迈进了,我个人也为此进行了不懈的努力。在不久的将来,我们会揭开记忆的真实面目,满足人类探求知识的欲望,同时我们还可以利用这些成果开发研制出治疗和预防痴呆症的药物——我们期待着这一梦想成为现实。

第六章 科学锤炼记忆力

一些上了年纪的人常常抱怨“老忘事”、“记性变差了”。的确，20岁以后脑的机能应付逐渐减弱，但神经线路反而会不断增加，记忆的容量也会增大。关键在于我们应该采取与自己年龄相适应的学习方法，同时不断锻炼头脑，记忆力才能得到保持。

相信通过持之以恒的努力并掌握一定的技巧，你一定能成为记忆高手。



闪烁的脑(将水母的荧光分子遗传基因移植给老鼠产生的效果)

1 是记不住还是不去记

市面上经常会卖一些讲解记忆方法、背诵方法等增强记忆力的书籍。古希腊时代，人们就已经开始编纂此类书籍了。或许从很久以前开始，人们就已经被记忆这个难题所困扰了。人能够记忆事物，但人们有的时候还希望能够记忆更多的事物，于是就会对自身有限的记忆力感到沮丧。此外，人们还会时常对自己在必要的时候想不起曾经记住的事情而懊恼不已。于是，人们一直希望能够进一步地提高自身的记忆力。我想，无论哪个人都会抱有这样的愿望吧！

但是，脑具有自己的性质。如果不遵循这一性质，无论怎样努力，记忆力都无法得到进一步提高。因此，我们不要去违背脑的性质，而应该利用它更加有效地锻炼记忆力。在这里，我就要从科学的角度出发检验一下这一方法。所以，本书不会再赘述

那些充斥大街小巷的、没有足够论据的记忆方法。大家在这里可以复习和回顾一下刚才我们讲过的记忆的性质、神经细胞的性质、突触的性质以及 LTP 的性质等知识，同时从理论以及实践的角度去思考怎样才能更有效地提高记忆力。

在进入正题之前，还有一点大家必须留心，那就是年龄和记忆之间的关系。有一些人经常会抱怨说“最近记忆力下降了……”“最近老忘事儿……”，等等。确实，大脑的机能一直到 17 岁左右，都是非常活跃的，之后就会不断衰退，人们似乎对这一点已经达成共识了。然而这真是事实吗？我们对大脑进行详细调查之后发现，神经细胞的总数的确会随着年龄的增长而逐渐减少，但突触的数量反而会增加。也就是说，神经线路会随着年龄的不断增加而增加。这一事实表明，随着年龄的增长，人的记忆容量会变得比年轻时候大。

但是，还是经常会有人不住叹息“上岁数了，记忆力不好了”。这种认识其实是极其错误的。在我个人看来，这些人记忆力不好只是因为努力程度

不够。此外，他们还忘记了从前自己为了记东西曾经付出了多大的努力。学生时代，学习占生活的大半部分，要掌握某项技能，需要花费很多的时间和精力。忘记自己曾经努力的过去，而只哀叹衰老是一种非常愚蠢的行为。

此外，一些人经常抱怨自己“忘事忘得厉害”，我想这并不是因为忘了、想不起来的缘故，而是因为从一开始就没有记住。“已经记住了”——这种错觉经常会引起记忆力的停滞。如果大家经常发这种牢骚，现在就从这种误解中脱离出来吧，这种消极的自我暗示会妨碍正常的记忆力。

2 无效的学习方法

但是，随着年龄的增长，记忆力丝毫不会发生变化——这当然是不正确的。这是因为记忆有很多种，并且每种记忆都和人的成长有密切的关系。正如图 8(第 43 页)所示，记忆是分阶层的。并且，这

种阶层是随着人的成长而逐渐形成的。比方说，人在年轻的时候，语义记忆(知识的记忆力)是非常发达的，而最上层的情景记忆不到一定的年龄阶段是无法完成的。

小学里通常是在孩子 10 岁以前教授九九乘法表，就是要趁着语义记忆比较发达的时候，让他们进行记忆。这个时期的孩子对那些没有意义的文字、图画和声音具有很强的记忆力，但对理论性比较强的知识的记忆就相对弱一些。相反，中学时代，情景记忆已经完成，理论性记忆相对发达。所以，人在成年之后再去记忆九九乘法表的话，就是一件非常困难的事情了。

一般来说，记忆根据不同记忆对象可划分为不同的适龄期。脑科学家们把这种记忆的适龄期称做临界期。比方说，一些人能够准确判断声音的音阶，也就是具备绝对乐感的能力。实际上，掌握这种特殊能力(记忆)的临界期是在 3~4 岁。因此在完全拥有自我意识的年龄再去接受这种绝对乐感的教育，

就为时已晚了。所以说，成年以后，即使对音乐或乐器抱有浓厚的兴趣，也很难去把握绝对乐感了。

此外，大家都知道语言记忆的能力在 6 岁之前比较高。但是，语言学习的临界期并没有绝对乐感那么严密，所以中学之后开始学习英语也是能够学成的。但学习的速度相对来说就比较迟缓了。比方说，如果全家一起移民海外的话，一般来说，家中年龄最小的人最先学会外语。运动方面也有类似的情况，幼年时代经常运动的人即使成年之后，在体育运动方面也能发挥出比较优秀的运动能力(程序性记忆)。

可见，不同的记忆方法与人的不同年龄相适应。这对于学习来说，是非常重要的。比方说，中学之前，语义记忆的能力还比较高，那个时候即便采取缺乏思考的、死记硬背的方法也可以应付考试。但超出这个年龄段之后，人的情景记忆逐渐占了上风，以往那种死记硬背的学习方式就不再灵验了。

如果没有注意到这一事实，还是和以前一样，重复使用死记硬背的学习方法的话，就会感到自己

记忆力的局限性了。这一类人只能哀叹自己记忆力的低下——“现在不像年轻时那么好了。”其实并不是由于记忆力衰退的缘故，只不过是记忆的种类发生了改变。因此，我们要正确理解自身的记忆，并采取相应的学习方法，这一点是非常重要的。

随着年龄的增长，人的情景记忆逐渐发达，比起死记硬背来说，人的理解性记忆能力非常发达。这是一种能够充分理解事物、并记忆其内在规律的能力。当然，学习方法也需要朝着这一方向转变。如果不好好地去努力，也就无法掌握这种有效的学习方法。甚至有可能跟不上老师讲课的进度，学习退步甚至落后。

当然，这种理解性记忆方法并不仅仅限于学校的学习。这么说是因为死记硬背的学习方法只对记忆某一范围内的有限知识有效，假如掌握了理论和规律的话，这种规律就能够活用于本质相同的所有现象了。所以，即使记忆量相同，理解性记忆相对来说可以发挥更高的效率。这种记忆方法在日常生活中的应用非常广泛，这一点毋庸置疑。所以，在

本章中，我想分成若干个侧面剖析培养理解性记忆力的方法。

3 记忆的维生素

根据 LTP 的性质，可以理解各种记忆的性质。首先，最令人关注的一个现象就是当海马发出 θ 波时，会比较容易产生 LTP。所以，置身于可以生成 θ 波的环境是非常重要的。进入一个新环境或与素不相识的人相遇时，海马就会自然而然地产生 θ 波。于是，人就会自发产生一种试图牢牢记住当前所见所感的意识。事实也是如此，人们对自己第一次经历过的事情都会记忆犹新。

除此之外，还有其他一些情况可以引发 θ 波。最有效的方法就是对所要记忆的对象抱有浓厚的兴趣。海马在这种情况下能够自然地发出 θ 波。当得知同一件事情的时候，人们的反应也会有所不同。有的人漠然置之，只说一句“哦，那样啊”；有的人

的态度则积极向上，会追问“哦！哦！原来如此，那之后怎样了呢”。后一种情况下能够产生更强烈的 θ 波。所以，关键的一点是要对事物抱有浓厚的兴趣。



因刺激而膨大的海马

随着年龄的增长，人们对各种事物的热情也越淡漠，不再热衷和执著于某一件事情了。眼前的人或事物再也不能引发内心的感动。于是，记忆力每况愈下。其实，这是人们的一种错觉，认为记忆力

会随着年龄的增长而不断衰减，时间一长，就退化成一个对任何事情都漠然置之的“成年人”，对生命本身也习以为常了。这是万万不行的。只有经常对周围环境的刺激保持一种敏感性，让海马持续保持在可以生成 e 波的紧张状态之下，人的记忆力才会增强。

在外界刺激相对较多的环境下生活不仅有利于 LTP 的产生，齿状回颗粒细胞的增殖也变得活跃起来。换言之，记忆所必需的神经细胞开始增加。当然，结果就是记忆力得到增强。随着记忆力的增强，人也就会对更多的事物产生浓厚的兴趣。这是因为人脑开始朝着一种更为理想的状态发展了。也就是说，脑会越用越好使。

反过来说，如果长期疏于使用脑，脑的机能就会不断衰退。比如休假的时候，有的人什么都不做，整天待在家里无所事事。这些人本来是想让脑休息一下，但却只能导致自己记忆力下降。要想恢复一度衰减的脑机能，只像平常那样努力是远远不够的，还要注意从平时的生活中寻求刺激和兴奋。达·芬奇

曾经说过•句话：“正如没有食欲的饮食有害健康一样，没有欲求的学习也同样有害记忆。”因此，记忆最好的“维生素”莫过于带有浓厚兴趣的好奇心和探究心。

4 平淡的情绪妨碍记忆

怀着好奇心和探究心去观察事物不仅能促使 e 节奏的生成和颗粒细胞的增殖，还会影响到海马以外更广阔的范围。“非常有趣”和“很高兴”等心情属于情绪，因此扁桃体也在发挥着相应的作用。正如第五章所述，扁桃体可以促进海马生成 LTP，它的作用就在于可以帮助人们记忆平时记不住的事物。如果你对某种事物产生兴趣，大脑就会毫不费力地将它记住。换言之，自己的情绪受到触动的话，大脑就会自然而然地进行记忆了。

当然，这和学校的学习是一样的。虽然别人常对你说“去享受学习”，但我想这是一件比较困难的

事情吧。如果你不去利用记忆的性质，对你的学习无疑是一种损失。比如说，教科书上写到“1582年，织田信长在本能寺受到明智光秀的突然袭击而自杀”。我们不要去死记硬背书本上的知识，而要在脑中想象当时织田信长受到明智光秀的突然袭击而悔不当初的情景，并对他的死产生一种感同身受的悲痛感觉，这样，脑就会自然而然地将这一知识记忆下来了。虽然这样故作伤感感觉有些傻，但是我们的记忆实际上就是这么一回事。作家圣西门在晚年的时候曾经这样说道：“不要丧失一颗感动之心，没有感动之心的人一事无成。”记忆的这种性质是在生物进化的过程中，经过数千万年自然淘汰的结果，充分利用这一性质是符合生物学理论的，也是一种减少脑的负荷的方法。

当然，不安和恐怖等情绪也是扁桃体作用的结果。比如，考试临近的时候，有的人可以一鼓作气，将平时无论如何都记不下来的知识全部塞在脑中。这就好比在火灾现场，有的人可以使出一股蛮劲儿一样。考试前的不安和危机感使记忆力得到了暂时

增强。但是，这种考试前填鸭式的学习方法存在着很多的问题，比如说，容易产生精神紧张感。人处于紧张状态的时候，LTP 就会大幅度减弱。人在精神紧张状态时的记忆力是很差的。所以，考试前过于紧张的学习只会适得其反。当然，最差的莫过于那种“快考试了，怎么办啊”——只是一味紧张却不去学习的状况。我们应该在没有压力的自如状态下来准备考试，这一点是至关重要的。但是，假如时间比较宽裕的话，就无法保持必要的紧张感，学习的劲头也会懈怠了，这对记忆同样是有害无益的，在适度紧张的状态下勤奋学习才是有效的学习方法。

5 增强记忆力，消除紧张状态

这样看来，精神紧张是记忆的天敌，但实际上，我们的脑是能够记忆这种紧张状态的。大家听到这样的话，或许会很纳闷。事实上，我们是可以学习

这种紧张状态的。只不过大家通常用的是“习惯”这个词，而不是“学习”。

比如，新学年到校的第一天，或者刚进公司的时候，当人置身于这种自己不熟悉的新环境下时，就会产生一种精神上的紧张感。但是，过了一段时间之后，朋友之间的相处比较融洽，也逐渐适应了周围的环境后，开始的那种紧张感就会慢慢消除了。环境并没有改变，精神上的紧张却减少了。这是脑记忆的结果——“无需对现在的环境感到紧张”。大脑是通过海马的 LTP 来记忆紧张状态的。

加拿大的心理学家汉克就海马和精神紧张的关系进行了一系列的研究。这对老鼠而言是一种比较残酷的实验。汉克为了对老鼠施加精神上的压力，让它患上了胃溃疡。精神压力越大，胃溃疡就会越严重，所以只要测定了胃溃疡的发病面积，就能够测算出老鼠承受了多大程度的精神压力。

汉克首先对切除了海马的老鼠施加精神压力。同没有切除海马的老鼠相比，前一只老鼠胃溃疡的面积更大。这是由于同拥有正常海马的老鼠相比，

前者持续承受了更大的压力。我想大家从这一研究结果中就可以明白——习惯紧张状态其实就是脑利用海马进行记忆的结果。

接下来，汉克又进行了这样的实验，在对正常的老鼠施加压力，让它处于紧张状态的同时，还试图使其海马生成 LTP。这样一来，老鼠所患胃溃疡的面积减小了，有的老鼠胃溃疡完全愈合了。这个研究表明，老鼠通过海马的 LTP 学会了精神紧张。由此我们可以知道记忆力增强的话，精神紧张就会消失了。记忆力的天敌是精神紧张，精神紧张也是以记忆力为天敌的。换言之，精神紧张和记忆是水火不容的。

刚才我们讲到，要增强记忆力就要避免精神上的紧张。但在现实生活中，很多时候都无法避免紧张。在这种情况下，如果不尽早适应紧张的话，宝贵的记忆力就会受损。此外，汉克的实验结果表明，记忆力较强的时候，即使处于危机状况之下，所承受的压力也会相对减弱。这不仅能够保护宝贵的记忆力，也是一种理想的精神保健方式。所以，我们

在日常生活中应注意提高自身的记忆力，以备今后可能遇到的不可避免的紧张状态。记忆力提高了，由紧张状态所造成的损害就会降到最低限度，记忆力也就会进一步得到提高，这样就能锻炼出能够应对较大精神压力的脑了。

6 为什么能够通过东京大学的考试

突触可塑性还具有联合性。所谓联合性是指当事物之间相互联系的时候，能以一种低于临界值的刺激来引发 LTP 的现象。也就是说，将各个事物联系起来，比较容易记忆。将事物联系起来，换言之，就是充分理解要记忆的事物。大脑不能很好地记忆那些不理解的事物。那些死记硬背的公式、文字或毫无意义的数字，即使记住了，很快也会忘记。只有理解了这个事物的时候，脑才会牢牢地将它记住，而不会记忆那些尚未理解的事物，因为记忆这些事

物是没有意义的。脑是理性的，不会在那些没有意义的事物上浪费精力和能量。

比方说，明天以前，要一直保留“1836547290”这个数字的记忆，这对脑来说无疑是一个难题。别说明天以前了，就是 30 秒钟的短期记忆也不太可能。但是，假如能够发现数字的排列法则的话（见图 33），无论谁都能够记住这组数字。别说到明天了，就是一个月大概也不会忘记。发现了这一法则，即充分理解事物，记忆就会表现出非常明显的效果。

所以，对学习而言，发现隐藏在事物内部的规律是至关重要的，这需要我们具备一种能够发现规律、认识规律的能力。教科书上的知识也一样，如果没理解的话，就不能牢牢掌握。而且，在尚未理解的情况下，即使记住了也毫无意义。所谓理解就是一个自我消化的过程，将所学知识消化之后，就能够很好地运用它们，并能够理解更多的事物。于是，在神经线路中，大量事物之间就会相互联系起来。这样，人们就会对这些事物产生更浓厚的兴趣，随着兴趣加深，记忆力就会不断增强了。

1. 排列法则



2. 谐音

3.1415926535897932



山巅一寺一壶酒，尔乐苦煞吾，把酒吃，酒杀尔

图 33 记住没有意义的事物

我是东京大学的一名教师，每天都会接触到东京大学的学生。这些学生们确实都是从严格的考试中脱颖而出的强者，但却不是天生就具有非凡智慧的人。即便偶尔有天才的话，也是例外中的例外。尽管一些人看上去好像拥有超凡记忆力的头脑，但实际上他们只不过是掌握了记忆的技巧，能够很好地运用一些要领来进行记忆。当然，这些要领就是

把握规律、理解记忆等。换句话说，记忆力的好坏在于个人是否用心。

此外，我们还会经常用到记忆的另一个技巧——谐音。我用谐音的方法来记圆周率，可以记到小数点后 16 位。当然，谐音也是有技巧的。不要只是通过看来记忆，而是出声记忆。这是因为耳朵的记忆比眼睛的记忆更深刻。

将老鼠或狗和人类相比较就可以发现，在动物进化的过程中，相对于听觉，视觉的进化程度是最为接近的。这就表明，在进化的历史长河中，比起眼睛，动物更加充分地使用了耳朵。因此历史越久远，耳朵的记忆比眼睛的记忆就越牢固。我想每个人都有过这样的经历，记歌词的时候，和曲调一起记忆比单纯看着歌词记忆更容易。古代的祭祀等重要的事情都是通过歌曲传诵给子孙后代的，这也说明了古代人已经能够充分理解记忆这一性质了。

此外，除了凭语言的韵律来记忆，充分想象词句的意思也是非常重要的，记忆也会得到进一步增强。因此，不管花多少时间，自己创作谐音来记忆

不失为一个好方法。然后，还要尽量去想象一下谐音所体现的具体情境。想象力发挥得越充分，记忆的保留时间就会越长。爱因斯坦曾经说过：“想象比知识更为重要。”毋庸置疑，这是一种充分利用突触可塑性的联合性法则进行记忆的方法。

刚才我们已经讲过，充分理解和联系事物能够增强记忆力，所以在记忆单个事物的时候，最好将它和更多的事物联系起来。我们把这种将事物的内容联系在一起，使之更加丰富的行为称做精致化。如果大脑能够经常保持一种精致化的状态，记忆就会变得更加容易，并且这种记忆也会成为有用的知识。

此外，还有很重要的一点是，我们不仅要和各种知识联系在一起，最好还要将知识和自身的经验结合在一起进行记忆。之所以这样说，是因为如果同自身经验联系在一起的话，这种记忆就成为情景记忆了。情景记忆比语义记忆更优秀，比起语义记忆来，它所具有的难以忘记、能够随时想起的特征

更为重要。考试的时候，不是总有一些人在关键的时候想不起来而感到为难吗？

进行情景记忆的便捷方法就是向朋友或家人解释和说明所记忆的知识(语义记忆)。比如，“这是那个时候教过的”、“好像是画了一个这样的图形来说明的”，等等，这样就形成了情景记忆。作这种说明之后就能够比较容易地回想出所记忆的知识了。此类说明的好处并不仅限于此。作家亚诺曾经说过：“自己不能理解的事物是无法让他人理解的。”正如他所说的那样，如果自己没有真正理解，就无法向别人说明。换句话说，可以通过向他人说明来确认自己是否真的理解了这一事物。

此外，还有一点需要注意的是，情景记忆还会逐渐转变为语义记忆。如果置之不理的话，情景记忆中的个人体验就会慢慢淡薄，好不容易形成的情景记忆又会成为语义记忆了。所以，随着年龄的增长，语义记忆的比例会逐渐增大。这就是为什么人随着年龄的增长，就会时常记不起事来的缘故。当然，虽然记忆保存在脑中，但由于是语义记忆，能

引发记忆的相关契机并不多，所以时常会出现忘事的情况。当然，无法想起的记忆就好比生了锈的铁钉一样，没有任何意义，只能将其束之高阁。所以，对于那些不愿遗忘的知识，我们可以偶尔向他人说明一下，努力将其作为情景记忆保存起来，以免丢失。

7 学习要适当

人脑的记忆和电脑有所不同，它不是永久的。一般来说，随着时间的流逝，记忆会自然消失，也就是遗忘。非常有趣的是，尽管记住和遗忘都是同记忆相关的现象，但是可以有意识操作的只限于记住。遗忘这一行为是无法通过人的主观意识来进行操作的。正如在不眠之夜，越想睡越睡不着一样，越是想要遗忘，却记得越牢。

从另一个方面来说，由于遗忘这一现象是无法有意识去操作的，所以遗忘是很单纯的现象。也就

是说，对遗忘这一现象进行科学研究相对来说比较简单。实际上，在 19 世纪，德国的实验心理学家艾宾浩斯就已经对遗忘进行了详细的研究。

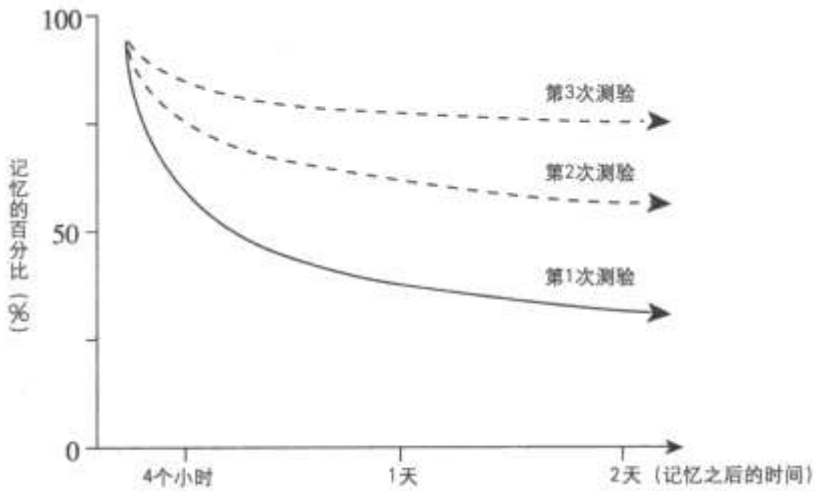


图 34 艾宾浩斯遗忘曲线

艾宾浩斯让实验对象记忆很多个毫无意义的 3 个数字的排列，然后去研究记忆是以什么样的速度逐渐遗忘的。图 34 就表明了研究的结果。在最初的 4 小时里，会忘记一半左右，之后，所残留的记忆逐渐消失，这一过程可以用几何曲线描绘出来。这就表明，记住之后会迅速忘记，但超越这一过程的

残留记忆则能保留较长时间。这就是众所周知的艾宾浩斯遗忘曲线。

前面我们已经讲了，考试前夕，填鸭式的学习绝不是一个好方法。但假如真的走投无路了，与其头一天挑灯夜战，还不如当天早晨奋力苦读，后者获得的记忆持续到考试时的可能性更高一些。如果按照艾宾浩斯遗忘曲线来看的话，考试前的4个小时是决定胜负的关键。

另外，我们还讲了，遗忘是一种无法用意志去控制的行为。但实际上，有一种加快遗忘速度的方法。那就是追加记忆其他的事情。例如，在艾宾浩斯的实验中，让实验对象记住20组3个文字的组合。根据遗忘曲线，到次日之前，大约能记住8组(40%)左右。但是，假如在此之前，追加记忆10组文字的话，记住最初的20组文字的比重就会大大减少了。

这是因为记忆神经线路之间会相互作用，相继记忆相似的事物，前面的记忆就会受到妨碍。这被称做记忆干扰。一些人失恋之后，经常会慨叹无法忘记以前的恋人，可是一旦找到新恋人之后，就会

泰然自若地把旧恋人抛到脑后了。另外，记忆干扰还会影响到新的记忆。在尚未到达遗忘阶段时，新的记忆会比较模糊，这就是人们经常会产生混同记忆和错误记忆的原因。这也表明，倘若添加记忆不慎的话，反而会导致记忆力下降。

比方说，必须在明天考试之前，记住 100 个从未见过的英语单词。如果想在考试中取得比较好的成绩，与其勉勉强强费力地去记 100 个单词，还不如扎扎实实地记住 50 个单词。这么做就是为了避免记忆干扰。只记忆 50 个单词的学习的确有些狡猾，但这种学习方法不仅对考试成绩有所帮助，在利用时间、节省体力和精神方面都不失为一种合理的战略。比起彻夜不眠，往脑中硬塞 100 个单词来，这种方式更健康。在没有精神压力的状态下去记忆力所能及的内容，并扎扎实实地去记忆能够理解的东西，这种学习方法是比较符合记忆性质的。

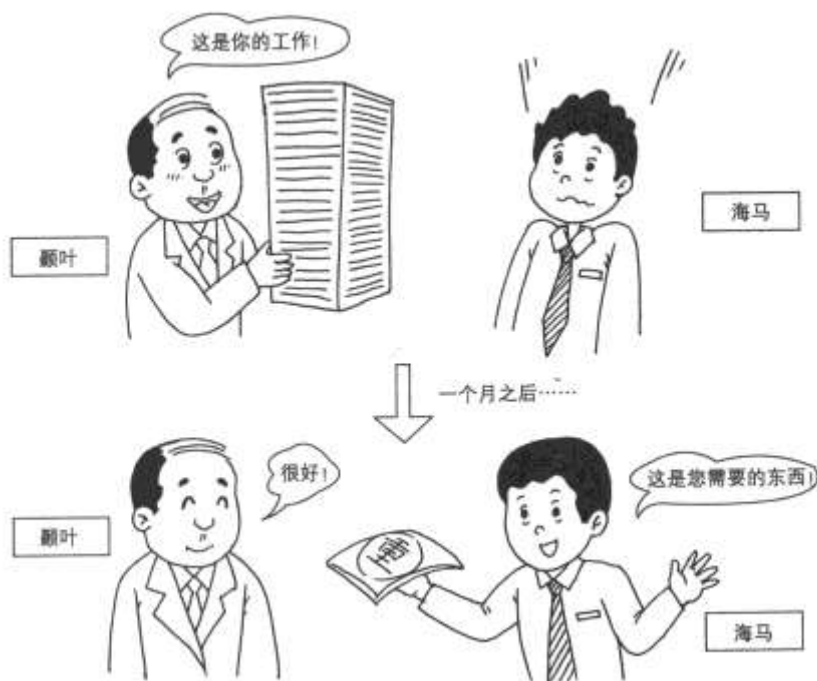
让我们再来看一下图 34(第 138 页)。艾宾浩斯又作了进一步的详细研究。让这些接受过记忆 20 组文字的实验对象，休息几天之后，再去记忆同样

的文字。实验结果表明，第二次记忆比第一次记忆更加牢固。到第三次记忆的时候，效果就更加明显了。这就意味着，第一次实验中那些记不起来的文字其实并没有忘记，而是下意识地储存在脑中。这种潜在的记忆对第二次的学习产生了影响，使成绩得以上升。这些文字并不是忘记了，只不过是想不起来了而已。反复进行这一实验，可以看到记忆力得到了增强。

从这一实验中，我们可以理解学习过程中复习的重要性。艾宾浩斯还作了进一步的调查研究——到底隔多长时间去复习效果更好呢？实验结果表明，实验者隔了一个月以上的时间复习，然后进行第二次实验，记忆力几乎不会增强。无意识的记忆的保存期限大概在一个月左右。

艾宾浩斯实验距离现在已有 100 多年了，现代脑科学对遗忘现象的原理进行了更为详细的研究，关键还是在于海马。大量的信息从大脑皮层的颞叶进入，海马对其进行取舍，只选取那些应该记忆的、

重要的东西，然后再将信息返回到颞叶中，海马的这种作用称做记忆筛选。



海马的工作是记忆筛选

换句话说，海马是暂时保管记忆的场所。在这个场所中，记忆会经过整理，海马会筛选哪些是必要的、哪些是不必要的，反复进行斟酌和分析。我们已经知道，海马保管记忆的期限最长不过一个月左右，也就是说，一个月是进行复习的最好时期。

如果超过这个期限再去复习的话，就不会有什么效果了。所谓高效的复习方法就是在以前的记忆仍保存在海马中的时候，将想要记忆的信息再次输送到海马。这样，海马就会判定这一信息为必要信息，并向颞叶发送指令——“记住这条信息”。这样，颞叶就会按照海马的指令将这一记忆保存下来。

正如图 26 所示，形成新的神经线路的方法除了突触可塑性之外，还有发芽的方法。发芽现象发生于颞叶等大脑皮层，仔细观察这一现象，可以发现发芽是一种缓慢而稳定地形成神经线路的方法。也就是说，发芽所形成的神经线路能够保持在一个比较长而且相对稳定的状态。简而言之，如果海马确切地向颞叶输送信息的话，这一记忆就能够长时间地储藏在脑中。充分利用这一点，经过不断复习，形成一生不忘的稳固记忆是很有可能的。

相反，有些人只在考试之前学习，根本不去复习，这些知识在脑中形成稳固记忆的可能就大大降低了。期中或期末考试等都是间隔一个月以上的时

间定期进行的，所以只在考试之前复习的人经常会哀叹“怎么也记不住”，这是情理之中的事情。

我们参考一下遗忘曲线，就可以制定出科学和高效的复习日程表。首先，一周之后进行第一次复习，两周之后进行第二次复习，再过一个月进行第三次复习。像这样学习一次、复习三次，逐渐扩大间隔，连续进行两个月的时间，海马就会判断该信息为必要的记忆了。

此外，很多人上了年纪之后，就会经常觉得自己记忆力很差，其中一个重要原因是他们缺乏年轻时候那种反复不断进行记忆的毅力。大概他们自己也没有意识到，学校的课程其实都安排了相应的复习。所以，出了学校以后，如果有人想学习一些东西的话，就需要养成反复学习的习惯。

8 能睡的孩子长得壮——奇妙的梦

我们在前面已经讲过，挑灯夜战的填鸭式学习

是一种效率很低的学习方法。但是，熬夜对记忆力不好还有其更深的原因，那就是梦。

在谈梦之前，我先简单解释一下睡眠问题。众所周知，睡眠是有规律性的。浅层睡眠和深层睡眠呈周期性交替状态(见图 35)。美国的心理学家阿兹林斯克曾经以自己的儿子为实验对象进行睡眠节奏的研究。他发现，深层睡眠和浅层睡眠大约每 90 分钟交替一次。他还将浅层睡眠命名为 REM 睡眠即快速动眼睡眠(Rapid Eye Movement Sleep)，将深层睡眠命名为非 REM 睡眠。一般来说，在睡眠期间，REM 睡眠和非 REM 睡眠的周期会相互交替 4~6 次。

人做梦的时候是处在 REM 睡眠期间的。在 REM 睡眠期间，人的眼球快速转动，脑波非常活跃，好像要从睡眠中苏醒一样。而在非 REM 睡眠的时候，脑波非常平和、安稳。此时，脑处在休息状态之中。观察处在非 REM 睡眠状态的人时，会发现他经常会活动身体；相反，处于 REM 睡眠状态的时候反而像死去般沉睡。这就表明，处在 REM 睡眠的时候，人的身体是休息的；处在非 REM 睡眠的时候，脑是休

息的——睡眠中的这两种状态是以一定周期相互交替的。

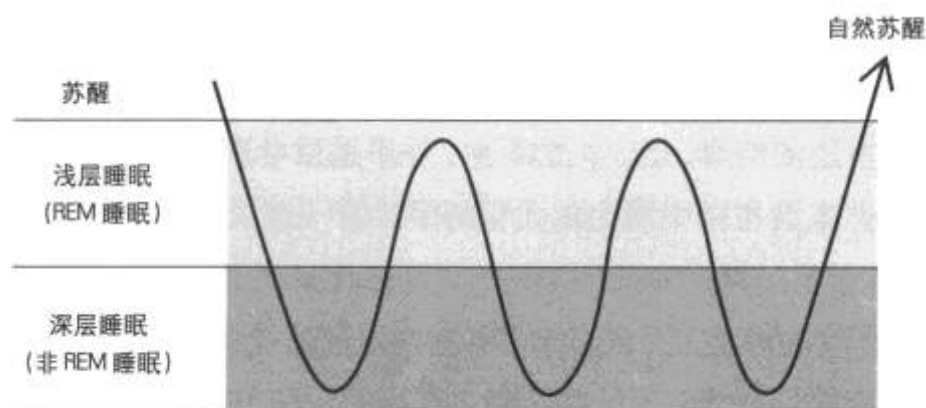


图 35 睡眠的节拍

这一周期不断反复，当睡眠时间充足，处于浅层睡眠的时候，人就会自然睁开眼睛了。快要睁眼的时候，人会伸伸胳膊、伸伸腿，这是让全身苏醒的动作，也就是所谓的伸懒腰。但是，如果是被闹钟等叫醒，不得不从非 REM 睡眠中醒来的话，在起床之前，由于脑尚处在睡眠状态，人会感到昏昏沉沉、不清醒，而且这种昏昏沉沉的状态会持续一整天，假如赶上考试的话就糟糕了。要想一整天都保

持清醒的头脑和舒畅的心情，就要尽可能地从 REM 睡眠中自然苏醒。睡眠周期因人而异，所以关键是要准确把握自身的睡眠规律。另外，还要顺便提一下束缚现象——有的时候，猛地醒来，却不知为什么身体不能动弹。这是由于脑还尚未从没有起床预定时间的 REM 睡眠中醒来的结果。因为身体还是处于睡眠状态的，尽管自己的意识是清醒的，却起不来，连手脚也无法动弹，这是一种睡眠障碍。

下面，我们还是回到有关梦的话题。梦是在人处于 REM 睡眠状态中发生的情形，是记忆的再生，并不是根本不存在的现象出现在脑中，人会在一个晚上做大量的梦。有一些人几乎没怎么做过梦，但这只不过是因他不像其他人那样在醒来之后还能记住所做的梦而已。实际上，人在起床之后所回想起的梦只是一小部分。一些科学家曾经推测人所记住的梦占整体的不到 1%。

当提到梦的时候，我想很多人都会抱有一种虚幻的感觉。事实并非如此。人经常会做一些印象深刻或荒诞奇怪的梦，但其实梦大多都是平时生活情

节的再生。只不过一般人们不会做比较普通的梦而已。反过来说，假如所做的梦都是日常生活中的事情的话，经常会有人醒来之后，无法判断这到底是梦境还是现实。总之，现代脑科学对弗洛伊德以及荣格的梦境分析还是持怀疑态度的。

1994 年，美国的心理学家玛可诺顿曾在《科学》杂志上发表了有关海马的处所神经细胞的研究报告。研究报告中有一些关于梦的有趣见解。我们在第二章中已经讲过，处所神经细胞是事物处在特定场所时才活动的海马神经细胞。反过来，这种神经细胞的活动也可以认识到自己当前所处的位置。

玛可诺顿通过记录老鼠的处所神经细胞，发现了一个非常有趣的事实——在清醒状态下活动的处所神经细胞，当其处于 REM 睡眠状态的时候，又会重新开始活动。也就是说，老鼠在 REM 睡眠状态下，会回想起刚才清醒时经过的场所，这就是梦。老鼠做梦本身就是一件奇怪的事情，但更加令人惊讶的是另一个事实——梦是一种回想白天情形的行为。

最近经历过的事情可以在梦中再现，还可以通过梦境来回味和整理过去的记忆。

现代脑科学认为，梦是整理大脑信息、强化记忆的必要过程。记忆可以通过梦境保存下来。换言之，睡眠是牢记事物的重要行为。美国的精神医学家斯蒂克·格鲁德曾在 2000 年的《认知神经科学》杂志上发表了自己的研究成果。他指出，要掌握某些新知识或新技能，需要在记忆当日保证 6 小时以上的睡眠。如果睡眠不足，强行塞入脑中的记忆也不会铭刻在颞叶，几天之后就自然消失。我想大家也一定有过这样的经历——考试前挑灯夜战学到的知识很快就会淡忘了。假如睡眠充分的话，记忆效果会非常好。

我想，现实生活中一定有一些人有过这样奇妙的体验——学过的知识如果经过一段时间再去复习的话，会提高一个层次。比方说，训练网球的时候，不管怎样练习都没能提高，精神也疲惫不堪，最后赌气而睡。但到了第二天，情况却出乎意料地变得

顺利。还有在学习的过程中，怎么都不明白的地方某一天突然恍然大悟，一下子就明白了。

这种现象被称做追忆。这是因为人处在睡眠状态的时候，记忆能够得到很好的整理，对日后的学习大有裨益。换句话说，就是记忆在梦境中培育。另外，就追忆现象来说，之前所学的东西需要一定的时间才能充分发挥效果。同临阵磨枪得来的知识相比，相隔数日的记忆反而能够得到充分的消化，最终形成脑容易利用的记忆。记忆就如同长期酿造的葡萄酒一样。

此外，追忆现象还让我们了解到了有关学习时间的重要规律。如果所学的知识大约要花费 6 个小时的话，那么可以划分成 3 天，一天学习 2 个小时。因为学习过程中，加入睡眠，我们就能够比较有效率地记忆知识了。也就是说，我们应该每天孜孜不倦地，一点一滴地学起。

9 按照一定的步骤记忆

下面，让我们一起从记忆生理学的角度来思考一下记忆力的问题吧。脑是在不断经历失败的同时储存记忆的。因此，记忆会随着反复的实践和不断的失败得以增强。从另一方面来讲，无论怎么努力，记忆中总是会有一些模糊的片段。所以，无论如何努力，都会遭受失败。当然，失败并不可耻，也没有必要去畏惧失败。重要的是，失败之后不要去一味懊悔，而应自我反省。脑的记忆虽然模糊，但它的可贵之处在于能够充分利用失败。

此外，脑还有一个重要的性质——如果严格遵循一定的步骤进行学习的话，就能够更快速地进行记忆。当对老鼠进行自发条件反射实验的时候，与其让它一下子将诱饵、拉杆和蜂鸣器 3 个因素全部记住，不如将三者分别进行记忆来得快。乍一看，似乎是在绕弯路，但是严格按照一定的步骤来学习的话，失败的次数就会大大减少。因此，掌握基础知识之后逐渐加大难度要比那种一口气吃成个胖子的方法效率更高。

学校的学习就是遵循着教科书，按照从基础到应用的不断提高的步骤来进行的，所以学生不用过分在意这种学习步骤。如果有人不想依赖学校课程而希望自学的话，就需要慎重考虑一下学习步骤的问题，这样才是明智的方法。一般来讲，在学习某种技能的时候，重要的是要先对整体布局有个大致了解。换言之，开始时不要过分拘泥于细微之处，先有个粗略的了解，以后再逐步记忆细微之处就可以了。

在自发条件反射的初级阶段，老鼠不能区分 do 音和 sol 音。记忆在初始阶段是比较粗率和模糊的，也不会去区分那些相似的事物。从这个意义上讲，学习的第一步就是要把握相似事物的范畴，其次才是细微的区别。只有区分了 do 和 sol，才有可能通过训练去区别 do 和升 do。如果一开始就去分辨 do 和升 do 的话，只能是徒劳无功。所以，我们在学习的时候一定要遵循先宏观、后微观的步骤。

比方说，对于那些对油画毫无兴趣的人们来说，任何一幅油画在他们的眼中都是相同的。但是，如

果稍带兴趣去观察的话，就能够大致区分出是文艺复兴时期的画还是印象派的画了。如果进一步学习的话，甚至还可以识别出达·芬奇、拉斐尔或者米开朗基罗的作品了。古典音乐也是如此。没有任何兴趣地听，会觉得那些曲子大同小异。但是，如果认真去听的话，大概可以区分出巴洛克风格的音乐或浪漫派音乐了。如果再进一步去用心欣赏的话，区分肖邦、舒曼或是李斯特的作品大概都不在话下了。总之，记忆的一个性质就是不去区分相似事物的细微之处，而是一概而论，所以刚开始的时候，不能很好地区分事物也是正常的。这也绝不是一件丢人的事情，即便不能很好地去把握，也无需气馁。只要按照适当的步骤去学习，无论是谁都能够逐渐理解其中的细微之处的。

此外，非常有趣的是，当可以区分 do 和升 do 的时候，识别 sol 和升 sol 也变得相对容易了。一旦进入到微观世界，也就能顺理成章地分辨细小的差别了。擅长棒球的人能够较快地掌握垒球的技巧，掌握英语的人在学习法语时就会轻车熟路。此外，

如果掌握了某一种数学解题方法，在解决相似题型的时候也可以运用自如。

从这些现象中，我们可以看到，脑在进行记忆的时候，不仅能够存储记忆的对象——事物，还能够同时记忆“理解事物的方法”。刚才我们已经讲了，把握规律，善于理解对记忆而言是一个非常重要的事情。记住了一种事物，就会自然而然地掌握发现其他事物及规律的能力。换言之，记忆具有相乘效应，脑记忆的信息越多，机能就越好。电脑则是越用故障越多。脑是一个奇妙的记忆装置，使用频率越高，性能越好。

说到学习，如果充分理解了某一学科的某一部分，理解其他部分也会变得相对容易，记忆也更为准确。此外，假如完全掌握了一门学科，也自然能够比较容易地掌握其他科目了。有些人不管哪门课都非常优秀，在那些一门课都没有学好的人看来，他们确实是一些具有过人智慧的天才。但这些人并非天生聪明，而是各种学科学习能力的相乘效果。反过来说，我们在掌握了一门课之后，如果能够克

服偏科的毛病，其他科目的成绩也会比较容易提高。从长远来看，与其每门课程都平均用力，分数平均，不如集中钻研某一学科效果更好。关键就在于要掌握一门比较擅长的科目，哪怕一门也好。

10 天才的秘密

让我们再深入思考一下有关“理解方法”的问题。这是一种有关方法的记忆，因而是程序性记忆。在记忆阶层中，我们知道位于最下层的是最原始的记忆，也就是最难遗忘的记忆。比方说，自行车的骑法或扑克牌游戏的规则等，即使很长时间没有用，必要的时候也能够自然而然地想起来。

反过来讲，由于程序性记忆非常牢固，如果我们在体育运动方面养成了错误的方式方法，之后即使想按照正确的方法去修正，也会很难改正。但是，如果能够很好地利用这种牢固的程序性记忆的话，它对我们也是大有裨益的。

由于程序性记忆是一种内隐记忆，所以无论是记忆还是回想都是无意识的。实际上，记忆事物是有意识进行的，而有关事物的理解方法却是无意识的。无论自身的意志如何，程序性记忆都是我行我素的。因此程序性记忆的作用是在当事人没有意识的情况下，不知不觉之间发挥其巨大威力的。

比方说，象棋或围棋的高手在比赛结束之后还能够完全再现对弈时的棋局。在我们这些外行人看来，他们是一些具有天才记忆力的人。的确，要想仅仅凭借程序性记忆——什么时候、如何移动哪个棋子——完全记住整个棋局的话，或许需要超人的记忆力。但是，棋手们除了运用程序性记忆，也同时操纵自身的程序性记忆去记忆棋局，即自己如何考虑、怎样下棋以及棋局中可能出现的状况等程序性记忆。换言之，这些大师在无意识之间，将棋谱类型化，牢牢掌握了其中的法则。

实际上，在对弈过程中，如果出现了意想不到的局面(比方说，外行人毫无规则地摆放棋子)的话，即使是这些名家大师也根本无法记忆。因为当时无

法用上一直以来经验中所积累的程序性记忆。在这种状况之下，这些大师过人的记忆也降到了和外行人相同的水平上。一般来说，那些“天才”的能力也是以潜在的程序性记忆为基础的，是程序性记忆创造了天才。

现在，假定诸位记住了 A 事物。与此同时，还不知不觉地凭借程序性记忆，将 A 事物的理解方法储存在头脑之中了。这样，接下来如果要记忆 B 事物的时候，A 的程序性记忆就会无意识地帮助 B 的理解，最终也能够比较容易地记住 B。当然，这个时候 B 的程序性记忆也自动存入记忆之中。但是，此时脑中产生的现象并不仅仅如此。新记下的 B 的程序性记忆进一步加深了对已经记下的 A 的理解。

换言之，当记忆 A 和 B 两个事物的时候，就会产生事物与事物的联合——A、B、从 A 所见到的 B、从 B 所见到的 A，记忆的内容会产生 4 倍效果（2 的平方）。就这样，记忆力的相乘作用一般会产生累计效果。所以，学习的效果是一个呈上升趋势的、几何级数的曲线。

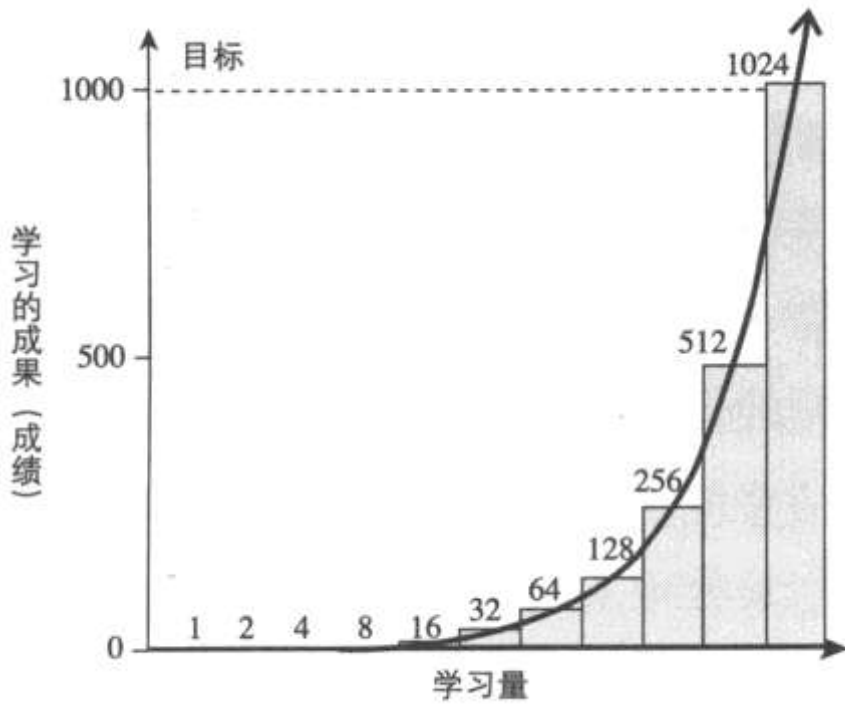


图 36 学习和成绩的关系

如图 36 所示，比方说，假定现在大家的学>-3 成绩位于 1 的位置上，将学习的目标成绩定为 1000。通过学习，成绩提高可变为 2，再努力一些，还可以提高一个档次，成绩变为 4。这样不断努力学习，成绩就会按照 8、16、32、64 这样的顺序逐渐显示出累积效果。

但是，如果不论如何努力，成绩还是停留在 64，和目标成绩 1000 相比，似乎没有比起始成绩提高多少。这个时候，很多人都会非常苦恼：“为什么我都这么努力了，成绩还是没有提高”，“或许我的能力真的不行”。当看到达到 1000 目标成绩的人时，又会感慨“真是高不可攀啊”、“那样的人真是天才”、“真不是一般人”，等等。大多数人在这个时候多会为自己的无能而垂头丧气，最终放弃了学习。于是，随随便便就把那些超过 1000 目标成绩的人誉为天才。

而那些持之以恒、坚持不懈的人到了后来，学习成绩不断上升，由 128 到 256，又到了 512。实际上，努力到这个阶段，才会逐渐看出学习的效果，才能够作出最后的断言。这就是学习和成绩关系的本质。如果再努把力的话，成绩就会达到 1024，最终达成了目标。如果坚持不懈地学习下去，眼前就会海阔天空、豁然开朗，这一瞬间就会有一种洞察万物的感觉。从某种意义上讲，这是一种近似于大彻大悟的体验。这种现象就源自于学习的积累效果。

如果到了这个境界，只需要稍稍努力，成绩就会提升到 2048。这就是学习的相乘效果。这些成绩达到 2048 的人们在那些拼命努力才达到 64 的人看来，确实是一些非凡之人。

关于学习的效果问题，这里还需要说明一点。天才和普通人的能力差距的确比较大，但天才与天才之间的能力差距更大。成绩 1024 的人和 2048 的人都可以称得上是天才，但二者之间相差 1024，从数值来看，这是一个惊人的差距。当然，这么大的差距对于成绩 64 的普通人而言，大概就是一个无法估量的差距了。

比方说，业余棒球队中混入了几个专业棒球选手，这些专业选手无论是哪一位都会被看做是天才选手。但是，专业棒球员也并非清一色的“天才”，他们的水平也是良莠不齐的。在外行人看来，那些普通的专业棒球选手和王贞治、长岛茂雄等有名的棒球手是不可同日而语的。但是，这种能力的差距是那些业余棒球手所无法想象的。水平越高，每个

人能力的差别就越大。这并不仅仅限于棒球，网球、象棋、钢琴，乃至学习，都是相同的道理。

这样来看，在学习某项技能的时候，最重要的一点就是持之以恒，只有不断努力才会有所回报。所以，就算暂时没有出现任何结果，也不要轻易放弃。当然，看到周围的天才的时候更不能踌躇不前，将自己和他们进行简单的比较是毫无意义的。这是因为努力与成果不是正比关系，而是一种平方的关系。自己就是自己，现在虽 152 然和那些天才存在差距，但如果继续努力的话，总有一天会赶上他们，最终在很短的距离内超过他们。显示这种成长模式的就是脑的性质。即便现在还没有效果，在不断努力的过程中，能力的基础就会不断坚实起来。在感觉求学之艰辛的时候回想一下这个事实，勉励一下自己吧！出头之日终会到来，大家努力加油吧！

“天才”只不过是那些不够努力的普通人凭空捏造的词语。千万不要被这样的词语所蒙蔽了。

“天才要靠 99% 的努力和 1% 的智慧”——正如天

才爱迪生所说的那样，所谓天才并非具有神灵赐予的、与生俱来的才能，而是辛勤努力的回报。

11 记忆就是人的命运

本章讲述了各种各样增强记忆力的方法。我们可以知道，对记忆而言，好奇心、努力、忍耐力以及一些技巧都是非常重要的。当然，为了避免脆弱的神经细胞受到不必要的伤害，我们还要注意不要让脑部受到撞击，不要过度饮酒等，这些也同样重要。在此基础上，个人的态度以及情绪状况也是一个很大的要素。一个人如果没有十足的干劲，他的记忆力是无法得到增强的。

假如非要让那些颓废消沉的人去记忆某些东西，我想除了诱惑或惩罚之外就别无他法了。但是，如果只有使用糖果或皮鞭才能调动人的积极性的话，那就和自发条件反射实验中的老鼠没什么区别了。既然人类拥有高度发达的脑，如果不充分利用这一

能力的话，那真的可以称得上是暴殄天物了。在这个世界上，充满了许多魅力无穷的事物——有趣的、令人兴奋的、不可思议的……所有这些都值得我们人类去不断探求，打开通往那里的门，将心灵的触角伸向整个世界，充分享受人生——我想这才应该是人类的生活方式，这也是人类的权利。萨特在《存在和虚无》中曾说：“人类是一种无益的磨难。”这本书极力主张“人类没有选择不自由的自由”。我想，正如这位哲学家所言，充分享受人生应该是人类与生俱来的命运吧。

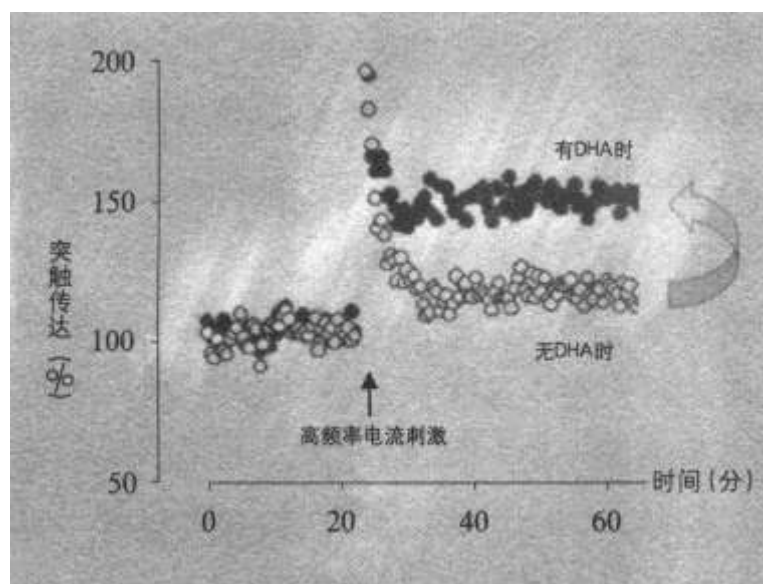
我们从方方面面去思考增强记忆力的方法，最终得到了一个结论——“个人的意志是非常重要的”。但是，这样的结论未免太过于老套了。在这里别出心裁地去强调理所当然的事情，就好比父母教育孩子“你只要努力就能行”一样。这种话就算不说，大家也可以理解。可是，或许有人在点头同意时也希望能够从中充分享受到人生的乐趣。一定也有人会在自我修炼的过程中，不去高呼奋斗和耐性等具有强烈的时代色彩的体育精神，而是希望快乐地探

究人生道路。比方说，如果研制出可以轻轻松松地增强记忆力的魔法之药，大概每个人都无法抗拒它的魅力吧。在接下来的第七章中，我将介绍一下具有这种颇具魅力的药物。

第七章 增加记忆力的灵丹妙药

人的记忆力是有限的，自古以来，人类就幻想拥有一种能让大脑变聪明的灵丹妙药。

现代的脑科学研究致力于这种幻想变为现实。在脑科学的研究的前沿阵地，科学家们已经发现了可以提高记忆力的物质，并正努力研究使其成为一种安全有效的药物。



Docosa-Hexaenoic Acid(DHA)环境下，LTP 会增强

1 记忆力的兴奋剂

或许是因为我在药学部从事记忆研究的缘故吧，经常会有人问我：“有没有让头脑变聪明的药呢？”虽然带有开玩笑的成分，但我想或多或少也包含了这个人的真实想法，特别是许多考生和他们的父母都抱有这种寻找救命稻草的希望吧。如果稍早时候被问到这个问题的话，我肯定会笑着敷衍道“假如有这种灵丹妙药的话，我早就第一个吃了。”

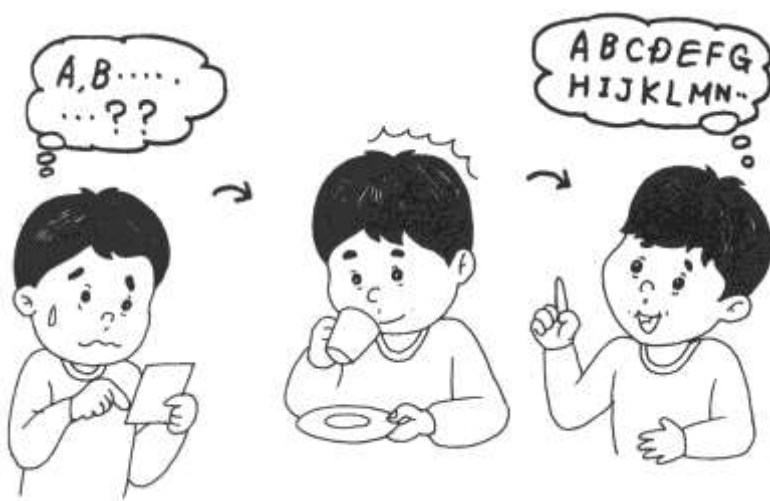
但在现代的脑科学中，让头脑变聪明的灵丹妙药似乎已经不再是一个幻想。下面，我想谈一下有关药和记忆力的话题。但是，为了避免引起误会，我先声明一下，那就是这里所论及的药只限定在直接作用于记忆这个方面。像烟草或某些香草等药物虽然可以使头脑清醒，但都是通过一种间接作用来增强记忆力的，这在古代的传统医药书籍里面都有大量的记载，其中也包括一些疗效缺乏依据的药物。

而我在本书中所要提及的不是这类药物，而是那些能用科学方法加以验证的药物。

最贴近我们身边的“记忆力增强药”大概就是咖啡的成分——咖啡因。咖啡的历史可以追溯到公元 10 世纪，不夸张地说，咖啡是和人类关系最为密切的一种嗜好品。另外，由于咖啡因具有提神功效，所以人们不仅仅把咖啡当做一种饮品来饮用，有时在工作或者驾车的过程中，为了防止困倦也会服用它。脑科学家们很早以前就已经发现咖啡因具有增进记忆力的作用。近年来，科学家们对许多志愿者进行了大规模的研究，研究发现，服用咖啡因后虽然对提高记忆力来说效果甚微，但考试成绩却有所上升。

但是，咖啡因的作用并不是只有好的一面，其增强记忆力的效果一般，而且人对它有依赖性，如果饮用咖啡过多，会给身体带来负面影响。并且咖啡比较容易让人产生耐受性，持续饮用就会失去效用。因此，我只有在需要“加油干”的时候，才会借助咖啡因的功用。但反过来，我还听到过一些事

例，平时没有喝咖啡习惯的考生在考试的关键时刻饮用了咖啡，反而造成了考试失败。本来很紧张，服用咖啡因后，大脑就会产生一些不必要的兴奋。此外，咖啡因还有加速心脏跳动的作用，所以心率也会大大加强。虽然在我们的日常生活中，咖啡已经成为一种唾手可得的记忆力兴奋剂，但是我们在咖啡因的使用上还是要予以足够的注意。



神奇的饮品——咖啡

2 智慧老鼠的诞生

就在最近一段时间，一种增强记忆力的药物被发现，并从更加科学的角度得到了验证。这种药物是在我的研究室里发现的。在开始这个话题之前，我想有必要简单说明一下研究的背景。那还要回到美国的分子生物学家简在 1999 年的《自然》杂志中发表的“天才老鼠”的事情上去。

这只老鼠刚被报道，就成为了整个世界的话题。简利用遗传基因，培育出了一只记忆力得到增强的智慧老鼠。其理论非常简单、明晰。简考虑到如果 LTP: t 曾强的话，记忆力就会得到增强。LTP 产生、NMDA 受体呈打开状态，这时钙离子就会进入。这样，拥有大量 NMDA 受体的老鼠，由于流入了更多的钙离子，就一定会比较聪明。于是，简将 NMDA 受体移入了老鼠的遗传基因上。也就是说，普通老鼠原来只有一组 NMDA 受体的遗传基因，而简研制的老鼠有两

组这样的遗传基因。实际上，这只老鼠的 NMDA 受体更容易打开，约有两倍的钙离子流入。正如所预期的那样，老鼠脑中随之产生了较高级别的 LTP。

简利用这只具有较高级别的 LTP 的老鼠进行水迷宫实验。实验的结果非常好。这只老鼠只用了普通老鼠一半的时间就在水池中寻找到了设定的避难场所，而且还将这个发现的场所牢牢地记住了。

这就是利用遗传基因所孕育出的记忆力增强的老鼠。不用说，这项具有划时代意义的研究引起了全世界的瞩目。但是，这项研究还有一个最大的难点，那就是遗传基因导入的方法还不能应用于人类。的确，遗传基因在对付癌症等疑难病症的疗效方面经常会被媒体作为一个充满希望和光明的话题来报道。但在 NMDA 受体方面，情况却有所不同。将此遗传基因移植到人体上从技术方面来讲是可能的，但在伦理上是行不通的。

这是因为遗传基因治疗的目的最终还是治疗，就是用遗传基因来弥补患者所欠缺的能力。但是，将 NMDA 受体移入人体是对人类正常状态的再补充，

也就是人体改造，这无疑是一个影响到我们子孙后代的重大问题。人类的尊严、生命的圣地、自然的规律——这是科学也不可逾越的神圣底线。所以，我们必须用其他方式来增强记忆力，这个方法就在我的研究室中研制成功了。

3 肝脏和记忆的奇妙关系

我的研究方法和简一样，也将注意力集中在 NMDA 受体上。这也是基于相同的思考方式——如果钙离子在 NMDA 受体中的流动更为顺畅的话，记忆力就会相应增强。我们充分利用了药学的有利条件，探索增强 NMDA 受体活动的药物。探求具有新型作用的药物在药学界被称做探索。探索是药物研发的第一步，也是最重要的一步。

我的研究室在进行这次探索的时候，先对药物作了一个预先设想，将人体内原本含有的几种物质作为候补对象来研究。因为我们考虑到人体内本身

存在的物质可以成为一种副作用小的药物。然后，我们对这些候补物质进行鉴定和筛选，最后终于发现了具有强力效果的物质——K90。

实际上，K90 是一种肝脏中大量存在的物质。肝脏即使在手术中被切除了 90%，其余的肝脏细胞也会不断增殖，最终还原为和原来一样的功能完好的脏器。事实上，肝脏被切除之后，K90 会大量分泌，从而刺激剩余的肝脏细胞不断增殖，使得肝脏恢复到原来的大小。在后来的研究中我们发现，K90 不仅存在于肝脏之中，也同样存在于脑中，特别是在海马中含有大量的 K90。但是，海马中 K90 的作用尚未探明。为什么肝脏的物质会存在于海马之中呢？K90 在海马中起一种什么样的作用呢？

我的研究室在研究提高 NMDA 受体的钙离子流量的药物的过程中，发现 K90 具有非常强的作用。K90 可以将 NMDA 受体中的钙离子流量提高到 3 倍以上。这是一种惊人的作用。迄今为止，我们还没有遇到过作用如此强的药物，于是我们对 K90 所隐含的可能性产生了一种难以抑制的兴奋。坐立不安的

我们决定立刻研究 K90 对 LTP 的作用。研究结果表明，如我们所预期的那样，K90 确实可以对 LTP 产生一种戏剧性的增强作用。此时此刻，我们已确信了这一点。但在进行下一步之前，还有一个必须解决的问题，那就是 LTD 的问题。

K90 虽然能够有效地促进 LTP，但对 LTD 却没有什么影响。至今，我们对海马中 LTD 的作用还不是非常明确。以前的研究者认为 LTP 是记忆，那么它的相反现象 LTD 就是遗忘。于是，他们期待着在促进 LTP 的同时，去抑制 LTD，这样记忆力就会增强了。我们现在知道这种判断过于简单和武断。刊载于 1998 年《自然》杂志上的英国神经学家格兰特等人的研究报告就证实了这一点。

格兰特利用老鼠的遗传基因，成功地研制出了 LTP 得到增强而未生成 LTD 的老鼠。按照以前的思考方法，可以推测出这只老鼠的记忆力增强了。但是，结果却恰恰相反，这只老鼠的记忆力反而更差了。因为没有 LTD，记忆也就不能很好地发挥作用。换言之，LTD 的作用并不是消除记忆，而是对记忆

有一种补充和帮助的作用。大概 LTP 和 LTD 之间微妙的均衡对记忆的生成是非常必要的吧。

所以，用药物来抑制 LTD 对记忆有害无益。让 LTD 保持原状，只促进 LTP，这或许是一种增强记忆力的好方法。从这个意义上讲，只对 LTP 产生神奇的增强作用的 K90 是一种理想的药物。

于是，K90 通过了所有的考察。但此时此刻，这种物质仅仅是增强记忆力的候补药物而已。从突触可塑性的观点来看，增强记忆力的可能性只限于理论方面。于是，我们为了用事实来证明这一理论，进行了水迷宫实验。在实验开始前 30 分钟，将 K90 注入老鼠体内。被注入 K90 的老鼠同普通老鼠相比，实验的成绩果然出类拔萃。并且注入的 K90 越多，成绩就越好，这只老鼠仅用了普通老鼠 $1/3$ 的时间就完成了实验，老鼠的学习时间缩短了 $2/3$ 。

然后，我们又进行了一项更为复杂的记忆实验——将诱饵隐藏在复杂的立体迷宫之中，让老鼠去发现诱饵的位置。被注入 K90 的老鼠在这个迷宫实验中成绩得到了提高。此外，更令人惊讶的是，老鼠

不仅仅记忆诱饵位置的能力得到了增强，寻找诱饵的方法也更加有效。也就是说，一般的老鼠都是在同一地点反复寻找诱饵，而被注入 K90 的老鼠却能够很好地记忆曾经到过的地点，因而大大提高了搜寻整个迷宫的效率。总之，K90 不但可以提高记忆力，还可以提高记忆的工作效率。

这一实验证明 K90 能够增加 NMDA 受体中钙离子的流量，它是一种提高“智能”的药物。

4 记忆力到底是什么

然而，我们并不满足于 K90 能够增强记忆力这一发现。接下来，我们将注意力转向了更微观的方面。K90 是如何增加 NMDA 受体的钙离子流量的呢？我们希望了解这一作用的机制。我们花了很多的时间，经历了大量的失败，最终阐明了这一组织结构。

图 17 为乙酰胆碱受体的示意图。如图所示，NMDA 受体是由 5 个基本亚单元构成的，这种亚单元

实质是一种蛋白质。众所周知，蛋白质是由呈细长绳状的氨基酸连接而成的物质。一个亚单元是由 1000 个左右氨基酸结合而成的。所以，从整体来看，一个亚单元的点分子量就超过了 10 万。5 个这样的亚单元组合起来，就形成了一个 NMDA 受体了。

蛋白质中共有约 20 种氨基酸，其中有一种被称做丝氨酸。丝氨酸是 K90 发挥作用的关键。

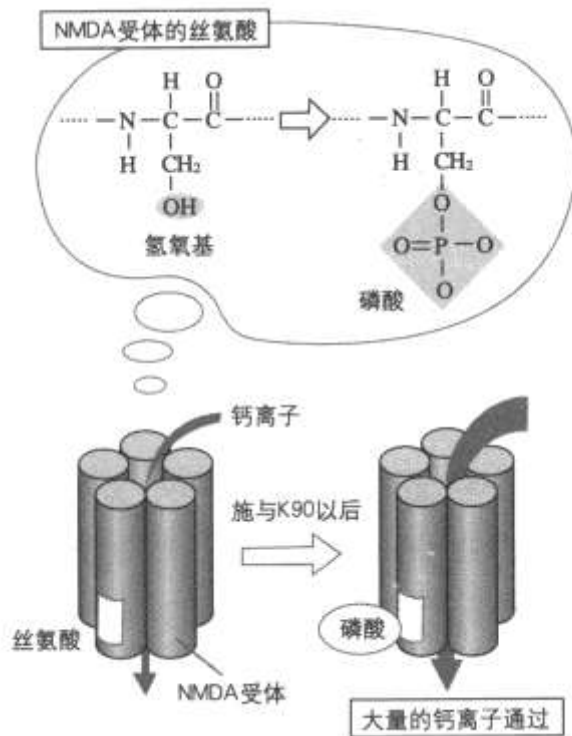


图 37 K90 将 NMDA 受体磷酸化

在丝氨酸中，有一个部分叫做羟基，是由氧原子和氢原子构成的，学习过化学的人一定了解这一点。如图 37 所示，K90 能够将 NMDA 受体中的丝氨酸的羟基同磷酸结合在一起。当被注入了 K90 之后，被称做 NR1 的特定亚单元就被磷酸化了。磷酸带有负电荷，它们结合在一起后，亚单元就会因电流的排斥作用而变形。结果，NMDA 受体的钙离子流量就会大大地增大。这就是 K90 神奇效力的秘密。这样，K90 促进记忆力的机制从分子层面得到了说明。

话题一转入微观领域，视角就发生了转变。至此，在本书中，我和大家一同思考了记忆这个问题。现在回过头来，重新问大家一个问题：“记忆到底是什么呢？”这个问题是本书的主题。我想，大家在读这本书之前，对记忆力的印象是比较模糊的，记忆对于大家来说是一个难以把握的抽象概念。但是现在我们所做的研究是不是多多少少减少了这种模糊感觉呢？记忆力同 NMDA 受体的活动之间有着密切的联系，当 NMDA 受体和磷酸结合以后，记忆力就会有

所提高。脑科学所阐明的记忆力的本质其实是一种令人吃惊的、单纯的分子运动。

于是，K90 就成了一种具有魔力的药物了。我们的研究表明，100 毫微克、也就是 10—s 克这样极其微量的 K90 就可以提高记忆力，作用非常显著。

但在我的研究室里，只将 K90 试用于老鼠的身上。因此，至今还无法断定这种物质是否能够对人类发挥功效。但是，人脑和鼠脑一样，NMDA 受体和 LTP 掌管记忆这一功能，所以或许 K90 也会成为一种对人类同样有效的良药。但是，即便 K90 能够提高人的记忆力，这种物质还存在着一个安全性的问题。当然，现在还没有发现 K90 具有明显的副作用，所以我们深切地期待着它能够成为一种提高记忆力的特效药。关于安全性，还有一个视角完全不同的问题。

我们虽然就 K90 效果的问题进行了多次的实验，但只是检查了动物智能的一部分。毋庸置疑，所谓“智能”是指诸多不同的能力保持良好均衡状态。在我们研究的范围内，K90 的确使智能有所提高。

但是,动物的全部智能又受到了什么影响呢?关于这一点,我们还不清楚。我们可以预想一下,同老鼠相比,人的智能结构更为复杂和精巧。所以,要确保更高的安全性,就需要进一步确认 K90 对智能的影响。

K90 还存在一个更重要的难点,那就是如果不直接将 K90 注入脑中,效果就无法显现出来。方法就是在头盖骨上打孔,将 K90 注入脑中。因为这种方法并不实际,所以今后的课题就是将 K90]J1 以改良,通过服用或注射等方法来实现其疗效。所以,非常遗憾的是,现在 K90 还不能称做为药,只能说是一种实验药品。

但是,我们为了实现这个梦幻之药,夜以继日地不断努力着。所以希望大家能真诚而耐心地期待着我们的研究。如果哪位读者对脑科学具有浓厚的兴趣,能够对我们的研究予以支持和帮助,我们一定会欣喜不已。我也希望和一些有志之士一同探索神秘的脑世界,共同探明记忆的本质。

5 丧失记忆力的可怕病症

我想大家一定听说过阿尔兹海默氏症。这是大约 100 年前在德国发现的疾病，最近，媒体还报道了美国前总统里根患上该病的新闻，于是社会上对这种病症也有了一定的认识。实际上，阿尔兹海默氏症的患者非常多，据说整个日本已达 100 万人以上，占日本总人口的近 1%。在痴呆症患者之中，有一半是阿尔兹海默氏症。日本的临床数据表明，75 岁以上的人群中 5 人里就有 1 人患有阿尔兹海默氏症。这样来看，我们不难发现，阿尔兹海默氏症已经成为我们身边常见的一种病症了。

阿尔兹海默氏症的最大特征就是病症会随着年龄的增加不断发展。我用第二章的图 8(第 43 页)来说明一下。阿尔兹海默氏症最初是从健忘这种日常病症开始的，先是记不住人或事物的名字，然后是语言文字的丢失，后来甚至发展到无法识别事物的程度。随着病情的发展，手脚等部位开始迟钝，

身体也无法自由活动，直至最后死亡，这是一种非常可怕的病症。

阿尔兹海默氏症是如何产生的呢？市面上有各种各样关于这个问题的书籍，所以本书就不赘述了。在这里，我们还是将着眼点放在记忆上面吧。阿尔兹海默氏症的初期症状是记忆力低下，这个时候，脑中发生了什么状况呢？

阿尔兹海默氏症患者的脑中所出现的最明显症状就是萎缩，神经细胞不断死亡，脑不断缩小。随着病症的发展，整个脑就会越来越小。在阿尔兹海默氏症的初期，萎缩症状只会出现于脑的特定部位——海马和颞叶。不用说，这些都是同记忆关系密切的大脑部位。大概就是由于这些脑部位的神经细胞的死亡而导致了痴呆症状的出现吧。

之后，当我们对脑进行更仔细的观察时，又发现一个更加引人注目的事实。在阿尔兹海默氏症中，较容易死亡的神经细胞是包含乙酰胆碱的神经细胞。换言之，阿尔兹海默氏症患者的大脑中，乙酰胆碱的含量要比正常值少得多。乙酰胆碱在大脑中具有

非常重要的作用。在动物实验中，如果阻碍了乙酰胆碱发挥作用，动物就会变成痴呆状态了。我的研究室还进一步确认了这一事实——乙酰胆碱活动低下，LTP 就会变弱。

换言之，阿尔兹海默氏症是由于脑内乙酰胆碱的含量减少而导致的痴呆病症。1997 年，日本制药公司首先在世界上发售了治疗阿尔兹海默氏症、具有划时代意义的药，这种药具有增强乙酰胆碱功能的疗效。

如果这种药物也能增进乙酰胆碱在健康人脑中的活动的话，我们期待着它能够产生增强记忆力的功效。但是，这种观点似乎并不正确。在提高乙酰胆碱功能的药物里面，最有名的当属沙林了。由于沙林的毒性过于强烈，与其说是一种药物，还不如说是一种毒物。1995 年 3 月 20 日，在日本造成 5500 多人中毒的地铁沙林事件让社会上的一般民众了解到了沙林的强大毒性。在事件中，一些人幸免遇难，但颇具讽刺意味的是，乙酰胆碱和记忆之间的关联在这些患者的病症中显现出来了。

在沙林事件中受到伤害的患者里，有不少人都清楚地回想起了过去早该遗忘的遥远的记忆。这些患者并不是有意去回想，但不知为什么，过去的事情如走马灯一样接二连三地出现在大脑中。这种现象和有名的潘菲尔德研究——通过电流刺激颞叶从而能够回想起过去的记忆——有相通之处。但是，沙林毒素的效果令人十分悲哀——即使患者不愿去回想，但事与愿违，记忆还是不断涌现出来。这种状态夜以继日地持续着，患者难以安眠。负责看护的护士们每天要尽最大努力去安抚这些被过去记忆折磨的患者。

从这个事例中我们可以了解到，增强健康人的乙酰胆碱的活动并不一定是一种有效的提高记忆力的方法。但另一方面，如果将阿尔兹海默氏症的痴呆症状以及 LTP 的实验事例综合起来考虑的话，减少乙酰胆碱对记忆是绝无好处的，这一点是无可非议的。所以，我们一定要重视这个问题。

事实上，抑制乙酰胆碱的物质充斥在我们的日常生活中。比方说，大家都服用过的感冒药、止泻

药以及晕车药，等等。这些药物里面都含有抑制乙酰胆碱的成分。我们在服用感冒药之后，头脑会变得昏昏沉沉，时常会产生一种困倦感，这是由于脑中的乙酰胆碱受到抑制的缘故。当然，记忆力也会有所下降。所以，考试前夕，虽然没有感冒，但为了以防万一服用了感冒药的话，就会导致在考试中无法回想起重要知识的后果。所以，不要毫无意义地服用此类药物。

当然，假如有人过分在意这种副作用，原本应该服用的药物也不服用的话，只能导致病情恶化，这样就是本末倒置了。任何一种药物都有副作用，关键在于要对这种副作用有正确的认识，正确地服用药物，而不要对副作用过分恐慌。此外，如果无论如何都要在考试前服用感冒药或止泻药的话，可以选择一些不含乙酰胆碱抑制成分的药物，安心度过考试。你可以向药店的药剂师询问“这种药含不含抑制大脑的乙酰胆碱的成分”，药剂师一定会耐心细致地告诉你的。

乙酰胆碱和 LTP 都和记忆有很深的联系，但是联系方式是截然不同的。乙酰胆碱无论对记忆还是对回忆都非常重要，所以，当乙酰胆碱受到妨碍的时候，就无法进行记忆和回想了。而 LTP 只和记忆相关，这与海马对记忆非常重要，对回忆却并不是那么必要是一致的。所以，即使 LTP 受到阻碍，脑也能够正常回忆，这可以说是记忆非常有趣的一个方面。

此外，还有一个有趣的事实就是，梦也是乙酰胆碱的产物。第六章中我们已经讲到过梦是一种回想和整理过去记忆的现象。这样来想的话，乙酰胆碱和梦的联系就是一件合理的事情了。实际上，当人处于 REM 睡眠状态的时候，脑内的乙酰胆碱的机能比较活跃。相反，如果服用了具有阻碍乙酰胆碱的药物，就会对梦产生抑制的作用。由于 REM 睡眠和记忆力之间具有密切的关系，所以从梦的角度来看，具有抑制乙酰胆碱效用的药物并不会对记忆产生积极的影响。

最后我要指出的是，还有其他一些同乙酰胆碱没有关系，但具有抑制 REM 睡眠的药物，这就是安眠药，但并不是指所有的安眠药。其中，特别是巴比妥类的安眠药具有很强的妨碍 REM 睡眠的作用。考试前夕，由于精神压力很大，无法入睡，一定要服用安眠药的话，为了避免宝贵的记忆力受到影响，最好还是向医生好好咨询一下。

6 开怀畅饮吧

最后，我再把我的研究室的一个非常有趣的实验结果介绍给大家，那就是有关酒的话题。饮酒是人生的一大乐事，据说酒的历史比咖啡更为久远，可以一直追溯到古文明时期。关于酒有一句俗语，叫做“百药之长”，但并不是说饮酒有百益而无一害。我可以举出酒精性健忘症的例子。有的人一喝酒就会忘事，这就是酒精性健忘症的表现。我的研究室已经确认了这样一个现象——当给动物服用酒精的

时候，会对 LTP 产生一种抑制作用。为什么会这样呢？在这里我们不用考虑这个问题。但是，我也一直期待着能有一种药物可以缓解酒精对 LTP 的抑制作用，从而可以让人们放心畅饮。于是，我们开始了药物探索，终于发现了一剂良药。



开怀畅饮吧

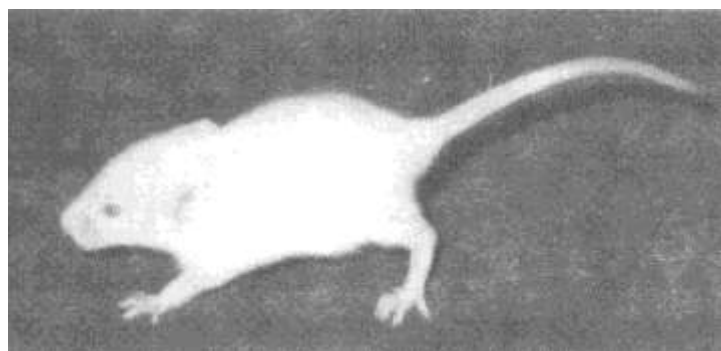
大家一定知道一种名叫帕耶拉的西班牙海鲜饭吧，这是一种像杂烩饭一样的菜肴，米饭的黄色是从一种叫做藏红花的植物雌蕊中提取出来的。藏

红花是番红花属植物的一种，日本的大分县是这种植物的主要产地。而藏红花的雌蕊中所含的成分——藏红花素，也叫番红花素，就是我现在要在这里介绍的药物。给正常的动物注入藏红花素的话，不会对 LTP 产生任何的影响，但是事先服用了藏红花素的动物即使饮酒，它的 LTP 也不会受到抑制。这样看来，只有在 LTP 出现异常的情况下，藏红花素才会作为一种药剂发挥其正常化作用的效果。

进一步来讲，藏红花素在学习考试中也能发挥同样的功效。藏红花素对动物正常的记忆力不会产生影响。事先服用藏花素之后，再去饮酒不会降低记忆力。藏红花素的这种效果目前还只是在动物实验中得到了确认，如果这种药物对人类同样奏效的话，人们在饮酒之前先服用一些藏红花素，或许就能够防止酒桌上的失态了。即便喝了很多的酒，大概也不会忘记末班车的时间了。最近，藏红花素成了众人谈论的话题，从开怀畅饮的角度上讲，人们对这种“改善生活的良药”寄予了很大的期待。

第八章 脑科学的未来

未来的脑科学研究将致力于开发增强记忆力、治疗痴呆症的药物，研究移植神经细胞的技术。此外，关于记忆的再生问题，比如为什么我们会下意识地哼起自己喜欢的歌曲？为什么会习惯性地常在常经过的路口转弯等，也是脑学科关注的问题。如果这些课题得到解决，我伞兵生活质量将会得到大大的提高，未来的生活也将更加丰富多彩。



因海马异常而导致癫痫的小老鼠

1 丰富多彩的未来

和大家一同进行的脑科学之旅已经接近尾声。在最后一章里，让我们通过脑的机能之一——也就是本书的主题记忆来展望一下脑科学的未来。

首先，如果梦想的增强记忆力的良药被研发出来的话，我们的世界将会发生怎样的变化呢？为了治疗和预防痴呆症以及健忘症，我们脑科学家正在开发一种增强记忆力的特效药。我们一直在想，如果这种药真的能够对患者本人以及周围那些苦恼的人们有一些帮助的话，那就真的太幸运了。而这种药如果真的研制出来的话，我想就连健康的人也不能抵挡它的魅力，这是一剂能够增强记忆力的神奇之药。只要拥有了这一灵丹妙药，就能够轻松获得比他人更优秀的头脑。这样一来，不仅突破入学考试难关不再是一个梦想，或许也能够早些在社会上出人头地吧。

但因为这种药是一种智能兴奋剂，所以一定会有人建议，正常人在使用该药剂的时候应采取一种慎重的态度。此外，从伦理上来看，或许服用该药的人本身也会有一种罪恶感。但在这里我想陈述一下我个人的看法，或许这是一种带有挑衅性意见，我认为服用增强记忆力的药物并不是多么重要的问题。为什么这么说呢？因为服用这类药剂其实同服用维生素或其他营养药并没有太大的区别。

运动员服用兴奋剂之所以成为一个有争议的问题，是因为它确实存在违背体育精神的一面，更重要的是兴奋剂具有强烈的毒性。现在，肌肉增强剂或兴奋剂等侵害运动员身体健康以及生命安全的事情时有发生。

所以，我认为只要智能兴奋剂的安全性能得到足够保证，这种药物还是能够得到社会的认同。同时，我也深信，总有一天，不论男女老少，不管谁服用了这种药物都能够使记忆力有所增强。或许，今后也许会像预防流感打疫苗一样，每个人都能够享受到平等的机会。

但是，或许会有人产生这样的担心，假如每个人都能够平等地利用这一良药的话，人与人之间就不会有什么差别了，所以最终还是没有太大意义的。假如真的有人这么想的话，我想这只不过是一种狭隘而主观的想法。人类期待增强智力并不仅仅在于提高考试成绩或在社会上拥有一席之地。如果记忆力增强的话，人们在学习或工作方面所消耗的时间就会大大缩短。这样，人们就能够利用业余时间和朋友一同游玩，专注于自己的兴趣爱好，将时间放在家庭生活中等，人们将会拥有更多的闲暇空间。换言之，记忆力增强药是赠送给人类多彩生活以及丰富人生的“梦幻之药”。从这样的视角来看待智能兴奋剂的话，人们大概就不会在意伦理问题了。我本人也真心希望这一时刻能早日到来。

2 获得他人的大脑

那么，除了药物就没有其他方法能够增强记忆

力了吗?从治疗这一临床观点来看,药物确实是一种最便捷的方法,但也存在着一些缺点。其中之一就是,这种作用只是暂时的。也就是说,服用药物之后,过了一段时间,药效就会自然消失。如果想保持药效,就得定期持续地进行服用,比如“一天三次,饭后服用”。

这对健康人来说算不上什么,但对痴呆病人而言,就是一个不可忽视的问题。因为病人患有痴呆症,所以可能会忘记服药的时间,有的时候甚至会忘记自己刚刚服用了药物。因此家属或看护人员必须对病人进行细心照料,这样就会给周围的人增添负担。从这个意义上讲,我们期待着一种比药物效果更加持久的其他治疗方法的出现。可以的话,经过一次治疗就能够保持永久效果——这是我们所期望的理想状态。

此外,用药物来治疗痴呆症还有其他方面的问题。也就是说,药物最终只是使病人的症状得到了改善,并没有铲除痴呆症的病根。痴呆症是一种神经细胞逐渐死亡的、不断恶化的病症。换言之,药

物所能做到的只有两个方面。一是让尚且存活神经细胞更加顽强；二是保护神经细胞，使现有的神经细胞不再死亡。不管哪一种方法，都无法从根本上消除痴呆的根源。这是因为这种方法无法赋予已经死亡的神经细胞以新的生命。说到底，药物只能改善痴呆病症，无法从根本上对其进行治疗。

要完全治疗痴呆症，只剩下一方法——补充新的神经细胞，也就是脑移植。关于这一方法的可能性，我所在的研究室从很早开始就进行了认真研究。而且，对大脑进行神经细胞移植技术已经成熟，即移植基本可以实现了。所遗留的课题就是应该移植什么样的神经细胞呢？

现在世界上所关注的就是作为候补对象的、位于海马齿状回的颗粒细胞。颗粒细胞是脑中极其特别的具有增殖能力的神经细胞。因为颗粒细胞具有增殖能力，只需移植少量的神经细胞，大脑中神经细胞的数目就会增加，从而比较容易弥补神经细胞的缺损部分。此外，先在试管中使神经细胞进行大量增殖，然后将足够数量的神经细胞移植进去，也

许就能够取得更好的治疗效果。如果所移植的神经细胞能够在痴呆病人的脑中健康生存并不断增殖的话，那么治疗的效果就会更加持久。神经细胞的移植治疗已经成为现代脑科学的最热门话题之一。我本人也很期待这种技术早日实现。

3 把握“心”的科学

到现在为止，我就脑科学所要阐明的记忆进行了说明。当然，这并不意味着已经将有关记忆的全部知识阐释清楚了。脑科学还处在发展中。但是，现在的脑科学究竟发展到一个什么样的阶段了呢？胜利是不是就在眼前了呢？还是刚刚起步呢？我们就这些问题再讨论一下。 记忆可分为若干个阶段。至少可分三个阶段——学习、储存、提取。用专业术语来解释的话，可以将这些阶段命名为获取、固定和再生。

在本书中，我和大家一同从 LTP 以及海马等诸多方面对记忆进行了考察。但或许有的读者已经发现，我在本书中只解释了三个阶段中的两个——获取和固定。关于再生这个阶段，着墨较少。当然，书中有一部分就再生进行了简单说明——要想提取语义记忆，契机是非常重要的等方面。但是，有关这种契机的表现的介绍却非常模糊，我并没有作充分的说明，并使之非常有说服力地还原到大家的生活之中。

在整本书中，我避开了记忆再生这一问题。原因就在于现代脑科学尚未阐明再生现象，而只对获取和固定两个阶段进行了详尽的解释——海马利用 LTP 进行信息的选择、取舍(获取)，并将完成后的记忆保存在颞叶中(固定)。但是，一提到再生的话题，脑科学就突然三缄其口了，这是为什么呢？理由就在于再生这一行为同记忆以外的、脑的高层次机能具有很深的联系。在说明这一问题之前，我想首先简要介绍一下再生的机制。

脑的记忆存储量大得惊人。大家在回忆的时候，能够自由提取必要数量的必要部分。人们很容易认为，再生这一行为是日常生活中无意产生的，所以并非难事。其实，这个行为对脑而言却是超乎想象的烦琐工作。这是因为脑要检索所保存的无数记忆，从中搜寻出符合自身意图的记忆。也就是说，提取这一指令会相继传送给诸多条神经线路，通过这种方法来寻找记有必要信息的神经线路。

脑中有无数条神经线路，如果毫无条理地去检索毫不相干的神经线路，不知道何时才能达到目的。胡乱地去检索神经线路的话，检索的成功率是非常低的。为了克服这个问题，脑采取了一种沿着相互之间存在联系的神经线路来搜索记忆的方法。换句话说，如果当前检索的神经线路中没有所要查询的信息，接下来就会选择另一条应该检索的线路——同当前线路紧密相连的神经线路。

关于这一点，如果我们思考一下回想事情(再生)时候的情景就会明白了。比方说，当我在旅游景点遇到那位年轻人，回想他是谁的时候——“咦？

这个人好像在哪里见过。”“这么说，是在研究楼遇见过了？”“那么一定是附近研究室的人。”“等一下，在研究楼的二层经常见到，应该是那层研究室的人。”“对了，曾经看到那个研究室的教授和他一起在食堂吃饭。”“啊，知道了！”——脑就是接连检索诸如此类相互关联的信息，最终搜索出目标信息。“咦？这个人好像在哪里见过。”想到这一点之后，是不会去检索“美国第一任总统是谁”等无关信息的。像刚才那样毫无规律地进行检索的话，我想无论花多长时间也无法想出那位年轻人的名字。这样考虑的话，我想大家都会理解通过相互关联的神经线路进行检索是一种多么有效的检索方法了。

在第六章中，我特别强调了将事物进行多方面联系对记忆来说是非常重要的。原因就在于此。如果记忆进行了更多联系的话，那么搜寻信息的命中率就会大大提高。将一事物进行多方面联系，那么搜寻该事物的准确率就会得到相应的提高，人们也就会比较容易地回想出这一信息了。情景记忆和语义记忆有所不同，情景能够任意再生，原因就在于

情景记忆同许许多多的事物之间都有错综复杂的关联。在第二章开头部分，我谈到了某日在旅游景点遇到一名年轻人，却怎么都想不出他是谁，这就是由于神经线路缺乏充分联系缘故。也就是说，没有一个由“这个人好像在哪里见过”到“曾在研究楼遇到过”这样的联想过程。

此外，艾宾浩斯遗忘曲线的例子也是一样，所谓遗忘并不是记忆消失，而是没有再生。记忆虽然固定在大脑之中，却没能将其检索出来。固定下来的记忆如果置之不理的话，它们之间的相互联系也会渐渐淡化，最后连检索都检索不到。这就是遗忘的真实面目。就连很多事物交错相连的情景记忆也是如此，放置一段时间以后，各个情景记忆相互联系就会变淡，慢慢地就转为语义记忆了。在一些情况下，随着联系的减少，最后也会完全忘记。

以上，我们就再生问题进行了说明。那么脑科学是不是已将再生现象解释得一清二楚了呢？答案当然是否定的。因为我们还没有论及再生中最为重要的方面。

我刚才讲到，再生就是在接受回想这个指令之后，去发现记有必要信息的神经线路的现象。但是，这里所说的“回想这个指令”究竟又是什么呢？这好像不是科学家所使用的词汇。如果用专门术语来解释的话，就是“意识”——去回想某一特定事物的意志。只有存在一定契机的时候，才会回想出该事物来。事实上，现代脑科学还尚未能够阐明意识的本质。

第六章里我讲到，要增强记忆力，个人的“意识”是很重要的因素。但是，到底什么才是意识呢？面对这一疑问，现代科学还不能给出一个满意的答案，脑科学还不能说明“心”这个问题。

脑科学在验证记忆本质时候，对获取和固定进行了详尽的研究，但一论及再生这一问题的时候，就被“心”这一障碍物所阻拦，前进的目标也突然变得模糊不清了。

再生现象所关联的“心”是一个非常深奥的问题，其难度已经超出了我们的想象。比方说，意识不仅仅提供再生的契机，也与再生的停止有一定

联系。但通过检索神经线路达到目的时候，“这正是现在所需要的信息”——这种判断也属于意识。如果无法准确进行这一判断的话，记忆会相继再生，就会导致一种无法收拾的局面。自由地提取必要数量的必要记忆是大家在日常生活中的一种无意识行为，这种行为是通过一种超乎想象的脑的高层次机能得以实现的。

另外，研究再生问题时特别困难的就在于潜意识。比方说，我们经常在没有一定契机的情况下，一下子想起了什么事。突然想起自己忘了一件重要的事情而慌乱不安，下意识地哼唱起自己喜爱的一首歌曲，习惯性地从常经过的路口转弯了，将“菠菜”读成了“菠莱”，等等，这些现象都是无意识状态下的记忆再生。实际上，这些现象并不是完全没有契机，而是潜意识在我们没有觉察的情况下对大脑进行了提示。

潜意识的作用不仅仅限于这个方面。比方说，我们在无意识的状态下会试图忘记不希望记起的不好经历。想起这些事情就会心情不好，所以就会下

意识地避开这些记忆。当然，这些记忆已经固定在头脑之中了，但是“心”会试图阻碍它的再生。这种深层心理带给记忆的作用使记忆自身的行为更加复杂，从而使科学验证更为困难。

另外，意识所掌管的不仅仅是再生。意识也会对获取产生巨大的影响力。我们能够自由地记忆想要记住的事物，而且并不是将所见所闻的事物全部记住，而是从中选择必要的信息来记忆。选择方式大致可以分为两种模式。一种方法是记忆感情很深的事物；另一种方法就是记忆带有很强主观意识的事物——希望记住的事物。换言之，就是自然的回忆和考试前临时抱佛脚为代表的意识记忆。后者的记忆是通过意识进行调控的，这一点是毋庸置疑的。关于前者的回忆机制，我通过扁桃体和 LTP 的研究，已经能够阐明这个问题了，但意识记忆的机制在世界上仍是一个尚未揭开的课题。

对脑科学研究者来说，同意识相关联的诸多现象都是他们非常感兴趣的课题。但是，这类研究才刚刚起步。在大脑中，生成意识的场所位于大脑皮

层的前部，就是紧靠额头内侧的额叶。东京大学的宫下保司在 1999 年的《自然》杂志上指出，当神经信号从额叶输送到颞叶的时候，记忆就得以再生了。这就意味着额叶产生的意识对记忆的保存库，即颞叶进行刺激，将记忆提取出来了。我想今后的脑科学会以这种尚处在萌芽状态的研究为契机，在“心”这一未知领域迅速发展起来。我所在的研究室也正在着手攻破所谓的脑科学的最后壁垒——意识（特别是注意力）。我想或许能够为科学的进步献出自己的微薄之力。

4 为什么偏偏是海马

本书一直以海马为核心，对记忆的实质进行了一番考察。大家读到这里，很可能一听到“海马”这个词，头脑中大概就会立刻浮现出这样的印象——“它是控制记忆的脑部位”。记忆是生命高层次机能的象征，所以将海马称为生命的枢纽一点都不过

分。这是脑科学对海马所持的观点。但在医疗方面，人们对海马却是另眼相看，海马被当成了一个绊脚石，它让人们感到棘手和麻烦。

原因就在于海马容易变成疾病的病灶。比方说，阿尔兹海默氏症就是海马神经细胞萎缩的一种病症，这一点我们在前面已经有所阐述。同样，近些年来，人们已经知道精神分裂症也是由于海马的神经细胞坏死导致的。而最新研究还表明，糖尿病晚期患者所出现的痴呆症也伴随着海马突触的减少。另外，癫痫病也和海马有着很深的关联。当海马发出异常的神经信号的时候，这一信号会传向整个脑，从而引发病症。并且，癫痫一旦发作以后，齿状回的发育就会失常，这种病症就会更加容易发生（我在学生时代就已阐明了这一点）。

另外，海马和疾病之间的根源在于贫血。我们都知道，当脑部血液循环功能丧失的时候，脑就会坏死。严格来说，并不是脑坏死，而是海马的神经细胞死亡了。大脑血液只停止流动几分钟，海马的神经细胞就会死亡。而相同程度的伤害之下，

海马以外的神经细胞不会死亡。可见，海马的神经细胞是非常脆弱的，极易受到伤害。当然，海马的神经细胞坏死之后，人就丧失了记忆力。痴呆病症中一半为阿尔兹海默氏症，剩下的一半是一种叫做脑血管性痴呆症的疾病，这是由于脑血管受到损伤而导致的神经细胞坏死的病症。我们不难想象，其主要的病因就在于海马的神经细胞。

像这样从医学临床角度来审视海马的话，它就变成了一个肇事者——各种脑疾病的病灶部位，也就是所谓的“万恶之源”。那么，一定有人会想能不能像切除阑尾那样切除海马呢，事实上是不行的。前面我们已经讲过了一个关于癫痫患者 H. M. 被切除海马部位的著名病例，从中我们看到海马切除所造成的悲惨后果。这也表明，海马是记忆的枢纽，所以不能随便将其切除。即便海马有时是一个障碍物，但同时也是一个重要的部位。这样看来，由于海马存在着脑的高层次机能和病灶的两面性，治疗自然就陷入了一个进退两难的境地。

那么，究竟为什么海马会背负着脑的高层次机能和病灶这把双刃剑呢？当然这个问题还没有答案。但是，在本书的最后，我表明了我对这个问题的看法。这是从我的博士论文里面节选出来的。这些段落多少有些长，但是其中浓缩了我最想通过本书传达给各位读者的内容，所以在这里，我希望以这段文字来结束和大家共同走过的、探索记忆的旅程。

海马表现了在其他中枢神经系统中所无法观察到的奇异特性。特别是海马同疾病相关联等方面，自古以来就有所论及，本研究也 将其作为主要的着眼点。但是，为什么人们只在海马上发现了这一现象呢？这也成了本次研究中一个经常性的根本疑点，也是在从宏观角度来把握中枢神经系统的机能和疾病的基础上，予以解决的必要课题。

毋庸置疑，神经系统是对维持生命所必须的、根源性的活动进行管理的关键组织，这是一个穿越个体生命的、不变的基础准则。反过来说，这种制约机制的崩溃也意味着个体终结的危机。所以，要

想避免这种损害的发生，中枢神经系统需要维持一种不允许可塑性或再生的坚固构造，这一点可以作为中枢神经系统在胎儿期形成的原因，而在诞生时所建构的神经体系会一直存续到死亡。或许这一点正是生物体为维持生命所采取的最佳手段吧。

但是，仅仅凭借这一点是很难维持生命的。要延长自身生命，生物体必须同时具备适应外界环境的能力。能够对外界变化随机应变，换言之，就是一种认知——学习——记忆——变化的行为，这样，可塑性就成了一种必不可少的性质。可塑性可以分为生理学的可塑性和构造学的可塑性。生物体为了维持自身生命，就必须具备可塑性这种特性。神经组织具有恒常性和可塑性这两种相反的现象，其原因大概就在于生命的根本。

这里非常重要的一点就是可塑性。从另一方面来看，这种带有制约生物体自身变化的特性是同制约机构的崩溃，即生物体机能障碍(疾病)这种危险相联系的。为了将这种危险性抑制在最小限度，生物体所采取的手段就是限制提供可塑性的神经组织。

从很久以前开始，海马就被视为对记忆和学习非常重要的脑部位。通过海马对可塑性这一现象进行频繁的观察，可以发现海马就是被选中的神经 182 组织。

其中，齿状回所表现的可塑性是极其显著的。只有齿状回是在生命诞生之后形成的，原因在于它被赋予了更高层次的可塑性。一般刚刚形成的神经纤维表现出较高的生理学可塑性，诞生后还具备增殖的能力，神经纤维可以通过这一能力不断转生，大胆地变换神经线路的样态——表现这种构造学的可塑性也已经成为可能。此外，虽然齿状回的轴突为兴奋性神经纤维，但却是一个例外的无髓轴突。髓磷脂鞘会阻碍可塑性与再生，如果考虑到这一点的话，无髓轴突这一点对发现高度可塑性是非常有利的。

像这样，生物体对海马这一神经组织赋予了极为高度的可塑性，此外，还因此给予了海马以细致周到的机构。从另一方面来说，正是由于这个原因，海马成了最接近病患这一病理水平的神经组织。海

马以疾病这一危险因素为代价，获得了为支持高层次可塑性的分子结构。这一点可以作为本节开头问题的回答。

——博士论文《癫痫病的过剩神经活动中，海马神经线路的异常形成》第五章节选（本书转载时对一部分内容进行了改动）

结束语

在樱花凋落的季节，我打开了研究室桌上的电脑，收到了一封电子邮件。这封邮件是讲谈社的筱木和久先生看完我的主页以后写来的。

初次见面，请多关照……我拜读了池谷先生在家页中所写到的有关记忆研究的话题，颇感兴趣，如有可能，我希望池谷先生能够将这些知识整理成面向广大读者的书籍。

这就是本书诞生的机缘。但是，将这种现代科学高度专业化的内容通俗易懂地介绍给一般读者并非易事。所以，刚开始的时候，我一直苦恼于是否应该执笔写这本书。但是，在筱木先生的热情推动之下，我决定将其整理成册。

我询问了一下，在关于脑研究的书籍作者之中，我是比较例外的年轻人。确实，即使寻遍大街小巷所有有关脑的书籍，大概也不会发现 30 岁左右的年轻作者。但反过来说，我是处在脑科学研究的最前沿的作者，从我个人来看，不能说那些一般书籍内容陈旧。研究是一个不断进步的过程，这一点只有亲临“现场”的人才会真正感受到。我想，本书的问世是当前的脑研究者将现代科学最前沿的内容直接传递给大家的绝好机会。

当然，从根本上讲，对极其复杂的脑科学世界进行详尽说明是一件比较困难的事情。要对科学进行解说，就必须牺牲通俗易懂和精确性的某个方面。在本书中，我尽量使自己的说明至少能够让大理解大的框架。我对书中很多地方的表现方式进行了简化，有些地方一笔带过。所以，我本人也备感忧虑，而且我想也一定有很多让专业人士颇感含糊不清的地方。但是，我还是注意尽可能地覆盖到最前沿的内容，所以我想多多少少还是将“现场”的氛

围传递给了大家，对于这一点，我还是比较有自信的。

现在，脑科学研究还处在向终点行进的途中。有人说，21 世纪才是真正的“脑的时代”。或许，现在的脑科学正处在为今后发展添砖加瓦的准备阶段。确实，脑的神奇机能之中还存在着很多尚未阐明的现象，本书所叙述的内容里面也有一些还没有获得充分科学证实的例子。但是，正是因为这种神秘性，脑才成为了一种奇妙的、颇具魅力的事物。如果有的读者看完这本书后，对脑产生了浓厚的兴趣，那就让我们一同致力于脑研究吧！研究是一个快乐而深奥的事情，希望具有这种意志的读者能够投身于这个领域，这对作为本书的执笔者的我来说是一件非常值得庆幸的事情。我在科学研究的最前沿等候着诸位。

最后，我还要向在本书出版之际给予我很多宝贵意见的编辑部的高月顺一，从信息泛滥的网络世界中发掘出我个人主页的筱木和久，欣然允诺本书出版，并予以关照的、我所在研究室的东京大学药

学系药品作用学教师松本则夫教授，执笔之际给予我莫大帮助和鼓励的诸多友人以及研究室同仁们表示衷心的感谢。

（全文完）

图书模板由 爱书网 www.ilovebook.cn 提供
