

意识的物理学原理和记忆的生物学机制

钟振余

(宁波大学 资产与实验室管理处, 浙江 宁波 315211)

摘要: 意识与记忆是大脑中2个独立的功能组织, 肌体将外部获得的信息以电信号方式传入脑内对应的神经核, 神经核通过同步振荡将电信号转换成电波信号。意识当下就是以脑干网状结构为核心、以运动神经为辅助, 在一个单位活动时间内, 所有感知神经接收到对应电波信息后形成的综合反应——当下的意识状态。这种感受状态的电波信息同时也被大脑皮层的记忆神经元捕获, 形成记忆储存。记忆是以神经元树突树棘增生的方式储存, 增生变形有违神经元保持稳定的生物学规则而开始恢复原状活动, 记忆神经元活动产生的记忆电波成为皮层向外发送信息的信号源。意识与记忆两者互为推动, 致使生命衍化出丰富多彩的行为方式和精神世界。

关键词: 意识原理; 记忆机制; 记忆电波; 意识电波

中图分类号: R338; B022

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 01-0118-07

自古以来, 人类因对自然力量的无为和敬畏衍化出了对自身意识的灵魂崇拜, 这种文化基因直至现代都很难说已从根本上消除。在现代科技发展之后的很长一段时期内, 意识研究没有被社会主流所重视, 笛卡尔的“心物二元论”意识观, 在哲学层面长期处于争论状态, 自然科学对意识的研究少有涉足。以至于很多年以后, 因提出DNA分子的双螺旋结构模型而获得1962年诺贝尔生物学奖的英国科学家Crick还曾感叹: “仅仅几年前, 在投给《自然》杂志和《科学》周刊的稿件中还绝不可以使用“意识”这个词, 在科研基金申请中也不可以这样做”^[1]。

这种情况在近几十年中已发生了极大的改观, 从自然科学角度研究意识问题已获得科学界的广泛认同, 许多不同学科背景的研究者分别从各自的领域参与意识研究, 意识成了多学科交叉的研究领域。1994年在美国召开了第1次关于“意识”的会议, 出席会议的300名学者分别来自心理学、计算机科学、神经网络、机器人学等不同领域; 1996年召开的第2次会议, 参会人数增至1000多人, 专业领域进一步扩大, 网上访客上万人, 原定2年1次的会议在1999年就召开了3次^[2-3]。大批具有

重大影响力的自然科学家在各自研究领域取得重大成果后转向对意识的研究。1994年Crick出版了意识研究成果《惊人的假说》; 美国诺贝尔生物学奖获得者Edelman于2004年和2006年出版了《比天空更宽广》和《第二自然》等意识研究成果; 美国南加州大学Damasio教授的《笛卡尔的错误》和《感受发生的一切》等专著在意识研究领域产生了重大影响; 许多国际顶级刊物每年都有大量与意识相关的研究文章发表, 科学界正从不同的研究角度推进人类对意识问题的进一步认识。

意识研究涉及众多交叉学科, 正如Crick坦言: 我们也回避了诸如“自我意识”和“情绪”等意识问题中更复杂的方面, 而集中讨论知觉, 特别是视觉^[1]。综上所述, 笔者认为基于意识理论模型假设进行意识研究, 也许是另一种新的探索途径。

1 意识模型假设

人类大脑包含25亿或140亿个神经元的2种不同说法^[4], 大约可分为200多个种类^[5]。19世纪末至20世纪初, 西班牙神经解剖学家Cajal提出神经元独立结构的细胞学说(神经元之间相互关联的点, 就是所谓的“突触”, 直至20世纪50年代才

被证实^[6]。人类对于介观尺度的神经元的研究了解还非常有限,在神经元功能研究或意识原理研究方面,运用科学的推理方法在所难免,由此笔者提出了如下意识模型。

1.1 意识与记忆是独立的神经组织

大脑意识与大脑记忆在生理上是 2 个独立的神经组织,在功能上是密不可分且又互为推动的意识-记忆共同体。所有的意识内容均可被记忆神经元储存,所有的记忆信息均有可能获得意识的表征。意识现象产生在以脑干区域内的网状结构为核心、以下行神经系统为辅助的感知神经中,称为意识功能区。记忆信息则仅储存在以皮层为包裹、以胼胝体为连接的左右大脑的神经元中,并按大脑感知信息的性质不同分别储存在各功能区,如视图区、语言区、运动区等。每一区域分别储存各自同一类信息内容,且各自对应某一振荡频率。

1.2 神经核将电信号转换成电波信号

广泛分布于肌体表面的各类神经感受器,如视、听、嗅、味、触等外部信息采集系统通过各自的神经纤维进入脑干或丘脑后分别汇聚成神经核团^[7]。感知信息通过神经纤维介质将电信号传递到脑内,神经核团以同步振荡的方式将电信号转换成电波信号对外发送。在脑内传播的电波信号同时被 3 大类神经系统接收: (1) 脑内传出神经,如下行通路的神经系统收到对应的电波信号后成为运动类神经调节肌体姿态的反应指令,也就是目前医学中所指的神经反射回路。(2) 脑干内网状结构接收到电波信号后成为肌体的一种意识状态,分为意识警觉、意识感知、意识概念、意识体验和意识闪念等生命特有的 5 种表征方式。(3) 大脑皮层对应的记忆神经元接收到电波信号后在神经递质的化学作用下,将电波信息转变成树突或树棘增生的神经元变形方式储存;获得信息储存后的神经元立刻又成为皮层同步振荡的信号源,不断地向外发送记忆信息电波。记忆神经元发送的电波信号同样又成为上述另 2 大类神经系统的驱动信息。

电信号与电波信号的合理分工和优势互补成就了肌体内部高效而精确的信息传递机制。脑与肌体外围组织的沟通,以神经纤维为介质以电信号为指令完成传递;脑内各神经系统的信息交换,以神经核为节点以同步振荡发送的电波为载体完

成信号传递。

1.3 所有的肌体组织都在固定的信号指令下动作

分布在肌体各组织器官的神经都有各自固定的电信号频率或组合,组织器官的活动都必须在其神经活动对应频率的指令作用下完成。任何失去信号联系或控制的组织器官都会演变成局部组织瘫痪或局部组织混乱。肌体各组织器官活动形成的电信号将成为大脑的记忆储存,大脑记忆储存的动作信号通过意识加工后可驱使肌体动作。人类的所有动作只有经过反复练习才能确保信号储存稳定,稳定的信号发送才确保动作准确。人类从学会走路、到手指技巧的运用、直至高难度技巧比赛等均是动作信号从形成、储存、到记忆信息电波稳定发送的一个重复循环过程。

1.4 意识体验是各神经系统同时参与活动的综合过程,并作为整体事件储存到记忆中

大脑意识进化的最初目标是管理好肌体自身不受到伤害。意识过程是肌体所有的神经均有可能参与活动的整体概念,而非局限于脑内神经。意识当下的内容包含了视、听、嗅、味、触和记忆等 6 类信号的随机组合。肌体生存期间大部分时间都处在 2 种以上感受器所对应的神经核同一瞬间形成振荡电波的意识状态,如个体对不同食物的喜好或厌恶,口腔中的甜、酸、苦、辣引起的神经电波和食物视觉概念电波共同构成了当下意识,此时的意识状态进一步深化为意识体验。意识体验在皮层记忆神经元中被作为整体事件储存,即不同神经系统所对应的神经核团同时振荡发送电波信号形成的记忆储存,在皮层记忆神经元中将通过树突或轴突的关联机制“突触”的作用成为记忆整体。而左右脑之间的胼胝体或许起着远距离关联同步的“连接线”作用。斯佩里(美国)完成的著名的裂脑实验所显示的特征,正好拟合了记忆储存事件的关联作用被断开后的意识状态,或许人们一直被所谓的左右脑的功能所误导。

1.5 神经系统之间的信息交换是基于信号的频率差异进行寻址

尽管肌体对应外部的感受系统繁多、各部分组织及器官复杂多样,但这些神经系统进入脑内后布局合理、活动有序。如脑干中来自不同部位的 7 种神经系统,因运动和感受功能不同进一步细分

为 19 个脑神经核,并分别对应于肌体各运动和感知组织及器官^[4]。这些神经核团或许运用振荡频率的差异进行功能分类或区域划分。

上述 5 部分假设模型基于以下的理由提出:

首先,早在 20 多年前,德国的有关研究人员首先在猫的视皮层观察到振荡现象^[8-9]。之后,其他研究人员在猫、兔、猴的视、听、海马等不同部位都发现了振荡现象。实验发现,神经元发出的脉冲并不随机出现,而是和皮层局域的振荡“同步”发放。这些振荡波并不很规则,而更像一个随手画出的粗糙的波。当使用 2 个电极作记录时,场电位还存在同位相振荡现象^[10-11]。也有实验表明,同步振荡可以出现在大脑两半球皮质之间^[12]。对于振荡现象,许多人认为感觉通道中对同一物体的不同特征敏感的神经元,可能通过 40 Hz 的同步振荡把它们整合(捆绑)起来,形成一个完整的物体概念^[13-20]。Crick 与科赫合作研究视觉意识时还将这一观点进一步推广,认为这些与 γ 振荡(35~75 Hz)同步发放,可能与视觉觉知的神经相关联^[21]。近年来,运用功能磁共振成像(fMRI)等技术,神经同步振荡现象在认知以及记忆等方面也有着广泛的研究^[22-24]。

其次,脑干中的复杂结构是神经解剖学一直未找到合理解释的一个谜。位于脑干的网状结构在神经系统中发挥的功能和作用,早在 10 多年前就已引起许多研究者的关注,他们中的大部分人认为:所有的感觉神经都有分支通向网状结构,网状结构对于“唤醒”大脑皮层的功能起重要的作用,所以网状结构对意识起重要作用^[25]。现有的医学教课书都将脑干称之为神经中枢区域,分布于肌体全身的 12 对神经,包括视神经进入大脑后几乎无一例外地终止于各自的一个神经核团,对于这些神经核团均称其为特异结构或称“疑核”。

第三,长期以来,在医疗实践中被习以为常的脑电图测定中的某些怪现象,也可在本假设模型中获得解释。视网膜获取的电信号经外侧膝状核振荡后,形成的电波向外发送:眼睛一睁,15~25 Hz 的 β 脑电波立即出现;眼睛闭合,视网膜信号消失,神经核的振荡也就停止,电波频率重又回到 8~12 Hz 的 α 波。而困倦或睡眠状态,电波频率就落在 1~4 Hz 的 δ 频率段^[1],这是肌体对外的神经感

受器停止工作后,其所对应的所有神经核团不再需要发送电波的显著迹象。1~4 Hz 是肌体自身活动所形成的神经核发放的电波频率段。

电荷振荡产生电磁波是物理学的基本特性之一,通过同步振荡形成电波符合生物进化规律。人体从外部采集的大量信息,进入大脑后不再存在任何介质可用于电信号传导。覆盖在顶部的端脑与脊髓延伸的脑干之间,所有神经系统均不具备足以传导大量信息的连接介质。信号的形成、传递和加工必须在生物学的范畴内考虑。而许多研究者在实验和理论上提出的脑内信息多次传递折返形成意识的理论模型,明显地违背生物学中细胞保持稳定这一法则,将意识研究引到不可知论之中。

需要特别说明的是:视网膜就是一个接收电波(人类可接收的波长为 380~780 nm^[6])信号的神经组织。本模型提出的脑干中“特性不明”的网状结构接收电波信息只是换了个位置,仅是一个“同位等效”的逻辑推理,最终当然需要实验加以证明。

2 意识功能区感知神经活动原理及其物理学依据

从临床实践中已知,脑干网状结构受到损伤会导致不同程度的意识障碍,甚至深度昏迷,一些镇静药物就是通过阻滞该系统传入通路而达到镇静^[4]。某些患者因肿瘤治疗,为了处理肿瘤的恶性扩散,作为最后一种方案切除肿瘤所在的整个左半球大脑,没有遗留下任何大脑皮层。手术导致了最严重的全面失语症。但病人的核心意识未受损伤,不只是清醒和有注意力,有时还能使用手势表达问题,主导情绪与当时的情景非常协调^[26]。

2.1 网状结构具有意识感知功能的拟合特性

脑干中的网状神经结构不仅在解剖学上符合意识功能区的最佳位置布局选择,而且其结构特点也非常有规律性:(1)神经元胞体形状和大小各异,小的只有 12~14 μm ,大的可达 90 μm ,这些细胞被纤维分隔成许多小群,核团不易辨认。(2)纤维来源和走向纵横交错。(3)纤维联系广泛,平均每个神经元表面有 7 000~8 000 个突触^[4]。网状结构中的每个尺寸的神经细胞分别对应一个固定的电波频率范围起作用,正像视网膜中每个神经元可捕获一种固定波长的光波一样。网状结构的布局形式非常拟合于同时接收不同频率组合的电波信号。

2.2 从视网膜接收到意识感知的信号转换

为了证明意识和记忆是2个独立的功能区,现以视觉系统的意识形成为例进行分析。

视网膜上约有60种不同类型细胞,1亿个左右视杆细胞和500万个视锥细胞^[1],眼睛一睁开,视网膜通过3条通路约150万根神经节细胞的轴突每秒大约输出1000万bit以上的视觉信息^[1],大量信息传输的下一站是外侧膝状核,之后没有下一站,通过神经纤维介质传导的电信号就此终结。神经解剖中还有小部分纤维走向由视网膜出发后不经过外侧膝状核而与脑内上丘和顶盖前区等组织相连,称为视第2通路^[6]。这种信息通路很容易被理解为脑内各神经组织活动时起同步触发器作用。

大脑该如何处理视网膜源源不断的信号,并最终形成视图意识?外侧膝状核通过有节律(如25 Hz)的振荡活动将电信号进行整合,以特定频率向外发送电波信号。电波进入意识感知区后,脑干部位的网状神经结构中广泛分布的大量12~90 μm 大小不同的神经元正好对应这一由视图转换后的电波信号,众多获得对应波长感知的神经元组合形成的综合感受就是眼前的一幅图景。这种视图感知意识也可以看成从视网膜到脑干网状结构的信号转换和神经元功能转换,相当于一种映射。

外侧膝状核振荡频率25 Hz是一个待定值,笔者采用电影发展史上的经验数据,即电影放映速度从每秒16帧到24帧改进后,画面的轴动(俗称卓别琳动作)现象消失,动作变得流畅。外侧膝状核每隔40 ms (1000 ms/25)发送1次电波恰似一个速度开关,将自然界 $3\times 10^5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光速(电磁波)转换成生物学意义上的神经元的机械运动速度。

外侧膝状核振荡电波除了被网状结构感知,同时也被大脑皮层记忆神经元接收。如果大脑皮层记忆神经元中已储存了相同的视图信息,则电波信号与记忆神经元之间因同频谐振的特性使得记忆神经元被激活,即同频谐振波幅叠加的物理学特性确保了发送信号与储存类同信息的神经元达到了准确无误对接。被激活的记忆神经元转而又向外发送电波,皮层记忆神经元发送的电波信息让意识区网状结构神经元感知到曾经有过的体验——熟悉。如果电波信息完全是新的,即视觉画面从未见过,则电波所含的内容成为新的一个记

忆事件储存。

3 大脑皮层记忆神经元的信息储存原理及其生物学依据

3.1 基于模型假设的记忆信息储存原理

生命诞生初期,记忆神经元的原始状态可形象地认为“空白”。当意识感知到的电波同样作用于“空白”神经元时,脑内的神经化学递质与电波共同作用改变了神经元的结构,比如增加了许多树突和树棘,这就形成了神经元记忆储存的最初架构。神经元的结构改变并不符合“生命活动的最高目标是保持结构稳定”这一铁的规则,在电子显微镜下可以发现,一个单细胞的生命体也以最大的努力保持内部平衡以达到生命的延续。稳定和平衡是神经元的最大目标,也是生命活动的最大任务^[26]。被增生树突树棘的神经元处于不稳定状态,恢复原状的活动使神经元产生了与记忆储存时类同的电波信号。初始阶段,神经元活动强度较大,其产生的信号强度也大,所以刚形成的记忆很容易得到恢复,且回忆的准确度也高。随着时间推移,神经元慢慢降低活动强度,产生的信号变弱,部分增生的树突或树棘丢失了,但电波的总体架构没有变,能模糊记得某件事,而不那么准确。时间无限延长后,神经元恢复原状的成功率增加,直至基本复原,我们小时候的大量记忆事件就是这样被遗忘了。心理学上的记忆曲线变化规律符合神经元树突树棘增生和丢失的生物学过程,人类在实践中归纳出的经验是可以科学内在规律进行解释的。

被改变结构的神经元若再次受到同样的意识电波作用,神经元的结构改变将被强化,多次被改变被强化就成了新的稳定结构。树突棘具有可塑性,在学习过程中可能发生新的树突棘^[7]。比如你新认识的朋友,再次相遇,二三次及以后的意识电波作用在同一神经元上,神经元会增加许多新的树棘和分叉的树突,甚至还发现与别的神经元新增加“突触”,即一个神经元的轴突或树突与后一个神经元的树突形成突触相连,因为新的记忆事件慢慢成为老的记忆事件后,信息的容量扩大了,记忆的细节丰富了,内容拓展了。大脑回忆的事件总是相关联的内容一起出现,这是记忆神经元发

放时,通过同步振荡确保了以“突触”相关联的神经元在时间次序上起到先后排队作用。此外,与原有事件相关的内容总是容易记住。心理学实验中强调有意义的事件或关联性的事件一起记忆效率更高就是这种生物学机制的作用。

时间推移造成记忆模糊总是发生在细节内容方面,即树突树棘的丢失。记忆的初始架构非常重要,如大家知道一个人成长初期的启蒙教育很重要,一个好的行为习惯也是从入门教育开始。这些被人们普遍认可的规律背后就是记忆神经元初始架构形成的不可改变性的生物学机制。

3.2 记忆储存的生物学依据

为了进一步解释笔者的假设模型,从神经解剖学的角度比对神经元结构的许多固有特性,可进一步说明记忆储存的生物学特性。

一个胞体直径 $5\sim 150\mu\text{m}$ 的神经元,平均表面约有 $6000\sim 10000$ 个棘^[7],不同种类的神经元的树突形态和大小各不相同,一般树突从胞体的发起部较宽,其后分支和变细,长度不等,一般较短。树突上最突出的特征是带有大小不同的伸出物,称为树突棘,可呈细长形体、蘑菇形、粗短形等不同形状。树突棘极大地扩展了树突与其他神经元形成接触的机会,且在学习记忆过程中树突树棘会有数量和形状上的变化^[6]。另外,20世纪70年代,纽约 Albert Einstein 医学院的 Purpura 等发现了树突结构的重要的线索。他们用高尔基染色法研究智障儿童的脑,发现其神经元的树突结构发生了明显的改变。智障儿童的树突上少了很多树突棘,而仅有的少量树突棘又异常细长。进一步观察发现,树突棘改变的程度与智力迟钝的程度成正相关。Purpura 指出智障儿童的树突棘与正常胎儿的树突触棘非常相似^[27]。

3.3 记忆信息处在不断变化中

意识形成的电波结构组合每一单位时间都在变化,因此记忆神经元的结构也随之变化。如果按照现代信息储存概念,一个人一生中形成的海量数据几乎很难用任何人造的设备可以完整储存。自然进化恰恰在关键的时候出乎预料。记忆神经元的储存方式与意识当下形成的电波,在电波的框架结构(电波频率组合及次序)相似性上解决了难题。当后一个意识电波形成的框架结构与记忆

神经元中已储存电波的框架结构相似度比较高时,新的电波就在原有记忆神经元或神经元组合上找到了“归宿”。新电波与原储存电波之间的差异部分,通过树突树棘的增生就轻易地解决了记忆储存的扩容。

3.4 记忆信息的恢复原理

意识电波与记忆神经元之间运用物理学中的谐振原理很容易地解决了现代信息技术中很难解决的寻址速度难题。人们用无线收音机很容易在浩瀚无边的空间找到自己需要的广播电台,相同的原理,一个储存了信息的神经元就是一台固定频率组合的收发机,下一次只要大脑中出现同样的电波,对应的神经元就会立即动作——接收,接收到的电波信息与储存的信息不完全相同,故树突树棘又有新的变化;变化又产生了新的不稳定,之后神经元就转为反对变形活动——发送。用传统的概念表述就是神经元被激活,被激活(被变形)的神经元一定会比其他神经元发放更高电位的信号。大脑的这种机制确保了意识的高效率工作,在茫茫人海中,无论你走到哪里,当你偶遇老同学时会不假思索地叫出对方的称呼,并感知到老同学与你相处时的几乎所有的经历,此时意识概念和意识闪念都在起作用,如果相遇者是曾经恋爱过的男女朋友,此时或许你的心跳会突然加快,脸色跟着变化,肌体内形成的是一种意识体验。

就在见到老同学的当下,你的记忆神经元的储存信息也在变化,比如老同学头发白了,人老了,所以意识当下的电波结构在化学神经递质的共同作用下,又一次对同一个单位的记忆神经元进行新的结构改变,如树突或树棘又在增加。而这次新增的记忆信息容易保存,原因就在储存老同学的神经元早已成为一种新的稳定结构,不再向“空白”复原,这就成了永久记忆。

3.5 记忆储存与“小人图”的关系

记忆神经元不仅储存下大脑活动时的显性意识,如你的所有生活经历,它还储存了肌体活动形成的固有的动作习惯信息(传统上称为无意识活动),应该称为隐性意识。Penfield 绘制的“小人图”就是肌体各部位动作信息储存的对应位置。“小人图”中手和头部,尤其嘴唇所占空间面积特别大^[28],就是因为肌体在长期的生活经历中过多地活动了

这2个部位保留下来的记忆储存。可以预言,一个因意外事故造成上肢被截,日后学会用脚干活,尤其学会用脚做针线活、弹钢琴者,其“小人图”中脚对应的皮层空间位置一定很大,而手则很小。

个体成长期间学会走路、学会用筷子、用手与脚干各种高难度的事,均是经过长期反复练习后,动作对应的电信号被储存到皮层记忆神经元,之后在日常生活中方可运用自如。跳水、体操等各种技巧性动作的运动员在极短的时间内将一个非常复杂的动作做得完美无缺,正是通过长期的训练,这一连串动作电波组合被记忆神经元稳定地储存下来,之后才能够达到各关节协调自如。

临床实践中,医学专家已把意识与记忆的工作原理很好地运用在患者身上了。央视《走近科学》(2013-11-11)曾介绍北京武警总医院神经科医生运用大脑干细胞移植技术成功将一些下肢无法站立的脑瘫患者治愈,并让其学会走路。大脑干细胞移植并获得增生确保了下肢运动神经形成的电信号有了储存的位置。而帕金森疾病则是患者对应的记忆神经元功能降低,致使以往储存的信息不能获得稳定的发放。目前医学上采用一种电子信号发生器——电子药,通过导线将一定的频率信号送至大脑皮层相应位置,刺激记忆神经元,这种强制神经元工作的治疗方法,在初期阶段已显示出非常好的效果。

4 意识与记忆之间的互动关系

意识与记忆两者独立存在的依据可从大脑疾病患者或大脑局部障碍者身上找到验证。1907年德国精神病医生和神经解剖学家 Alois Alzheimer 对一个典型的早老性痴呆女病人尸体解剖发现,脑内有大量粉样斑和神经原纤维缠结,之后凡符合此类病理和症状的称为阿尔茨海默氏症^[27],简称AD。AD病例很普遍,病理机制也明确,记忆神经元细胞骨架破坏导致神经元功能丧失。患病周期很长,从一般性记忆功能障碍到彻底不记忆事,再发展到不认识家人,所有这些现象都指向记忆功能病变或退化。在意识形成的当下,意识区感知神经接收不到任何记忆神经元的电波信号。最后连储存家人的记忆神经元也坏了,相当于亲人的信息被删除了。与AD患者相比,如果一个因意外原

因造成意识功能障碍的患者,如植物人,尽管远不如AD患者看上去正常。但“植物人”可能只是局部性的意识功能损伤,他的记忆神经元或许一直在正常工作,以往储存的信息在正常地发送电波,只是意识区某种障碍使其无法接收信号,或许能清楚地接收到记忆信息却无法表征出来。所以,医学实践中能成功康复者,通常都是在亲人的精心护理加上爱心的作用让“植物人”从微弱的意识感知中逐步增强信心,慢慢地使网状结构感知神经回复到正常接收状态,最终回到正常人状态。

5 结束语

当所有的分析都能自圆其说,意识模型的证据链全部接通后,那么这一模型作为意识原理的阶段性的理论应该有其存在价值。

涉及意识相关的语言原理、计算判断、情绪机制、宗教信仰、价值观等意识中深层次问题将在后续文章中进一步探讨。

参考文献:

- [1] 克里斯托夫·科赫,顾凡及.意识探秘——意识的神经生物学研究[M].侯晓迪译.上海:上海科学技术出版社,2012:4-84.
- [2] Blomberg C, Liljenstrom H, Lindahl B, et al. Mind and matter: Essays from biology, physics, and philosophy[J]. An Introduction J Theor Biol, 1994, 171:1-5.
- [3] Taylor J G, Freeman W. Special issue: Neural network for consciousness[J]. Neural Network, 1997, 10:1173.
- [4] 白丽敏,姜国华.神经解剖学[M].北京:中国中医药出版社,2011:60-90.
- [5] 杰拉德·埃德尔曼.比天空更宽广[M].唐璐译.长沙:湖南科学技术出版社,2013:11.
- [6] 阮迪云.神经生物学[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2008:5-180.
- [7] 李云庆.神经解剖学[M].西安:第四军医大学出版社,2006:20-126.
- [8] Singer W. Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning[J]. Annual Review of Physiology, 1993, 55:349-374.
- [9] Singer W, Gray C M. Visual feature integration and temporal correlation hypothesis[J]. Annual Review of Neuroscience, 1995, 18:555-586.
- [10] Nikita F P, Tatjana V B, Ekaterina V B, et al. Three bands of oscillatory activity in the lateral geniculate

- nucleus of the cat visual system[J]. *Neuroscience Letters*, 2004, 361:83-85.
- [11] Simone C, Fabrizio D C, Manolo B, et al. Factor structure of the human gamma band oscillatory response to visual (contrast) stimulation[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2004, 115:1669-1676.
- [12] Engel A K, Koning P, Kreiter A K, et al. Interhemispheric synchronization of oscillatory neuronal responses in cat visual cortex[J]. *Science*, 1991, 252:1177-1179.
- [13] Roskies A L. The binding problem[J]. *Neuron*, 1999, 24: 7-9.
- [14] Wolfe J M, Care K R. The psychophysical evidence for a binding problem in human vision[J]. *Neuron*, 1999, 24: 11-17.
- [15] Reynolds J H, Desimone R. The role of neural mechanism of attention in solving the binding problem[J]. *Neuron*, 1999, 24:19-29.
- [16] Gray C M. The temporal correlation hypothesis of visual feature integration[J]. *Neuron*, 1999, 24:31-47.
- [17] Singer W. Neural synchrony: A versatile code for the definition of relations[J]. *Neuron*, 1999, 24:49-65.
- [18] Chose G M, Maunsell J. Specialized representations in visual cortex[J]. *Neuron*, 1999, 24:79-85.
- [19] Riesenhuber M, Poggio T. Are cortical models really bound by the "binding problem"[J]. *Neuron*, 1999, 24:87-93.
- [20] Treisman A. Solutions to the binding problem: Progress through controversy and convergence[J]. *Neuron*, 1999, 24:105-110.
- [21] Crick F, Koch C. Toward a neurobiological theory of consciousness[J]. *Seminars Neurone*, 1990, 2:263-275.
- [22] Vuksanović V, Hövel P. Functional connectivity of distant cortical regions: Role of remote synchronization and symmetry in interactions[J]. *NeuroImage*, 2014, 97: 1-8.
- [23] Walter G S, Luisa L, Cesare P, et al. Scalp-recorded oscillatory potentials evoked by transient pattern-reversal visual stimulation in man[J]. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1995, 96:206-218.
- [24] Nithin K, O'Neill H, Sánchez-Morla E M, et al. Long range frontal/posterior phase synchronization during remembered pursuit task is impaired in schizophrenia[J]. *Schizophrenia Research*, 2014, 157:198-203.
- [25] 汪云九. 研究意识问题的自然科学途径[J]. *世界科技研究与发展*, 2006(6):30.
- [26] 安东尼奥·R 达马西奥, 杨韶刚. 感受发生的一切[M]. 北京: 教育科学出版社, 2007:85; 106.
- [27] 徐耀忠. 脑科学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2008:36; 136.
- [28] 狄海波. 人类大脑神经高级功能: 临床实验性研究[M]. 上海: 上海教育出版社, 2010:扉页.

Analysis: Physical Principles of Consciousness and the Biological Mechanism of Memory

ZHONG Zhen-yu

(Assets and Lab Management Office, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Consciousness and memory are two independent functional parts of the brain. The external information obtained by the body is converted into electrical signals and sent to corresponding nerve nucleus within the brain. The nucleus converts electrical signals into radio wave signals through synchronous oscillation. With the reticular formation of brain stem as core and motor nerve as auxiliary, consciousness is the comprehensive perception after the radio information are captured by neurons of perception within one unit of time. Such wave signals are also captured by neurons in the cerebral cortex, thus forming memory storage. Memory is stored with the proliferation of neuron dendritic spines. Such proliferation is against the biological rule for neurons to keep stable, and therefore the neurons would start the process of restitution. As a result, the wave generated by memory neuronal activity becomes a signal source which sends out information from the cortex. The interplay of consciousness and memory enriches lives as this creates various behavioral patterns and inner worlds.

Key words: principle of consciousness; memory mechanism; memory brain wave; wave of consciousness

(责任编辑 史小丽)