

# 意识与脑内的信息处理

Consciousness and Information Process in the Brain

黄秉宪

(中国科学院自动化研究所, 研究员 北京 100080)

我们知道, 思维活动必然与意识相联系, 然而意识在思维过程中起什么作用仍是未解之谜。人醒觉时是有意识的, 此时能感知周围的事物, 能分辨不同事物的差别, 能理解事物间的关系, 能解决日常遇到的各种问题; 还会想象, 会计划, 乃至会幻想。这些感知、识别、推理和问题求解等现象, 通常都归之为意识。意识的常识定义, 可包含上述一系列脑的功能表现。由于意识与我们的日常生活相伴随, 加之意识有许多神奇的性质, 故从远古以来, 意识问题就引起人们的注意; 意识的本质, 意识如何产生等问题成为哲学家探讨的重要论题。但意识与其他科学命题不同, 它具有“主观性”的特征, 难于作客观的科学实验, 而且在涉及如何进行意识的科学研究时, 往往就会产生分歧。由于这些问题的回答与哲学观点有密切关系, 故而使得自然科学家对意识问题往往敬而远之, 意识研究逐渐成为哲学家的“专利”。但意识又是客观存在的, 脑一心的关系问题确实存在, 因而一直困扰着思维着的人们。意识是脑的产物, 是脑功能的一种表现, 脑一心关系问题理应成为科学研究的重要课题。这个问题的深入了解将会推动脑科学的发展, 将会加强脑科学与社会科学结合。本文拟从意识的科学研究, 意识的性质, 意识在脑内信息处理中的作用几方面对意识问题作一些探讨, 并在此基础上提出对意识的一种看法。

## 一、意识的科学研究

近年来, 意识问题又引起了自然科学界的注意, 生物科学界的诺贝尔奖金得主 Edelman、Crick 等人都有讨论意识问题的专著出版<sup>[1][2]</sup>。著名自然科学期刊《Nature》、《Science》中也有有关意识的论文发表<sup>[3][4]</sup>。在西方已召开过多次关于意识的讨论会。还有专门以“意识的科学研究”为题的学术讨论会。会后于 1997 年还专门出版了一本“意识的科学研究”为书名的会议论文集<sup>[5]</sup>。此次会议强调了意识具有可客观地研究、可重复地实验的性质, 内容可包括

如何确定意识; 意识与注意和语言的关系; 意识与无意识过程的关系; 意识的神经机制; 意识在何处和何时发生等问题, 还强调了多学科研究的必要性。虽然对这些问题远未取得一致的看法, 但已开始了广泛科学探索的进程。在意识的科学研究中, 脑一心关系, 即意识与脑的关系应为其中心课题。虽然多数学者同意意识与脑的活动是相联系的。但对脑的哪些部位的活动以及什么形式的脑活动会产生意识、意识与脑的活动有何相互作用等具体的关系问题, 目前都存在不同的看法。这些不同看法还与各自的哲学观点有关。如另一生物科学界诺贝尔奖得主 Eccles, 是二元论者, 他认为脑和意识是相关联的两个独立实体, 因而他与合作者试图从量子物理中寻找意识与脑相互作用的依据<sup>[6]</sup>。而 Quirk 则自认为是还原论者, 将意识归结为神经元群的活动。笔者认为意识是脑的功能表现形式, 因此, 用实验确定意识和脑的关系是最重要的。下面介绍一些有关意识的实验。

最早进行意识的科学实验的可能是 Libet<sup>[7]</sup>。他用脉冲电直接刺激大脑皮层体感区, 使被试者产生感觉。其主要结果是, 必须有一定的刺激强度和一定的持续刺激时间才能产生知觉。因此, 他认为意识的产生要求脑的一些部位的神经元在足够时间(可达 500 毫秒)内有足够的兴奋。他还从对体表、丘脑和大脑皮层几个部位实施刺激所产生的主观感知的实验中, 发现意识有奇妙的的时间补偿效应。他称之为时间指定位。即体表刺激引起的感觉, 从刺激信息到达皮层较直接刺激晚, 但主诉刺激发生时间与刺激作用同时, 比直接刺激丘脑和皮层的报告还早。即自动补偿了十几毫秒传递延迟和几百毫秒产生意识的延迟时间。由此, 他还明确指出意识的外指性质。即无论刺激在体表或脑内, 其感觉都认为是体表发生的事件。这一实验表明, 意识是因脑内神经活动而产生, 但我们不知脑内是如何活动的, 仅仅是意识到有外部的刺激。

Crick 认为意识最终可以通过神经细胞及其相关分子的行为加以解释, 并且认为视觉系统是实验

研究意识的最好的切入口,因为视觉是人脑最主要的信息来源。目前,视觉系统在各个水平上的研究已比较深入,而且视觉意识具有特别生动和丰富的信息。他和合作者收集了不少有关意识的心理物理和神经生理实验的结果以论证其观点。例如关于双眼竞争的情况,即当两只眼睛分别接受不同的视觉输入时,被试者先只看到一个眼睛输入的景象,然后又看到另一只眼睛输入的景象,两个输入交替出现。即对脑来说是恒定的信息输入,而接受(感知)的则是交变的信息。在这样的输入情况下,在观察猴子的视觉系统不同区域的神经元活动的实验中,发现  $V_1$  区的神经元产生的响应不因感知变化而变化;而  $V_4$  和 MT 区的神经元中有一部分是随感知变化而变;IT 区的神经元则有 95% 可随感知变化而改变其响应<sup>[8]</sup>。这些实验证明并非脑内所有区域的神经活动都与意识有关,而可作较高层次信息处理的脑区与意识关系较大。他们还根据此类实验和  $V_1$  的解剖上的特点(如与额叶没有直接联系),认为  $V_1$  与视觉无直接关系<sup>[3]</sup>。

Edelman 认为应当对意识进行科学研究,但他不强调实验,而着重从生物学观点出发,强调意识是生物进化的结果,意识有其生物学意义。他指出意识的适应性生物功能包括以下方面:

1. 可为个体提供其动作与回应间关系的直显方法。
2. 在多个并行信号为标志的环境中,可帮助对复杂变化的抽取、组织和强调。
3. 在变化的条件下,可提供序列的学习任务和提供自动化动作中误差校正方面的协调一致的手段。
4. 允许做出对事件的长时程预报,并通过与长时记忆的明显联系,使之与过去的事件相联系。
5. 用计划和与实时无关的“世界建模”(即在脑内建立反映客观世界的模型),增强了其自适应能力。
6. 允许依据个人的价值标准以及以前的选择基础,对后果作出明确的比较。
7. 可以做出对记忆和计划的再组织。
8. 为语言通信所必须。

最近他与另一作者<sup>[4]</sup>又共同发表论文,从意识现象的全局性质进行考察,提出复杂性和整合性的意识的两项指标,并给出了计算公式。但此公式仅是启发式的,其中的指标最多也只是意识的必要条件。由此他们还提出意识的动态核心假设,认为意识是大量神经元群聚类在一起组成的高度复杂性的统一的神经过程,这种群集神经活动可在几百毫秒内动态地转移;强调了意识的完整性及其活动模式的多样性和经常的变化。Edelman 主要从其神经选择理论出发,探讨意识的发生和作用。其论述与

脑结合得不够紧,论证也往往不够具体。他曾指出扣带回与海马系统涉及整合意识处理所需的内、外感受器的信息,但仅是一般性尚属合理的叙述,没有直接的实验证据。

总之,对意识的科学研究已经开始,由于意识的复杂性和多样性,在其中心问题——脑与意识的关系上,因研究者的观点和着重点的差异,故而看法和结论均不相同。例如从裂脑人的研究出发,得出只有左脑才与意识有关的结论……还有各种看法,这里不一一列举。

## 二、意识的性质

意识有广泛的含义,在哲学领域中,意识被认为是与物质相对应的一个哲学范畴,意识是高度组织起来的物质,即人脑的机能和属性,是客观存在的主观映象等。笔者认为,这是正确的,但对脑一心关系的实质的探知帮助不大。在哲学研究中,又指出意识不是单一反映形式,而是各种反映形式的总和,包括感觉、知觉、表象等感性形式和概念、判断、推理等理性形式;还指出意识的能动性,及意识内容不是脑固有的,而是脑对外部客观存在的反映。这些对于深入了解脑与意识的关系均是有启发的。

意识是对由感觉到推论等不同表现形式的概括;而且在同一形式中又有不同的具体内容,显示出意识的多样性。而另一方面,从现象观察又可以发现它们有一些共同的性质,在这方面詹姆斯的说法有一定道理,他认为意识具有以下几个特点:(1)意识是经常变化的;(2)意识是属于个人的;(3)意识是连续不断的;(4)意识有它自身以外的对象,具有认知功能;(5)意识对其对象有选择性,在一时刻内只关注对象的一些部分。由于意识表现出多样性和多种特性,这容易造成意识本质和机制研究中的各种分歧,因此在进行意识的脑机制研究时,应对意识的不同表现形式和特征加以分析,分别对不同情况下意识的表现与脑的关系作深入研讨,然后才能对意识作出合理的综合性解释。

意识是生物进化的产物,只有在生物进化到一定阶段,当其神经系统达到足够复杂时才会出现。恩格斯在自然辩证法一书中指出:“脊椎动物……将身体集中到神经系统的周围,因此便有发展到自我意识等等的可能性”。由此,可以推论意识是可以分级的。意识有由低级到高级的不同形式。意识的表现类型有由感性到理性的发展过程。而在同一类型中又可由浅到深;意识表现形式显示为一种连续的谱系。至于在进化过程中意识具体形式出现的阶段,难以绝然划分。脊椎动物已有较浅的低级形式的意识。而对人类,已可以肯定,具有由浅到深和由

低级到高级的不同类型的意识；而对每一个体，其意识也有其发展过程。这里还存在有意识与无意识之间的脑活动的突变。如在文献[9]中，我们已指出可能有两类有意识到无意识的转化。即陈述性无意识脑活动在一定条件下转变为有意识的脑活动，以及意识控制的活动变为程序性脑活动控制的自动化活动。多种形式的意识活动和有意识与无意识活动的相互转化，形成复杂的脑内信息处理过程和丰富多彩的自身感受。

动物神经系统愈来愈复杂，是为了更好地适应环境。脑的主要功能是信息处理，意识的产生显然应有助于提高脑的信息处理能力。由于意识是为脑内信息处理服务的，意识的内容是指向外部的，故当大脑皮层一些部位的神经元在活动时，我们不会感到这些神经元的活动；反之，我们却能意识到某些外部事件的发生。例如在视觉系统一些神经元兴奋时，我们可以看到眼前有一座房子、一棵树等等。当针刺手指时，大脑皮层体感区的手指代表区发生了强烈的神经发放，但受刺者感觉不到这种脑内的放电，而只意识到手指的疼痛。甚至人在幻想时，虽然此时脑内活动与外部真实存在完全无关，但此刻所能体会到的却是自己在外环境中的活动。而且 Libet 的实验证明意识有时间定位能力，会自动补偿神经脉冲传递及意识产生的延迟时间。这些意识的非物理属性，为意识的直接实验验证增加了困难。也说明意识活动存在有不受物理规律支配的一些属性。

意识是客观世界与脑相互作用的结果，它具有一定的“主观性”，即意识经验是属于个人的。虽然我们可以通过语言描述、交流各自的体验，但无法确定各人对相同事物的体验是相同的（只能说是等价的，可通信的）。意识必然与脑内活动相对应；但同一事物在不同个体中引起的脑内活动可能是不同的。由脑图像研究揭示，对应特定意识的脑活动在个体之间可能有明显差别<sup>[10]</sup>。

意识与脑内活动不可分离，意识也必然与脑内的一些活动相联系。然而意识是可分化的，意识包含多种不同表现形式。因此，在研究意识的脑机制时，应对不同情况寻找对应的脑活动。对哺乳类来说，意识首先应在觉醒时才能发生，而觉醒的条件是脑干网状结构上行激活系统的兴奋。因此，上行激活系统的兴奋是意识的必要条件。而感知、感觉等较初级的意识，主要可能由皮层后部联合区内的兴奋所产生。人类已做到了对意识内容的精细分化。而这些精细化的意识内容理应对应于精细分化的神经元兴奋模式。意识内容似也应相应于皮层后部神经信息表达区的高度兴奋的神经兴奋模式。脑内思维活动具有主动形式，而前额叶的兴奋是主动性意识的来源。意志是意识的高度发展，它可能与

前额叶，可能还有扣带回有关。Crick 曾提出前扣带回应是自由意志的脑部位的判断<sup>[2]</sup>。前额叶活动对脑后部有精细的调制作用，对于精细的意识活动，前额叶的兴奋也可能是必要的条件。尽管意识的内容可能决定于少数脑区内的神经兴奋模式，但意识常与脑内较广泛的脑活动相伴随，这些脑活动是保证意识内容的存在和不断更新的条件，在脑图像观察中可看到有意识活动涉及到较广大的脑区，而且有意识活动使人容易疲劳，这些都说明有较强和较广的脑活动与意识相伴随。

但是并非脑内的所有活动均与意识有联系，脑内有些部位的兴奋不产生意识，如小脑的活动与意识无关。Crick 等曾论证视觉原感区  $V_1$  与视知觉无直接关系。而根据文献[9]提出的双重阈值假说，即使在脑的后部高级联合区的神经兴奋也不一定产生意识。只有在这些部位有超过意识阈值的兴奋模式时，才能产生意识；意识的内容，即我们每一时刻感受到的东西，决定于这些部位的兴奋。如果我们想通过直接观察脑内神经兴奋模式的活动来考察意识活动的话，那么应注意那些产生强烈兴奋的部位，这种强烈的兴奋一般应仅持续 100 毫秒左右（与主观的意识变化一致）。每一时刻少数处于强兴奋状态的兴奋模式就是这一时刻意识内容对应的脑活动。由于强兴奋模式仅能持续较短的时间，因而意识内容随强兴奋模式而不断变化。对应于此强神经兴奋模式的不断变化，意识的内容也连续改变，即形成所谓“意识流”。

另一方面，在意识的具体出现中，脑的不同部位起着不同的作用，任何一个具体的意识都需要多个脑区的相互配合才能出现。首先，脑干网状结构的上行激动系统要保证脑处于足够的兴奋水平。觉醒为意识所必须，但与意识内容无直接关系；而觉醒也可认为是一种模糊的意识。在此基础上，前额叶、扣带回等脑区的兴奋保证了在特定脑区内产生高度的兴奋，从而使得意识的内容可以为主体所体验。由此可见，意识是在神经细胞以上的系统水平上发生的。尽管神经元活动包含有量子水平的活动，但试图从量子水平的活动去解释意识产生的机制是没有根据的。比较广泛的神经兴奋是意识发生的必要条件，而意识的具体内容则是由较局部的高度兴奋的神经兴奋模式所决定的。这与我们能够体验到的丰富多彩的意识具体内容是相一致的。

上面讨论了意识与可能的脑机制问题，目前还有许多不清楚的地方，但通过认知科学和神经科学研究，相信最终总能解决。至于哲学家提出的“意识的困难问题”，即脑内的生物过程如何产生出主观的经验<sup>[11]</sup>，从进化的角度似乎容易理解。意识作为反映的功能，愈进化则此反映愈生动进而出现主观感受。而具体的产生机制，目前除了说是高度组织

的人脑的突现反映功能外,似尚难作进一步的说明。

### 三、意识在脑内信息处理中的作用

尽管目前对意识的本质、意识的脑机制等方面还存在着种种难点和争议,但意识是生物进化的成果;信息处理主要靠脑;意识是脑功能的表现,似已无异议。因而,意识应在脑的信息处理中起重要作用,揭示意识在这方面的作用,不仅对意识的科学研究至关重要,而且有助于认识脑的信息处理的特点,对新型信息处理机器的研制也将会有重要的启示。下面拟在上述对意识的讨论基础上,对意识在脑信息处理中的作用归纳如下。

#### 1. 对信息的选择和放大作用

为了有效地适应多变的环境,脑内存在对输入信息的评估系统,能选择最有意义的信息作为当前处理的中心。从而在脑内形成了神经兴奋的中心,这一兴奋中心导致意识的显现。意识一经显现,就使主体能以全局的视角考察所处环境及自身作出反应的可能后果,并可通过意识的判断,达至更深刻地了解情况,相应做出有利的反应。意识的出现使脑能更精确地选择当前最有用的信息,而且意识的出现是与有广泛联系的强烈的神经活动相联的,从而使得被选择为中心的脑活动,具有更强的推动能力,使被选出的信息产生更大更有效的作用。

#### 2. 意识在脑信息处理过程中的主导作用

脑是一个并行分布的信息处理机构,多种外来信息同时传入脑内。意识的出现,使它(即意识及其相应神经活动)成为当前信息处理的中心;并对整个脑内信息处理过程产生巨大的影响。在意识的作用下,信息可以快速地有效存贮。已经证明:中介海马的记忆是依赖于意识的,由海马中介的语义性记忆和情节性记忆都能在一次呈现后即被牢记,说明意识与快速信息存贮有关。这些记忆在脑内存贮于严密组织的存贮结构。在意识的作用下,依托这些存贮结构,可由线索出发逐步将相应信息重构出来。意识在存贮结构的组建中,特别是在存贮结构中重构信息时起了重要作用。意识的高度发展与个体的需求结合就产生了意念和意志。意念表现了意识的能动作用,并进而指导人脑及机体的各种活动。如在意识指导下,可以建立有效的认知技巧和运动技巧,即建立应付新环境的信息处理程序。因此,意识活动是脑这类并行分布的信息处理系统的串行中心。它支配当前的信息处理任务。在意识主导下,还可以通过建立新的信息处理程序,使熟悉的任务转为自动化处理,发挥并行系统中无意识活动的作用。也由于意识的主导作用,使脑在繁复多样的信息处理任务中,既能突出重点,又能兼顾各

个方面。

#### 3. 意识是脑内灵活处理信息的关键

脑内信息处理的灵活性,有赖于脑内能形成有效的信息存贮结构,它不仅可以整合新、旧信息,并能将存贮内容随意组合和分解,而且能适应当前任务需要提取和构造出有效的信息。最近通过海马损伤鼠的实验证明:只有海马完整的动物才能将由分别学得的两组存贮信息结合起来去解决通过嗅觉找寻食物的任务;海马损伤的动物只能简单记住原学得的记忆,却无法将它仍组合起来去完成任务<sup>[12]</sup>;中介海马的记忆则是依赖于意识的。这些间接地证明了意识在灵活组合已存贮信息方面的重要作用。脑信息处理的灵活性,还表现在脑内能形成高层次的信息,脑不仅处理原始传入信息,而且还把它们进行分类和综合,通过抽象形成概念,而分类和抽象等过程又都依赖于意识的活动。在长期实践活动中,人脑还发展了语言这种能够灵活组合的信息表达方式;而概念、语言等信息表达方式只有在意识存在的情况下才能建立。语言、文字等的产生和接受都离不开意识,因此,意识成为脑内实现信息灵活处理的关键。这也许是脑比电子计算机高明得多的主要原因。

由于意识问题的复杂性,并且全球科学界对意识的科学研究还刚起步,已积累的有效资料还很少,故目前还不具备建立有意识的神经网络模型的充分条件。但是,根据本节对意识的性质和意识在脑内信息处理中的可能作用的论述,已有可能着手建立有意识功能的神经网络模型。这个模型应具有广泛的并行分布处理结构;而在每一时刻内都具有一个处理的中心,即其中一部分机构(及其相应信息内容),在此刻信息处理中起着主导作用。同时,在网络中存在多种兴奋模式,如陈述性的“有意识”兴奋模式和“无意识”兴奋模式、程序性兴奋模式等。而相对于每一时刻的这一处于兴奋态的处理中心对信息处理过程皆起着支配作用。并且这一中心是可转移的,可以根据双重阈值假说,实现中心的转移。当然这样的人工神经网络模型不一定等效于有意识的人脑,但具有这种意识功能的神经网络,很可能具有比目前电子计算机更灵活的信息处理功能。

由上述讨论,可简要归纳出我们对意识的看法:意识是脑的功能表现,意识包含多种成分,有感觉、知觉、推理、判断等表现形式;意识的科学研究,目前主要应解决意识与脑的关系问题;意识与脑活动不可分,但不是所有脑活动都与意识有关,一般来说,意识是以较广泛的脑区活动为基础的,是在神经细胞以上的系统水平上发生的,而意识的内容

(下转第 52 页)

信息发布的渠道可采用各种方法,如定期或不定期地举行信息发布会,在 Internet(因特网)发布信息,也可在其它多种媒体发布信息。

5. 做好老年人用品的研制和开发工作。没有老年人产品,建立老年人消费市场犹如无源之水,但也要清醒地看到粗制滥造的产品只能造成资金积压。因此,根据老年人的需求特点,搞好研制和开发工作是保证老年人消费市场建立并使之正常运转的物质条件。在老年人产品开发上,国外有很多成功的经验值得我们借鉴。在日本,精明的企业家组织力量研制开发老年人产品,在开发过程中特别注重老年人的需求特点。老年人易患高血压,他们就推出一种体积小、便于携带的“手指式自动血压计”。英国一家慈善机构的领导层专门邀请了一批著名设计家设计了各种供老人使用的生活用品,比如坐式淋浴器、可升降床、易脱穿的衣服等。

6. 创造良好的经营环境。老年人喜欢消遣、怀旧,因此,加快老年人消费市场的建立,除了实施产品策略、价格策略外,还应实施促销策略,其中创造一个良好的经营环境是促销策略的一项重要内容。日本东京原宿有一条一公里长的“老人街”,专门出售老人服装、鞋帽、化妆品、医药保健品等,街上还有怀旧的咖啡馆,播放老人们熟悉的老歌。从东京及各地蜂拥而至的老人们悠闲自在地在这条街上购物。在这里,他们既不必跟年轻人挤在一起,也不必担心店主嫌他们动作慢。北京城乡贸易中心和百盛商店及上海城隍庙的老年专柜的商品深受远近老人们的喜欢,正与这三个商场创造了一种良好的营销环境有密切的关系。

7. 完善社会保障制度,切实保护老人的消费权益。老年人的经济收入除了劳动收入、子女提供的赡养费外,有相当大一部分收入来自退休金和养老保险金。据调查,在我国城市老年人口中,以离退休

金为主要经济来源的占 49.3%。只有搞好了社会保障工作,才能保证老年人获得应有的收入,从而保证他们有足够的购买力。否则,连基本生活费都难以保证,更不用说购买有关医疗保健品和娱乐用品了。保障工作搞得不好,就会影响老年人的消费来源,最终影响到老年人消费市场的运行。此外,切实保护好老年人的合法消费权益也有助于老年人消费市场的运作。时下造假售假行为十分猖獗,产品质量事故时有发生。2000 年 1 月 25 日,国家内贸局、国家工商局、中国消费者协会联合公布的 1999 年商品质量抽查结果表明,八类被抽查商品的合格率不到七成,假冒伪劣产品泛滥,不仅浪费了大量的社会资源,还严重威胁到人民群众的财产和身体健康,甚至生命。由此可以想到,老年人消费市场一旦形成,如果预先没有采取有效措施去防范假冒伪劣商品进入该市场,其恶果是不仅严重制约着老年人消费市场的健康发展,而且老年人的生命财产也受到严重威胁。防范假冒伪劣商品,保证老年人消费市场正常运行的有效措施是搞好立法执法和法律宣传工作,加强质量和技术监督。

参 考 文 献

[1]萧振禹. 养老,你指望谁. 改革出版社,1998 年第 1 版  
[2][美]戴维·L·德克尔. 沈健译. 老年社会学,天津人民出版社,1990  
[3]World Bank: Averting the Old Age Crisis,1994  
[4]王爱珠. 老年经济学. 复旦大学出版社,1996 年 6 月  
[5]郭关科,于晓谊. 避实就虚,瞄准老年人市场. 商业经济研究,1999(10)  
[6]田雪原. 21 世纪中国人口发展五大趋势. 了望新闻周刊,1999(27)  
[7]徐荣凯. 开创新局面,再做新贡献. 中国老年,2000(2)  
(删去 14 条主要为事实出处的注释)

(责任编辑 王宏章)

(上接第 10 页)

则决定于某一局限的强烈的神经兴奋模式,并且可能按神经活动的双重阈值假说实现有意识和无意识活动的转移,即实现意识内容的运动;意识是生物进化的产物,选择、主导和灵活性是意识在脑内信息处理中的重要功能;意识的产生是为了更有效地适应环境,意识是脑与环境相互作用的高度发展;意识的内容是指向外部的,意识的体验是“主观”的;意识具有能动作用,可以在一定的对环境信息的积累基础上,有脱离环境刺激而活动的能力,即是说,意识活动有“超越”客观存在而形成“脱离”实际的可能性,这正是人脑能产生幻想的根源。

参 考 文 献

[1] Edelman GM: The Remembered Present, NY: Basic Books Ins,1989  
[2] Crick F: The Astonishing Hypothesis, NY: Charles Scribner's Sons,1994

[3] Crick F, Koch C: Nature, 375:121~123,1995  
[4] Tononi G, Edelman GM: Science, 282:1846-1851,1998  
[5] Cohen JD, Schooler JW: Scientific Approach to Consciousness, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associate, 1997  
[6] Bech F, Eccles JC: Proc Natl. Acad. Sci. USA, 89: 11357-11361,1992  
[7] Libet B: Human Neurobiol. 1:235-242,1982  
[8] Leopold DA, Logothetis NK: Nature, 376:549-551,1996  
[9] 黄秉宪. 思维过程的神经网络模型. 晋阳学刊,1996(4)  
[10] Tononi G et al: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 95: 3198-3202,1998  
[11] Chalmers DJ: Scientific American 62-68, Dec. 1995  
[12] Bunsey M, Eichenbaum H: Nature, 379:255-257,1996

(责任编辑 蔡德诚)