

Gamma 神经振荡产生机制及其功能研究进展*

王 静¹⁾ 李小隼²⁾ 邢国刚¹⁾ 万 有^{1)**}

¹⁾ 北京大学神经科学研究所 / 神经生物学系、教育部 / 卫生部神经科学重点实验室, 北京 100191;

²⁾ 燕山大学电气工程学院, 秦皇岛 066004)

摘要 Gamma 神经振荡的频率在 30~100 Hz 之间, 存在于动物和人类大脑的多个区域, 如丘脑、体感皮层以及海马等部位, 在各个尺度水平上都可被检测到. 抑制性中间神经元组成的神经网络是产生此高频节律性活动的主要条件之一. 皮层的 gamma 神经振荡与丘脑 - 皮层系统有关. Gamma 神经振荡具有易化突触可塑性和调节神经网络的作用, 主要参与感觉特征绑定、选择性注意以及记忆等高级功能.

关键词 Gamma 神经振荡, 抑制性中间神经元, 特征绑定, 记忆

学科分类号 R338

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2010.00413

Gamma 神经振荡是一种高频波, 频率在 30~100 Hz 之间, 存在于大脑很多区域, 如嗅球、丘脑、海马和各种感觉和运动皮层等部位, 是神经网络活动的一种基本形态. Adrian^[1]于 1942 年首次在麻醉刺猬的嗅球上记录到 gamma 神经振荡, 他发现经过强烈的气味刺激后, 刺猬嗅球的电活动转变为小波幅的、频率约为 50 Hz 的放电活动.

1 Gamma 神经振荡的分类及研究方法

根据诱导产生的条件不同, Galambos^[2]将 gamma 神经振荡分成三种类型: a. 自发 gamma (spontaneous gamma). 大脑许多区域, 在没有外界刺激的情况下, 自发产生的 gamma 频率的节律活动; b. 锁时 gamma (evoked gamma) 或诱发 gamma. 由刺激或任务诱导的、与刺激呈锁时关系的 gamma 节律成分. 事件相关电位(event related potential, ERP)的 gamma 神经振荡就是一种锁时 gamma. c. 非锁时 gamma(induced gamma)或引发 gamma. 是与刺激或事件呈现非锁时关系的 gamma 节律.

Gamma 节律的研究尺度包括小尺度的单细胞记录、中间尺度的神经元群体活动的记录以及大尺度的脑电图(encephalogram, EEG)记录, 可

见它是神经元和神经元群的一种基本的神经活动. 小尺度的研究方法是用单个微电极或多个微电极记录动物或者人的单个神经元的动作电位, 此时 gamma 节律表现为每 10~30 ms 重复的节律性放电, 反应了单个神经元的高频节律性活动, 是微观的 gamma 活动. 大尺度的研究方法是用 EEG 来记录动物或人的 gamma 神经振荡, 包括头皮脑电和皮层脑电两种记录方法, 此时 gamma 节律是频率为 30~100 Hz 的节律振荡, 反应的是皮层的节律活动, 是宏观的 gamma 活动. 介于单细胞和皮层脑电活动之间的是局部多个神经元群体活动, 即局部场电位(local field potential, LFP), 是由单电极或多电极记录的突触后电位的整合, 反应的是局部神经元群整体的高频节律活动, 也称为介观的 gamma 活动^[3](图 1).

* 国家重点基础研究发展计划(973)(2007CB512501), 北京市教育委员会北京市优秀博士学位论文指导教师基金和教育部创新团队(BMU20100014)资助项目.

** 通讯联系人.

Tel: 010-82805185, E-mail: ywan@hsc.pku.edu.cn

收稿日期: 2010-12-01, 接受日期: 2010-12-31

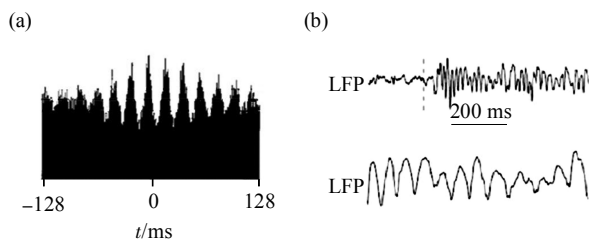


Fig.1 The gamma band oscillation detected at the levels of microscope (spike) and mesoscope (LFP)

图 1 不同尺度水平检测到的 gamma 振荡

(a) 来自猫初级视觉皮层 2 个神经元的放电活动(spike)的交互相关图。2 个神经元每隔 20 s 有一个显著的相关, 即每秒 50 次的同步(图片来自: Maldonado PE, Friedman-Hill S, Gray C M. Dynamics of striate cortical activity in the alert macaque: II. Fast time scale synchronization. *Cereb Cortex*, 2000, **10**(11): 1117-1131). (b) 在局部场电位水平上的 gamma 神经振荡。刺激后神经振荡的频率增加, 为每秒 60 次(图片修改自: Siegel M, Konig P. A functional gamma-band defined by stimulus-dependent synchronization in area 18 of awake behaving cats. *J Neurosci*, 2003, **23**(10): 4250-4260).

2 Gamma 神经振荡产生及其同步调节

Gamma 神经振荡在许多皮层区域都存在, 但其产生和调控机制的研究大多数都是在海马上进行的。海马的 gamma 节律可以由紧张性电刺激、代谢性谷氨酸受体(mGluRs)激动剂和红藻氨酸受体激动剂以及钾离子溶液所诱导发生。但是当离子型谷氨酸受体被阻断以后, gamma 节律依然能够产生^[4], 而 γ -氨基丁酸 A 受体(GABA_A)抑制剂(bicuculline)却能阻断由电和化学刺激所诱导的 gamma 节律, 并且通过调节 GABA_A 配体门控通道的开启, 可以调控 gamma 节律^[5], 说明抑制性突触是 gamma 同步产生的必要和充分的条件, 而兴奋性突触则不是 gamma 神经振荡的必要条件。因此认为, 由抑制性中间神经元组成的网络是 gamma 节律振荡产生的关键因素, 此观点也被许多离体实验所证明, 发现抑制性中间神经元网络自身就可以产生 gamma 节律振荡。

抑制性中间神经元可大体分为快速放电和非快速放电两类, 其中, 又根据表达钙结合蛋白和神经肽的不同, 将中间神经元分为 16 个种类。然而并不是任何一类抑制性中间神经元组成的网络都是产生 gamma 神经振荡的关键因素。实验发现, 具有快速放电的、表达有小白蛋白的篮状细胞组成的抑制性中间神经元网络是产生 gamma 神经振荡的主力军。实验结果显示, 只有快速放电的抑制性中间

神经元以高频(20~80 Hz)活动时, 20~80 Hz 局部场电位的功率才增强, 而非快速放电的神经元不论以低频还是高频活动, 都不能产生 gamma 振荡的功率增强。同时, 给予宽频带刺激快速放电细胞后, 只有 gamma 振荡的功率谱改变, 而且当快速放电细胞活动强度增强时, 也是只有 gamma 频段的活动随之改变, 表明 gamma 振荡的产生是细胞特异性的, 具有共振电路特性^[6]。

抑制性中间神经元网络的一些特性与 gamma 振荡产生密切相关。第一个特性是中间神经元之间的快速交互抑制。抑制性中间神经元之间的突触延迟时间影响振荡活动的频率和同步性。实验发现, 缩短突触延迟时间, 振荡的平均频率增大, 表现为高频 gamma 振荡同步性增强, 而延长突触延迟时间, 振荡的平均频率降低, 表现为低频 gamma 振荡^[7-8]。表明中间神经元之间的快速性抑制信号是非常有效的同步信号, 是 gamma 振荡产生的重要条件。第二个特性是 GABA_A 受体介导的分流性抑制(shunting inhibition)在产生 gamma 振荡中也扮演重要角色。每一个篮状细胞都与约 60 个同类细胞之间相互联系, 由 GABA_A 受体介导的 GABA 突触活动是一种分流抑制而不是超极化抑制, 即去极化的同时降低细胞的兴奋性。分流抑制是一种门控式的调节机制, 可以调节神经元的反应性。它包括两个阶段, 第一个阶段由于 GABA_A 受体激活, 导致突触的电导增加, 从而造成分流效果, 致使细胞兴奋性降低, 因此将兴奋性高的神经元下一次的放电时间推后, 而第二个阶段由于突触活动的作用减弱, 电导作用逐渐减弱, 细胞膜的去极化还能维持很长时间, 因此能增加细胞兴奋性使那些兴奋度低的神经元下一次的放电时间前移, 最终达到放电时间同一化, 从而产生稳定的 gamma 节律同步振荡^[9-11]。此外, 中间神经元之间的缝隙连接(gap junction)这种电突触可以促进 gamma 振荡同步化。在含有 GABA 受体的中间神经元上有这种电突触的表达, 电突触可以使动作电位迅速扩步, 可以促进和增强 gamma 同步。缝隙连接的特异性和非特异性抑制剂, 均可以抑制 gamma 神经振荡^[12-13]。

在体的情况下, gamma 节律的产生还需要锥体细胞与中间神经元之间的兴奋性突触活动。AMPA 受体和 NMDA 受体被阻滞, 由 40 Hz 刺激快速放电的中间神经元所产生的 gamma 功率谱显著性的降低^[6], 显示锥体细胞与中间神经元之间

的兴奋性突触活动具有调节 γ 节律的作用, 而且还可以将局部的同步化扩散到全局的同步^[11]. 简而言之, 外界刺激或者兴奋性输入, 导致锥体细胞兴奋, 释放 AMPA 等兴奋性递质, 然后在这些递质的作用下, 使得一种能够快速放电, 且有小白蛋白表达的篮状细胞(GABA 能神经元)兴奋, 这种篮状细胞通过缝隙连接和 GABA 突触形成一个产生 γ 节律性的中间神经网络, 并使锥体细胞也受到 γ 节律的调节, 进而形成新一轮的 γ 神经振荡^[11](图 2).

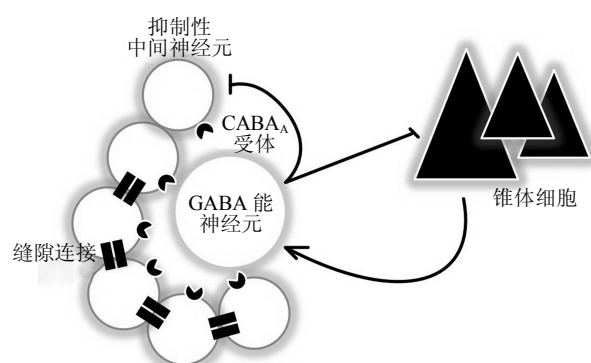


Fig. 2 A model of the mechanisms of gamma oscillation generation by the inhibitory interneuron network

图 2 Gamma 振荡产生的细胞机制

外界刺激或者兴奋性输入导致锥体细胞兴奋, 通过 AMPA 等兴奋性递质, 使含有 GABA 的、快速放电的中间神经元兴奋, 后者通过缝隙连接和 GABA 突触形成一个产生 γ 节律性的中间神经网络, 并使锥体细胞也受到 γ 节律的调节, 进而形成新一轮的 γ 神经振荡.

除此以外, Sheer^[14]提出丘脑 - 皮层模型, 认为丘脑和皮层的交互作用也对 γ 的产生有重要作用. 体感皮层发现有一种锥体细胞, 可以固有产生频率为 20~60 Hz 的快速爆发式放电, 被认为是 γ 神经振荡的“内在产生器”^[15]. 而且, Steriade 等^[16]发现丘脑的 γ 振荡与皮层的 γ 振荡有同步现象.

3 Gamma 神经振荡同步的功能

这种在某种生理状态下存在的高频振荡, 其生理作用是什么呢? 首先, γ 神经振荡调节神经元放电活动. 神经元的放电总是在 γ 神经振荡的特定相位发生^[17], 而且兴奋程度不同的神经元在 γ 神经振荡不同的时相放电^[18]. 所以说, γ 神经振荡为神经元的放电活动提供了精确的时间模板, γ 同步增加则导致神经元放电

活动同步性增加. 由 Hebb 的理论得知, LTP 的产生需要突触前和突触后神经元精确同步放电为条件, γ 同步导致突触前和突触后神经元活动同步性增强, 从而调节突触可塑性. 实验证明, 当突触后电位发生在 γ 神经振荡的谷峰处, 可诱导产生 LTP, 而发生在 γ 神经振荡谷底时, 产生的是 LTD^[19]. 因此说, γ 神经振荡具有促进神经元之间的信息交流和整合的作用.

其次, γ 神经振荡对神经网络具有调节作用. 采用视觉神经网络模型研究 γ 神经振荡对神经网络功能的影响, 发现兴奋性神经元 E-E 模型产生的 γ 神经振荡, 可以动态调节神经网络针对不同强度的回返性刺激的反应性, 较弱的刺激可以被放大, 这就说明 γ 神经振荡可以使得神经网络对不同的感觉输入信息进行选择性的增大^[20].

上述 γ 神经振荡对神经元放电和神经网络的调节作用与其神经系统的功能是密切相关的. Gamma 神经振荡的这些功能主要包括感觉和知觉^[21]、唤醒^[14]、运动^[22]、注意和记忆^[23]等. 其中, 感觉特征绑定、注意和记忆作用的研究较为深入. 下面就这几方面稍做更多的阐述.

3.1 感觉特征绑定

用脑电图(EEG)、深部脑电(intracranial EEG, iEEG)和脑磁图(magnetoencephalography, MEG)等方法在动物和人的实验中都证实, γ 神经振荡同步与感觉相关, 包括视觉^[24]、听觉^[25]以及躯体感觉^[26]等. 其中大多数实验是与视觉相关的研究. Gamma 神经振荡的一个显著作用就是对多特征的绑定(binding)功能. 有研究用移动的光栅作为视觉刺激, 记录猫视觉皮层对光栅方向有不同偏好的两个神经元放电时发现, 如果光栅的方向位于两个神经元共同偏好的方向范围中, 两个神经元就以 γ 频率同步放电, 而用各自分别偏好方向的刺激时, 两个神经元的活动就不同步^[27]. 这表明 γ 神经振荡具有将同一性质刺激的不同特征绑定和联合的作用. 除此之外, EEG 实验还发现, 想象的三角形视觉刺激导致 γ 同步增加, 说明 γ 神经振荡绑定了三角形的各个特征以形成感觉^[28]. 用脑磁图的方法记录正常健康被试者对伤害性刺激的反应, 发现在相同的刺激强度下, 被感知的伤害性刺激诱导 γ 神经振荡的幅度比未感知的伤害性刺激显著性增加^[29]. 说明 Gamma 神经振荡参与感知觉形成方面有重要作用.

Gamma 神经振荡不仅具有绑定同一刺激物的各特征以形成感觉, 而且还可以绑定同一事物的两种不同性质的多模态刺激. 向被试者同时展示同一种动物的图片和声音时, gamma 功率谱增加, 而向被试者展示来自不同动物的图片和声音时 gamma 功率谱的增加就没有那么显著^[30]. Gamma 神经振荡的这种作用与 gamma 具有促进神经元之间信息交换和整合的功能是一致的. Gamma 神经振荡能够把编码不同刺激特征的神经元活动协调整合起来, 以形成一个事物同一感觉.

3.2 注意

Gamma 神经振荡的另一个重要功能是参与选择性注意. 注意的过程就是选择与任务或目标特征相匹配的刺激. 在视觉的空间注意任务实验中, 提示被试者关注某一侧屏幕上出现的视觉刺激, 当注意侧的刺激信号出现后, gamma 活动在注意侧的对侧顶枕叶增强. 而且, 当注意侧视觉刺激的空间发生变化时, gamma 活动也显著增加. 说明 gamma 振荡参与选择与目标匹配的刺激^[31]. 躯体感觉刺激的选择性注意也同样显示 gamma 振荡参与选择性注意. 让被试者计数施加于一个手指上的痛觉刺激, 以此作为目标刺激, 而把让被试者忽略施加于另一个指头的刺激, 作为对照刺激. 实验发现, 目标刺激引发了更强的 gamma 活动^[32]. gamma 振荡参与的注意过程具有区域特异性. 研究发现, 注意可以抑制初级视觉皮层 V1 而增强视觉皮层 V4 的 gamma 振荡^[33], 注意增强了刺激诱发的梭状回的 gamma 活动, 却抑制了外侧枕叶的 gamma 活动^[34].

与注意相对的习惯化的实验结果, 进一步证实了 gamma 活动与注意的关系. 反复给予被试者同一图片刺激导致其 gamma 功率下降, 同时电极之间的 gamma 同步也降低^[24]. 另有实验发现, 用被试熟悉的刺激重复作用, gamma 的同步降低, 而用被试者不熟悉的刺激重复作用后 gamma 的同步增加^[35].

3.3 记忆

Gamma 神经振荡与记忆任务的执行密切相关. 记忆任务分为两个阶段, 一个是学习记忆阶段, 另一个是回想阶段. Gamma 与这两个阶段都密切相关. 首先, 在学习记忆阶段 gamma 神经振荡同步增加. 把学习的条目按照随后是否被成功记住分成两类. 深部脑电的实验发现, 与学习那些没有被记住的单词相比, 在学习那些被成功记住的单词时, 海马和内嗅皮层的 gamma 同步增加^[36]. 这

个现象说明, gamma 神经振荡参与了记忆的编码过程. 深部脑电实验进一步发现, 在编码阶段, 海马、左侧前额叶皮层下部 (left inferior prefrontal cortex, LPIC) 和颞叶处只有 gamma 频率的同步增加参与被成功记住单词的学习过程, 而其他频率的能量表现为减少^[37]. 也就是说, gamma 振荡特异性地参与了学习记忆过程. 其次, gamma 振荡还参与了记忆的回想和重现过程. 实验研究发现, 在记忆的辨认阶段, 与未被记住的图片相比, 被记住的图片引导出更强的 gamma 同步. 用 MEG 的方法研究发现, 在听觉记忆任务中, 左侧颞叶和前额叶的 gamma 同步 (coherence) 在整个回想过程中显著增加^[38]. Gamma 神经振荡参与记忆作用在一些神经疾病的研究结果中得到佐证. 有记忆损害的老年痴呆症 (Alzheimer's disease, AD) 患者 EEG 的结果发现, 自发的 gamma 活动以及在图片刺激条件下引发的 gamma 活动都明显降低^[39]. 另外, 具有负性症状的精神分裂症患者的 gamma 神经振荡功率谱显著低于正常人^[40].

Gamma 神经振荡的这些功能与 gamma 基本的生理作用是密不可分的. Gamma 振荡将刺激的不同特征绑定在一起形成同一感觉, 当它发生在感觉皮层及以上的高级认知中枢时, 通过调节下游的感觉神经元对靶刺激的反应性, 从而使得对靶刺激的反应性增强, 形成选择性的注意. 我们知道, 记忆过程多伴有注意增强的过程. Gamma 神经振荡促使神经元同步活动, 结果是突触可塑性的形成, 也即形成记忆痕迹. 这个过程涉及到脑的高级功能中枢如前额叶和颞叶的 gamma 同步, 参与了短时和长时记忆.

综上所述, gamma 神经振荡是神经元和神经元群的快速振荡活动, 主要由抑制性中间神经元组成的网络产生, 具有易化突触传递和调节神经网络的作用, 它主要参与刺激特征的绑定、选择性注意和记忆任务等感觉认知活动.

参 考 文 献

- [1] Adrian E D. Olfactory reactions in the brain of the hedgehog. *J Physiol*, 1942, **100**(4): 459-473
- [2] Galambos R. A comparison of certain gamma band (40-Hz) brain rhythms in cat and man. In: Basar E BTH. *Induced Rhythms in the Brain*. Boston: Birkh-user, 1992: 201-216
- [3] Jensen O, Kaiser J, Lachaux J P. Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. *Trends Neurosci*, 2007, **30**(7): 317-324
- [4] Whittington M A, Traub R D, Jefferys J G. Synchronized

- oscillations in interneuron networks driven by metabotropic glutamate receptor activation. *Nature*, 1995, **373**(6515): 612–615
- [5] LeBeau F E, Towers S K, Traub R D, *et al.* Fast network oscillations induced by potassium transients in the rat hippocampus *in vitro*. *J Physiol*, 2002, **542**(Pt 1): 167–179
- [6] Cardin J A, Carlen M, Meletis K, *et al.* Driving fast-spiking cells induces gamma rhythm and controls sensory responses. *Nature*, 2009, **459**(7247): 663–667
- [7] Bartos M, Vida I, Frotscher M, *et al.* Fast synaptic inhibition promotes synchronized gamma oscillations in hippocampal interneuron networks. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, **99** (20): 13222–13227
- [8] Wang X J, Buzsaki G. Gamma oscillation by synaptic inhibition in a hippocampal interneuronal network model. *J Neurosci*, 1996, **16**(20): 6402–6413
- [9] Alger B E, Nicoll R A. GABA-mediated biphasic inhibitory responses in hippocampus. *Nature*, 1979, **281**(5729): 315–317
- [10] Gullledge A T, Stuart G J. Excitatory actions of GABA in the cortex. *Neuron*, 2003, **37**(2): 299–309
- [11] Bartos M, Vida I, Jonas P. Synaptic mechanisms of synchronized gamma oscillations in inhibitory interneuron networks. *Nat Rev Neurosci*, 2007, **8**(1): 45–56
- [12] Traub R D, Bibbig A, Fisahn A, *et al.* A model of gamma-frequency network oscillations induced in the rat CA3 region by carbachol *in vitro*. *Eur J Neurosci*, 2000, **12**(11): 4093–4106
- [13] Traub R D, Whittington M A, Buhl E H, *et al.* A possible role for gap junctions in generation of very fast EEG oscillations preceding the onset of, and perhaps initiating, seizures. *Epilepsia*, 2001, **42**(2): 153–170
- [14] Sheer D E. Focused arousal and the cognitive 40-Hz event-related potentials: differential diagnosis of Alzheimer's disease. *Prog Clin Biol Res*, 1989, **317**: 79–94
- [15] Calvin W H, Sypert G W. Fast and slow pyramidal tract neurons: an intracellular analysis of their contrasting repetitive firing properties in the cat. *J Neurophysiol*, 1976, **39**(2): 420–434
- [16] Steriade M, Contreras D, Amzica F, *et al.* Synchronization of fast (30 ~ 40 Hz) spontaneous oscillations in intrathalamic and thalamocortical networks. *J Neurosci*, 1996, **16**(8): 2788–2808
- [17] Bragin A, Jando G, Nadasdy Z, *et al.* Gamma (40 ~ 100 Hz) oscillation in the hippocampus of the behaving rat. *J Neurosci*, 1995, **15**(1 Pt 1): 47–60
- [18] Traub R D, Jefferys J G, Whittington M A. Simulation of gamma rhythms in networks of interneurons and pyramidal cells. *J Comput Neurosci*, 1997, **4**(2): 141–150
- [19] Wespapat V, Tennigkeit F, Singer W. Phase sensitivity of synaptic modifications in oscillating cells of rat visual cortex. *J Neurosci*, 2004, **24**(41): 9067–9075
- [20] Paik S B, Kumar T, Glaser D A. Spontaneous local gamma oscillation selectively enhances neural network responsiveness. *PLoS Comput Biol*, 2009, **5**(3): e1000342
- [21] Gray C M, König P, Engel A K, *et al.* Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*, 1989, **338**(6213): 334–337
- [22] Murthy V N, Fetz E E. Coherent 25- to 35-Hz oscillations in the sensorimotor cortex of awake behaving monkeys. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1992, **89**(12): 5670–5674
- [23] Tallon-Baudry C, Bertrand O, Peronnet F, *et al.* Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *J Neurosci*, 1998, **18**(11): 4244–4254
- [24] Gruber T, Müller M M. Effects of picture repetition on induced gamma band responses, evoked potentials, and phase synchrony in the human EEG. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2002, **13**(3): 377–392
- [25] Galambos R, Makeig S, Talmachoff P J. A 40-Hz auditory potential recorded from the human scalp. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1981, **78**(4): 2643–2647
- [26] Babiloni C, Babiloni F, Carducci F, *et al.* Human brain oscillatory activity phase-locked to painful electrical stimulations: a multi-channel EEG study. *Hum Brain Mapp*, 2002, **15**(2): 112–123
- [27] Kreiter A K, Singer W. Stimulus-dependent synchronization of neuronal responses in the visual cortex of the awake macaque monkey. *J Neurosci*, 1996, **16**(7): 2381–2396
- [28] Kaiser J, Buhler M, Lutzenberger W. Magnetoencephalographic gamma-band responses to illusory triangles in humans. *Neuroimage*, 2004, **23**(2): 551–560
- [29] Gross J, Schnitzler A, Timmermann L, *et al.* Gamma oscillations in human primary somatosensory cortex reflect pain perception. *PLoS Biol*, 2007, **5**(5): e133
- [30] Yuval-Greenberg S, Deouell L Y. What you see is not (always) what you hear: induced gamma band responses reflect cross-modal interactions in familiar object recognition. *J Neurosci*, 2007, **27**(5): 1090–1096
- [31] Gruber T, Müller M M, Keil A, *et al.* Selective visual-spatial attention alters induced gamma band responses in the human EEG. *Clin Neurophysiol*, 1999, **110**(12): 2074–2085
- [32] Hauck M, Lorenz J, Engel A K. Attention to painful stimulation enhances gamma-band activity and synchronization in human sensorimotor cortex. *J Neurosci*, 2007, **27**(35): 9270–9277
- [33] Chalk M, Herrero J L, Gieselmann M A, *et al.* Attention reduces stimulus-driven gamma frequency oscillations and spike field coherence in V1. *Neuron*, 2010, **66**(1): 114–125
- [34] Tallon-Baudry C, Bertrand O, Henaff M A, *et al.* Attention modulates gamma-band oscillations differently in the human lateral occipital cortex and fusiform gyrus. *Cereb Cortex*, 2005, **15** (5): 654–662
- [35] Fiebach C J, Gruber T, Supp G G. Neuronal mechanisms of repetition priming in occipitotemporal cortex: spatiotemporal evidence from functional magnetic resonance imaging and electroencephalography. *J Neurosci*, 2005, **25**(13): 3414–3422
- [36] Fell J, Klaver P, Lehnertz K, *et al.* Human memory formation is accompanied by rhinal-hippocampal coupling and decoupling. *Nat Neurosci*, 2001, **4**(12): 1259–1264
- [37] Sederberg P B, Schulze-Bonhage A, Madsen J R, *et al.* Hippocampal and neocortical gamma oscillations predict memory formation in humans. *Cereb Cortex*, 2007, **17**(5): 1190–1196

- [38] Kaiser J, Ripper B, Birbaumer N, *et al.* Dynamics of gamma-band activity in human magnetoencephalogram during auditory pattern working memory. *Neuroimage*, 2003, **20**(2): 816-827
- [39] Stam C J, van CwWAM, Pijnenburg Y A, *et al.* Generalized synchronization of MEG recordings in Alzheimer's Disease: evidence for involvement of the gamma band. *J Clin Neurophysiol*, 2002, **19**(6): 562-574
- [40] Lee K H, Williams L M, Haig A, *et al.* "Gamma (40 Hz) phase synchronicity" and symptom dimensions in schizophrenia. *Cogn Neuropsychiatry*, 2003, **8**(1): 57-71

The Gamma Frequency Band Neural Oscillation: Generation Mechanisms and Functions*

WANG Jing¹⁾, LI Xiao-Li²⁾, XING Guo-Gang¹⁾, WAN You^{1)**}

¹⁾ *Neuroscience Research Institute and Department of Neurobiology, Peking University, Beijing 100191, China;*

²⁾ *Institute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)*

Abstract Gamma band oscillation ranges from 30 to 100 Hz. It can be recorded in many brain areas such as somatosensory cortex, hippocampus and thalamus. The gamma band oscillation can be detected at different levels such as microscopic (spikes), mesoscopic (local field potentials, LFP) and macroscopic (electroencephalogram, EEG) level. GABAergic inhibitory interneuron network is considered as the main source of the gamma oscillation generation, and the cortical gamma oscillation is also related with the interaction of thalamo-cortical system. Gamma band oscillation is associated with sensory and cognition functions, in particular the feature binding, selective attention and memory processing.

Key words gamma band oscillation, inhibitory interneuron network, feature binding, memory

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2010.00413

*This work was supported by grants from National Basic Research Program of China(2007CB512501), Beijing Outstanding Ph.D. Program Mentor Grant and Program of Innovation Research Team of MOE China (BMU20100014).

**Corresponding author.

Tel/Fax: 86-10-82805185, E-mail: ywan@hsc.pku.edu.cn

Received: December 1, 2010 Accepted: December 31, 2010