

神经元之间的相位同步和能量平衡

谢盈¹, 姚昭¹, 马军^{1,2}

¹兰州理工大学物理系, 中国兰州市, 730050

²重庆邮电大学理学院, 中国重庆市, 430065

摘要: 在一类简单的神经元电路不同支路嵌入光电管和热敏电阻来设计一种功能性神经元。通过光电管的光电流和流经热敏电阻的通道电流可以控制神经元电路的场能量。神经元的放电模态同时依赖于外界光照和温度。在不同的光照和温度刺激下, 两个功能神经元存在能量差。因此, 在场能量传递和交换过程中神经元之间开始建立突触连接并相互耦合。我们提出两种规则来讨论神经元之间突触耦合增强问题, 神经元之间的能量差控制着神经元之间突触耦合强度的增长和突触电流变化, 且神经元之间的同步有利于维持神经元之间的能量平衡。第一类规则类似于饱和增益法, 即神经元在达到完全同步之前其突触耦合强度以恒定的增益周期性增长。第二类规则指出神经元突触耦合强度以恰当的增益呈现指数型增长, 直到神经元之间达到能量平衡。两个不同的神经元在突触耦合增强的过程中可以实现相位同步。两个完全相同的神经元即使在噪声环境下, 神经元耦合突触按照第二类规则增长强度依旧可以有效实现完全同步和能量平衡。此结果表明神经元突触更倾向于以指数型方式来增长其耦合强度。这些研究结果有助于揭示外界刺激如何唤醒和激活神经元之间的突触连接, 进一步理解突触耦合电流时变的特性。潜在的生物物理机制在于外界差异性的刺激打破了神经元之间的能量平衡, 因此突触耦合不断被增强来实现神经元之间能量动态平衡。这些研究结果为设计和训练智能神经元电路提供了思路, 即通过设置梯度性能量分布来调控耦合通道。

关键词: 哈密顿能量; 耦合同步; 突触增强; 神经元电路

<https://doi.org/10.1631/FITEE.2100563>