

$$|G| = \frac{|1 + \omega^2 \tau_o^2|}{n|1 + \omega^2 \tau_e^2|} E_R,$$

且 $\delta = \delta_1 - \delta_2$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg}(\delta_1 - \delta_2) = \frac{\omega(\tau_o - \tau_e)}{1 + \omega^2 \tau_o \tau_e}.$$

得 $G = |G| e^{i\delta}$

若 n 个凯尔文体相并联则有

$$\begin{aligned} \frac{F}{n} + \frac{\tau_e \dot{F}}{n} &= E_R(u + \tau_o \dot{u}) \\ F + \tau_e \dot{F} &= n E_R(u + \tau_o \dot{u}) \end{aligned} \quad (21)$$

再以 $\dot{F} = i\omega F$ $\dot{u} = i\omega u$ 代入(21)式经整理得

$$\begin{aligned} F &= \frac{n(1 + i\omega \tau_o)}{1 + i\omega \tau_e} E_R u e^{i\omega t} \\ G(i\omega) &= \frac{n(1 + i\omega \tau_o)}{1 + i\omega \tau_e} E_R \end{aligned}$$

令

$$1 + i\omega \tau_o = |1 + \omega^2 \tau_o^2| e^{i\delta_1}$$

则

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \omega \tau_o$$

$$1 + i\omega \tau_e = |1 + \omega^2 \tau_e^2| e^{i\delta_2} \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \omega \tau_e$$

$$|G| = \frac{n|1 + \omega^2 \tau_o^2|}{|1 + \omega^2 \tau_e^2|} E_R,$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg}(\delta_1 - \delta_2) = \frac{\omega(\tau_o - \tau_e)}{1 + \omega^2 \tau_o \tau_e}$$

而

$$G = |G| e^{i\delta}.$$

参 考 文 献

- [1] Fung, yuan-cheng, *Biomechanics*, 1981, Springer-Verlag, New York Inc.

[本文于 1983 年 4 月 16 日收到]

研究工作简报

纹状皮质细胞的数学模型

曹 扬

(蚌埠医学院, 安徽蚌埠)

有关视觉信息在神经系统, 特别是视皮质(纹状皮质)中处理机制的研究, 无论对脑功能研究或工程学应用均有较大意义。然而, 各研究者对视皮质以及外侧膝状核(LGN)中神经元之间功能联系的认识有很大争议^[1-13]。近年的神经生理学进展提供了较详细的视网膜、LGN 以及纹状皮质神经元连接结构和生理功能的资料, 建立相应的连接模型已有可能^[1-4]。

纹状皮质中具有方位特异性的神经元有简单(S)细胞和复杂(CX)细胞等, 两者的区别在于: 特定方位的线段使细胞发生放电反应的视觉感受野大小不同^[5]。来自 LGN 的纹状皮质传入对这两种细胞均有单突触兴奋性联系^[6-8], S 细胞通过抑制性单突触对 CX 细胞产生抑制^[4,7,9]。Nagano 和 Kurata 根据这一概念建立

了数学模型, 认为相同方位特异性的 S 细胞对 CX 细胞没有抑制性输入, S 细胞与 CX 细胞的感受野差异是由于两者的 LGN 输入数量不同^[4]。这一观点修正了以往分级处理信息的概念^[1-2]。然而, 他们的模型未解释 S 细胞方位特异性的产生, 本文试图以此模型为基础, 描述 S 细胞方位特异性的产生机制及其与 CX 细胞输入的关系。

一、基本设想和生理学证据

我们假定, 一个纹状皮质细胞的方位特异性必须由两个或更多的无方位特异性细胞输入决定, 符合数学上两点定一条直线的原理。LGN 神经元无方位特异性^[1-3,10]。解剖学发现。LGN 神经元轴突末梢在纹状皮质中有分叉, 重叠地

支配 IV 层的细胞^[11]。研究 IV 层中 S 细胞对视网膜光刺激的放电反应时,发现 S 细胞的感受野大小超过两个 LGN 感受野中心(如给光型中心或撤光型中心)的距离,即每个 S 细胞接受两组 LGN 输入^[6]。每组 LGN 神经元的数量总在 1 个以上^[6],因此,有理由认为,纹状皮质中具方位特异性的细胞至少接受二个 LGN 神经元的输入。

CX 细胞的感受野大于 S 细胞,是因为 CX 细胞接受的兴奋性 LGN 输入比 S 细胞多^[2-4]。CX 细胞的方位特异性由抑制性输入所产生,将抑制性递质拮抗剂电泳注射至纹状皮质可解除这种抑制性输入的作用,使 CX 细胞的方位特异性消失^[12]。与 CX 细胞方位特异性相同的 S 细胞没有这种抑制性输入^[4]。

二、数学模型

神经元处理信息的基本方式之一是对不同输入来源的阈下突触后电位进行迭加,产生动作电位输出,即空间总和作用。在这种情况下,单个输入往往不能使神经元产生输出。假设一个 S 细胞必须在同时具有两个输入通道的信号时方有输出。作为 S 细胞输入的 LGN 神经元与视网膜节细胞成明显的一对一关系,起着中继站的作用^[13],两个 LGN 神经元兴奋相当于视网膜的两个点同时受到刺激。因此,一个 S 细胞仅对刺激这两个点的线段的视网膜影象起反应。

令 S_{ij} 为 S 细胞的输出, φ_i 和 φ_j 分别为两个 LGN 神经元对 S 细胞的输入,给出

$$S_{ij} = k_{ij} \cdot \varphi_i \cdot \varphi_j, (i \neq j) \quad (1)$$

式中 k_{ij} 为常数,并且

$$\begin{aligned} S_{ij} &= k_{ij} (\varphi_i = \varphi_j = 1) \\ S_{ij} &= 0, (\varphi_i \text{ 或 } \varphi_j = 0) \end{aligned} \quad (2)$$

设线段刺激视网膜的两个点在视网膜上分别位于 $i(x, y)$, $j(x', y')$, 应用向量代数方法^[14], 此线段可以表示成向量

$$A = j - i, \quad (3)$$

并且,与水平方位的夹角

$$\alpha = \tan^{-1}[(y' - y)/(x' - x)] \quad (4)$$

我们称之为 S 细胞的方位角。

如果 S 细胞至 CX 细胞的突触量 (synaptic weight) 为 W_{ij} , 对方位角 θ 有特异反应的 CX 细胞,给出

$$\begin{aligned} W_{ij} &= 1, (\theta \neq \alpha) \\ W_{ij} &= 0, (\theta = \alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

在 CX 细胞的感受野范围内,对于任何与 CX 细胞方位角 θ 相同的 S 细胞, W_{ij} 均为零即无输入(式(5)),各细胞的方位角也相同。可以证明,兴奋具有相同方位角的 S 细胞的线段向量是平行的,因此是线性相关的^[14]。

这样, S 细胞对 CX 细胞的抑制性输入可表示为

$$\begin{aligned} C_s &= - \sum_{\substack{i,j \\ (i \neq j)}}^n W_{ij} S_{ij} \\ &= - \sum_{\substack{i,j \\ (i \neq j)}}^n W_{ij} k_{ij} \varphi_i \varphi_j \end{aligned} \quad (6)$$

因为接受 LGN 输入的 CX 细胞与这些 LGN 细胞的感受野一致,知道了 CX 细胞的感受野,就能确定 LGN 细胞的数量,令 LGN 细胞数量为 N ,对 CX 细胞的兴奋性输入为

$$C_\varphi = \sum_n^N \varphi_k \quad (7)$$

这样, CX 细胞的输入总和即为

$$\begin{aligned} C &= C_\varphi + C_s \\ &= \sum_n^N \varphi_k - \sum_{\substack{i,j \\ (i \neq j)}}^n W_{ij} k_{ij} \varphi_i \varphi_j \end{aligned} \quad (8)$$

CX 细胞的输出 E 是其总输入的函数,如果表示成

$$E = KC. \quad (9)$$

式中 K 为常数 ($K > 0$), 显然 C 必须大于零, CX 细胞才有输出,即

$$\begin{aligned} E &= KC, (C > 0) \\ E &= 0, (C \leq 0) \end{aligned} \quad (10)$$

由此,对一个方位角为 θ 的线段输入刺激,从式(8)我们有

$$E_\theta = K_\theta C_\theta = \sum_k^N \varphi_k > 0, \quad (11)$$

如果线段刺激的方位角为 α ($\alpha \neq \theta$),

$$E_{\alpha} = 0 \quad (12)$$

对一定感受野范围的 CX 细胞, 发生反应仅在线段的视网膜影象方位角与此 CX 细胞的本征方位角相同时。

三、数学模型的应用意义讨论

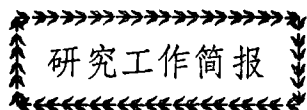
建立的数学模型概念除了能用于分析视觉脑的信息处理机制, 在图象识别的模拟研究中也有一定价值。人们早就认识到神经网络信息处理的“平行过程”不同于计算机的“顺序过程”, 并进行过电子学模拟^[15]。模拟装置中的神经单元能够再现真实神经元的某些生理特性, 如感受野大小和方位特异性等。从神经元的功能联系来看, 模拟装置却有很大区别。神经元对输入信息处理产生的输出不仅仅是导致新的生理特性出现, 更重要的, 是通过突触作用于下级神经元。对于每个神经元, 其下级神经元往往不止一个。如前所分析的, S 细胞与相同感受野内所有不同方位角的 CX 细胞都有抑制性输入。许多不同方位角的 CX 细胞对某线段不发生反应只是由于一个 S 细胞抑制的结果。这

样使用少数元件完成多种功能的高利用率反映了生物体结构功能的普遍现象。因此, 根据这一思想设计图象识别的模拟装置, 对于分析复杂影象无疑是有帮助的。

参 考 文 献

- [1] Hubel, D. H.: *J. Physiol.*, **160**, 106, 1962.
- [2] Hubel, D. H. et al.: *J. Neurophysiol.*, **28**, 229, 1965.
- [3] Schiller, P. H. et al.: *J. Neurophysiol.*, **39**, 1288, 1976.
- [4] Nagano, T. et al.: *Biol. Cybern.*, **38**, 103, 1980.
- [5] Henry, G. H.: *Brain Res.*, **113**, 1, 1977.
- [6] Bullier, J. et al.: *J. Neurophysiol.*, **47**, 417, 1982.
- [7] Toyama, K. et al.: *J. Neurophysiol.*, **46**, 191, 1981.
- [8] Toyama, K. et al.: *J. Neurophysiol.*, **46**, 202, 1981.
- [9] Singer, W. et al.: *Neurophysiol.*, **38**, 1080, 1975.
- [10] Wiesel, T. N. et al.: *J. Neurophysiol.*, **29**, 1115, 1966.
- [11] Ferster, D. et al.: *J. Comp. Neurol.*, **182**, 923, 1978.
- [12] Sillito, A. M.: *J. Physiol.*, **250**, 305, 1975.
- [13] Cleland, G. et al.: *J. Physiol.*, **255**, 299, 1976.
- [14] Springer, G.: *Calculus*, (2nd Edition) Vol. 1, by J. Wiley et al., 445, 1967.
- [15] Muller, F. J. et al.: *Pattern Recognition*, **8**, 47, 1976.

[本文于 1983 年 3 月 25 日收到]



研究工作简报

人、鼠、兔 β -珠蛋白基因的信息分析

王 玲 华

(第二军医大学生物教研室, 上海)

信息熵的计算是分析 DNA 分子结构和进化规律的有效方法之一。人们通过计算二联碱基水平的熵的偏离 D_2 , 揭示了 DNA 分子进化的方式, 同时表明, D_2 可作为进化指标。随着基因的核苷酸序列的不断确定, 有可能进一步分析 DNA 的信息特性。本文就从三联碱基水平计算人、鼠、兔 β -珠蛋白基因的各项熵值, 并就这些结果在 DNA 的结构和进化特性上作些

探讨。

一、材料和方法

我们用的材料是人、兔 β -珠蛋白基因和鼠 β^{maj} ——珠蛋白基因, 它们的核苷酸序列已完全确定^[1,2,3]。

计算方法

(1) 碱基实际出现概率的计算 取 DNA