

微管的聚合和解聚等等复杂的过程。我们对这一过程的认识还仅仅是开始,但它却为控制癌变,认识癌变展现出新的前景。

### 参 考 文 献

[1] Whitfield, J. F.: *In Vitro*, 12: 1, 1976.  
[2] Means, A. R. et al.: *Nature*, 285, 73, 1980.  
[3] Chafouleas, J. G. et al.: *Cell*, 28: 41, 1982.  
[4] Bradbury, E. M. et al.: *Nature*, 247: 256, 1974.  
[5] Higashins, H. et al.: *J. Biochem.*, 75, 189, 1974.  
[6] Coffey, R. G. et al.: *Advances in cyclic nucleotide research* (Georg, W. J. and Ignarro, L. T. eds.), Vol. 9, Raven Press, New York. p. 661, 1978.

[7] MacManus, J. P. et al., *ibid.*, p. 485, 1978.  
[8] Cho-Chung, Y. S.: *Influences of hormones in tumor development* (Kellen, J. A. and Hilf, R. eds.), Raven Press INC., Boca Raton. p. 55, 1979.  
[9] Gennari, C. et al.: *Clin. Pathol. (Lond)*, 31, 735, 1978.  
[10] Chawla, R. K. et al.: *Cancer Res.*, 40: 3915, 1980.  
[11] Miller, J. A.: *ibid.*, 30: 559, 1970.  
[12] Chafouleas, J. G.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 78, 996, 1981.  
[13] Laporte, D. C. et al.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 86, 1169, 1979.

[本文于1983年3月16日收到]

## 视觉空间分辨和 X 细胞与 Y 细胞

寿 天 德

(中国科学技术大学生物系,合肥)

感受野 (receptive field) 是视觉空间分辨的形态和功能基础。近半个世纪来,神经生理学家们在各类动物视系统的各级水平上,就感受野的研究做了大量的工作。但在相当长时期内,这些工作仅停留在静态和线性的范围内,自从1966年 Enroth-Cugell 和 Robson 首次提出视网膜神经节细胞 X/Y 分类(即线性/非线性分类)以来,此种局面为之改观。十几年来,视系统 X 和 Y 细胞的研究,由视网膜发展到脑的各级水平。由电生理学研究扩展到组织学、神经药理学等各领域,已成为视觉研究中一个相对独立的研究方向。本文就近十几年来 X 和 Y 细胞研究中的几个重要方面,作一概述。材料以视网膜神经节细胞为主,旁及外膝体和视皮层。

### 一、X/Y 细胞功能分类

视系统任何水平的单细胞活动,若为一定空间和时间构型的光刺激视网膜的某区域而调制时,这个区域即称为该细胞的感受野。Kuffler (1953)的工作表明,猫视网膜神经节细胞的感受

野大致由一个中心区 (centre) 和一个与中心区作用相拮抗的周边区 (surround) 所形成。光刺激不同细胞的感受野中心区时,有些细胞呈发放反应,另一些细胞的自发发放则受到抑制,直至撤光后才产生发放。这两类细胞分别被称为给-中心 (on-centre) 和撤-中心 (off-centre) 的细胞关于这种拮抗的同心圆式感受野的数学模型,首先由 Rodieck 于1965年提出,它是由图1(a)所示的一个兴奋作用强的中心和一个作用较弱但面积更大的抑制性周边相加的结果。这两个有相互拮抗作用的空间分布均呈高斯分布。Rodieck 模型与相当一部分实验结果符合得很好。

1966年,Enroth-Cugell 和 Robson 用空间亮度分布为正弦函数的光栅刺激,观察到猫视网膜神经节细胞可以按其反应的空间总和性质划分为两类:一类细胞反应的空间总和性质大体是符合 Rodieck 模型的,即它们感受野的兴奋和抑制作用是可以线性相加的,称之为 X 细胞;另一类细胞空间总和性质是非线性的, Rodieck 模型对其不适用,称为 Y 细胞。图2表

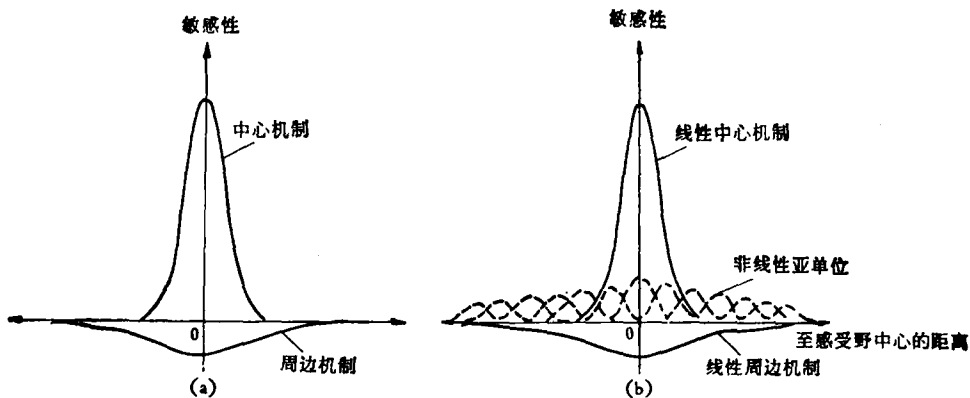


图 1 关于视网膜神经节细胞感受野空间总和性质的两个模型

(a) Rodieck 的线性模型 (1965); (b) Hochstein 和 Shapley 的非线性模型 (1976)。

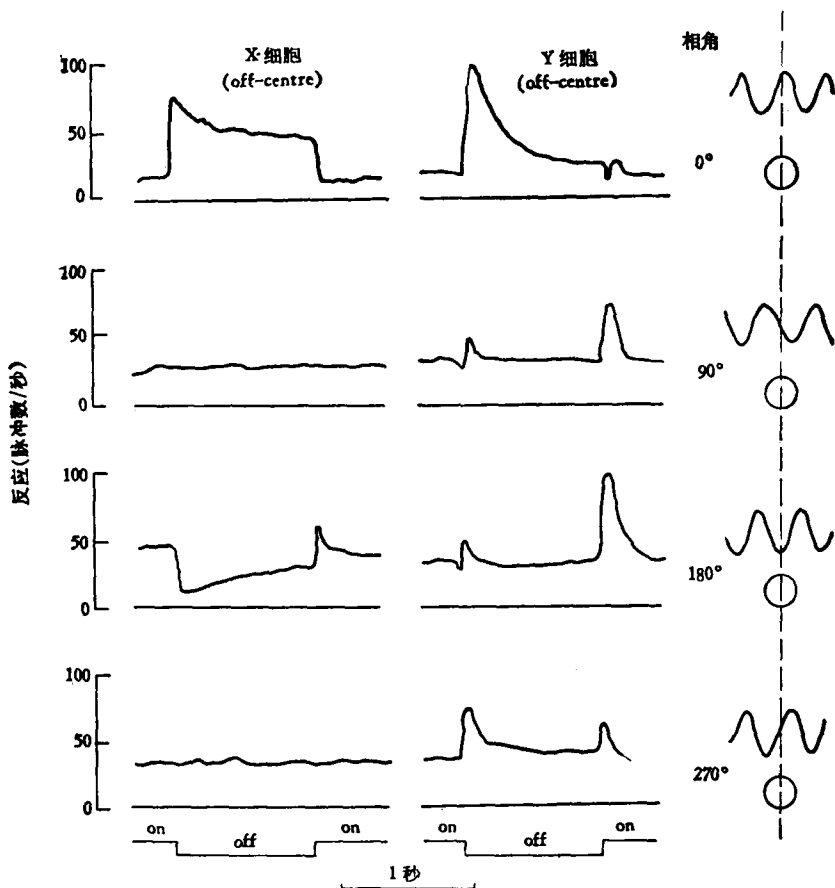


图 2 X 细胞与 Y 细胞对位置固定的正弦光栅出现和消失的反应

图右侧所列数字和图表示正弦光栅与细胞感受野中心之间的空间相位关系,用相位角(度)表示。

虚线表示感受野中心的位置。此两细胞均属 off-中心细胞。

示 X 和 Y 细胞对正弦光栅出现和消失具有不同的反应: X 细胞明显呈长时间的持续反应,虽然对给-光栅和撤-光栅也有短暂的反应。当正

弦光栅在空间上处于相对于感受野中心是奇对称位置(即相位角在  $90^\circ$  和  $270^\circ$ ) 时,感受野所受的光照等于平均光强, X 细胞没有反应即对

X 细胞总存在一个“零位置”(null position)。Y 细胞则表现为对光栅图形的出现与消失产生强烈的瞬时性反应。Y 细胞不存在“零位置”，这是 X 与 Y 细胞的重要区别之一。

Enroth-Cugell 和 Robson 在 X 细胞上定量地测定的对比敏感度函数 (contrast sensitivity function) 可以满意地描述为两个高斯分布函数之差,即

$$S(\nu) = K_c \pi r_c^2 \exp[-(\pi r_c \nu)^2] - K_s \pi r_s^2 \exp[-(\pi r_s \nu)^2] \quad (1)$$

其中:  $S(\nu)$  为空间频率为  $\nu$  时 X 细胞的对比敏感度函数;  $K_c$  为感受野中心区的峰敏感度;  $K_s$  为周边区的峰敏感度;  $r_c$  为感受野中心区的特征半径,在  $r_c$  处中心敏感度等于  $K_c/e$ ;  $r_s$  为周边区的特征半径,在  $r_s$  处周边敏感度等于  $K_s/e$ 。

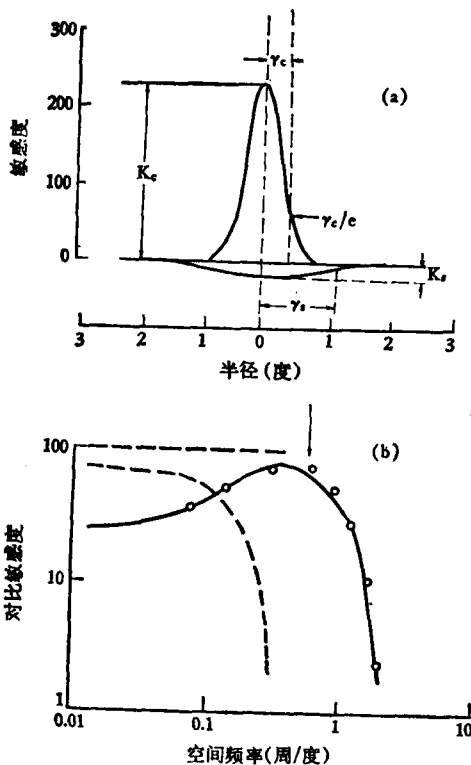


图 3 Enroth-Cugell 和 Robson (1966) 对 Rodieck 模型的验证

(a) 图示方程(1)有关参数的意义; (b) 一个给光中心的 X 细胞的对比敏感度函数。

图 3(a) 表示方程 (1) 中参数  $K_c$ 、 $K_s$ 、 $r_c$  和  $r_s$  在 Rodieck 模型中的意义。图 3(b) 中的

圆圈代表实验测得的 X 细胞对不同空间频率光栅刺激的反应敏感度; 实线表示计算机按方程 (1) 选择最优参数后所得到的拟合曲线; 上下两虚线分别表示中心和周边机制反应的成分, 也就是方程 (1) 的第一项和第二项。实线与实验测量符合得很好, 说明 X 细胞的空间性质可以用 Rodieck 模型定量地描述。因为中心区比与其相拮抗的周边区小得多, 所以前者产生的对比敏感度在高空间频率刺激时产生骤然下降要比后者的迟一个对数单位。根据这差别, 实验时很容易用适当的高频正弦光栅 (如图 3(b) 箭头所示) 把 X 细胞的中心机制分离出来。

X/Y 细胞 (线性/非线性) 分类后为越来越多的实验事实所充实。大量的研究工作表明, X 细胞比 Y 细胞具有更为精细的空间分辨率, 更慢的轴突传导速度, 更多地分布于视网膜的中央区, 对慢运动刺激更为敏感等, 它们的区别是系统性的。它们主要区别详见表 1。

## 二、X/Y 细胞功能分类的形态学基础和药理学证据

Enroth-Cugell 和 Robson X/Y 分类的提出, 是继 Kuffler 的 on/off 分类之后的一个跃进, 因为这种功能分类是建立在更加精确地对细胞空间总和性质的定量分析基础上的, 并证明这种 X/Y 功能分类是普遍适合于视系统内的视网膜节细胞以上各级水平的细胞的 (详见后述)。许多工作表明, X/Y 功能分类同形态学细胞分类有很好的对应性。Cleland 和 Levick 等人用电生理结合染色定位方法, 证明视网膜功能类型 Y 细胞与形态类型  $\alpha$  细胞具有对应关系, 而且视网膜任何部位的  $\alpha$  细胞树突分布野 (dendritic field) 与 Y 细胞感受野中心大小相仿。他们还观察到 X 细胞的感受野中心最小, 与 Boycott 和 Wässle (1974) 报道的树突分布野直径最小的形态类型  $\beta$  细胞相对应。Kelly 和 Gilbert (1975) 用辣根过氧化物酶 (HRP) 注入背侧外膝体 (LGNd) 的 A 和 A<sub>1</sub> 层 (该层为 X 和 Y 细胞所投射), 观察到逆行标记到的只是大的和中等大小的视网膜节细胞, 而没有任何

表1 猫视网膜X细胞和Y细胞主要区别

|                                   | X细胞                        | Y细胞               | 数据、材料来源                                                                                                                                                |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 从视束记录到的细胞百分比                      | 20%                        | 80%               | Enroth-Cugell 和 Robson (1966)<br>从 128 个细胞统计                                                                                                           |
| 从视网膜记录到的<br>细胞百分比                 | 55%                        | 25%               | Cleland 和 Levick (1974a,b)<br>从 920 个细胞统计                                                                                                              |
| 在视网膜神经节细胞所占%<br>的最佳估计             | 约45%                       | 约4—7%             | Wässle, et al. (1975)<br>Stone (1978)<br>Fukuda 和 Stone (1975)                                                                                         |
| 在视网膜上分布的集中性                       | 在中心区<br>(Area Centralis) 强 | 在中心区弱             | Cleland 和 Levick (1974b)<br>Cleland et al. (1973)<br>Fukuda 和 Stone (1974)<br>Wässle et al. (1975)                                                     |
| 对视束刺激的反应潜伏期                       | 2.5—5.9ms                  | 1.0—2.4 ms        | Cleland et al. (1971)<br>Cleland 和 Levick (1974a,b)<br>Kirk et al.(1975)<br>Rowe 和 Stone (1976a,b)<br>Stone 和 Fukuda (1974a)<br>Stone 和 Hoffman (1972) |
| 感受野中心直径                           | 0.1—1.3°                   | 0.6—2.5°          | Stone 和 Fukuda (1974a)<br>Cleland 和 Levick (1974a,b)                                                                                                   |
| 细胞体直径 (在水平方向<br>偏心度为 20° 处)       | 14—24 $\mu\text{m}$        | 约30 $\mu\text{m}$ | Kelly 和 Gilbert (1975)<br>Boycott 和 Wässle (1974)<br>Cleland et al. (1975a)<br>Stone 和 Fukuda (1974a,b)                                                |
| 形态学形状类型                           | $\beta$ 型                  | $\alpha$ 型        | Cleland 和 Levick (1974a, 1975, 1979a)<br>Boycott 和 Wässle (1974)<br>Kelly 和 Gilbert (1975)                                                             |
| “移动效应”<br>Shift (McIlwain) effect | 弱                          | 强                 | Barlow, et al. (1977)<br>Ikeda, et al. (1972)<br>Cleland, et al. (1971)<br>Fisher, et al. (1975)<br>Winters, et al. (1976)                             |
| 对比度可逆光栅刺激试验                       | 有零位置<br>(null position)    | 无零位置              | Enroth-Cugell 和 Robson (1966)<br>Hochstein 和 Shapley (1976a)                                                                                           |
| 对运动光栅的反应                          | 与光栅的频率相同                   | 两倍于光栅频率           | Enroth-Cugell 和 Robson (1966)                                                                                                                          |
| 对固定对比度光栅的反应                       | 持续性放电                      | 瞬时性放电             | Cleland et al. (1971)<br>Cleland 和 Levick (1974a,b)<br>Stone 和 Fukuda (1974a)                                                                          |
| 空间总和性质                            | 线 性                        | 非 线 性             | Enroth-Cugell 和 Robson (1966)<br>Hochstein 和 Shapley (1976a,b)                                                                                         |

最小的细胞被标记上。这些都有力地说明 $\beta$ 类细胞是对应X细胞的。

不仅以上的形态学研究,而且药理学研究也表明X和Y细胞感受野性质很清楚地依赖于不同的神经递质。Kirby 和 Enroth-Cugell (1976)由猫静脉分别注射 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)的拮抗剂荷包牡丹碱(bicuculline)和木防己苦毒素(picotoxin),观察到它们都是使得视网膜节Y细胞感受野中心和周边机制的反应有所下降,但周边机制反应下降更多,故净结果便是明显地朝着有利于中心机制方向变动;与此相反,GABA拮抗剂对X细胞感受野组织毫无影响。他们静脉注射甘氨酸的拮抗剂马钱子碱,对Y细胞的空间反应性质没有影响,但对X细胞的作用大体相似于GABA拮抗剂对于Y细胞的作用。这些实验确定了X/Y分类在神经药理学上的明显区别,为这一新功能分类提供了有力支持。

### 三、对Y细胞非线性功能的分析

X/Y细胞分类提出之后,Y细胞的非线性反应性质,即为许多研究者所瞩目,但是对它的严格的定量分析较晚。1976年,Hochstein 和 Shapley 以对比度可逆、相位交变的正弦光栅(contrast reversal, phase alternating sine grating)为刺激,应用计算机对Y细胞的非线性性质进行傅里叶(Fourier)分析,发现Y细胞反应除其基频反应成分外,对二次谐频成分也有相当贡献。他们首次提出了Y细胞非线性空间总和性质可能是由于其自身感受野内的许多非线性整流亚单位(nonlinear rectifying subunits)所决定的假说。这个假说如图1(b)所示,其中虚线部分表示了Y细胞非线性整流亚单位的贡献。新近,Enroth-Cugell 等人(1980)的实验支持了这个假说。

图4为一个Y细胞对上述正弦光栅反应的对比敏感度曲线。由图可见,Y细胞的二次谐频成分的高频截止频率要比基频成分高,这表明二次谐频反应来源乃是一种空间上比感受野中心更为细小的非线性亚单位,而Y细胞基频

反应已为实验证明以某种方式同该细胞感受野中心机制有关。Hochstein 和 Shapley 还进一步证明,非线性亚单位的空间分布是从Y细胞感受野中心一直延伸到周边区,或甚至更大些。

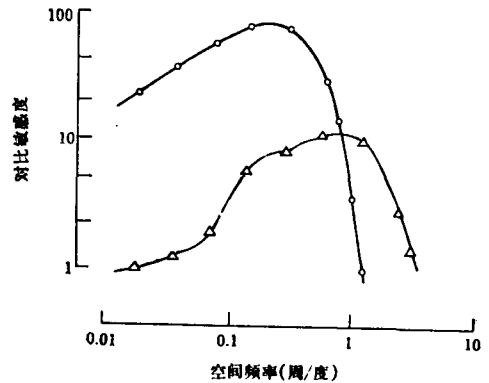


图4 Y细胞的基频反应(○)和二次谐频反应(△)成分的对比敏感度函数

Y细胞非线性亚单位假说也得到了神经药理学实验的支持。Frishman 和 Linsenmeier (1981)将神经递质的研究扩展到Y细胞非线性机制方面。他们研究了Y细胞在明视条件下的三类非线性反应:(1)Y细胞非线性亚单位反应(二次谐频反应);(2)“移动效应”(“The shift effect”, Kruger 和 Fisher, 1973),即当一个光学图形在远离感受野的视网膜区域掠过时,细胞产生的反应;(3)在视网膜外围运动的图形所产生的一种对感受野中心区反应的压抑作用(Werblin, 1972; Enroth-Cugell 和 Jakiela, 1980)。他们测定了木防己苦毒素和马钱子碱对上述三类非线性反应的影响:木防己苦毒素对这三类非线性反应的作用都是使它们削弱,马钱子碱的作用则是使其非线性亚单位反应增强,而使中心机制的反应减弱。前者表明非线性亚单位的通路可能是一样的,后者表明Hochstein 和 Shapley 的非线性亚单位和Y细胞中心反应产生的机制是不同的。因为木防己苦毒素是GABA的拮抗剂,故可推测释放GABA的神经元可能存在于Y细胞的通路上;也许是某种不足细胞(Nakamura, McGuire 和 Sterling, 1978; 1980; Pourcho, 1980)。总之,对Y细胞非线性功能的认识虽仍较肤浅,却已成为吸引人们今后研究的一个重要方面了。

## 四、X 通道和 Y 通道研究

许多研究表明,高等动物(鸽、兔、猫、猴等)的X和Y细胞传递视信息的通道是彼此独立的。外膝体(LGN)细胞根据其对视刺激反应的特点,主要地也可以分类为X和Y型。一般LGN细胞只由一个或几个发放模式相同的神经节细胞(on-X,或on-Y或off-X,或off-Y型)接受输入,也即X型神经节细胞只传递信息给X型LGN神经元,Y型神经节细胞只传递给Y型LGN神经元(Cleland, Dubin 和 Levick, 1971)。

由于Y细胞的轴突传导速度比X细胞快得多,故可根据神经元对刺激视通路不同部位的反应潜伏期来跟踪X和Y通道。现已知道外膝体神经元的慢轴突终止于视皮层17区,快轴突既终止于17区也终止于18区。有些皮层细胞有间接的快传入纤维输入,可能是经由二级或多级皮层内突触实现的,这在18区视皮层尤为明显(Stone 和 Dreher, 1973)。视皮层的研究表明,复杂细胞的突触输入系来自外膝体的快纤维,简单细胞和超复杂细胞的输入则来自外膝体慢纤维(Hoffmann 和 Stone, 1971)。图5就是上述关于X和Y通道的示意图。

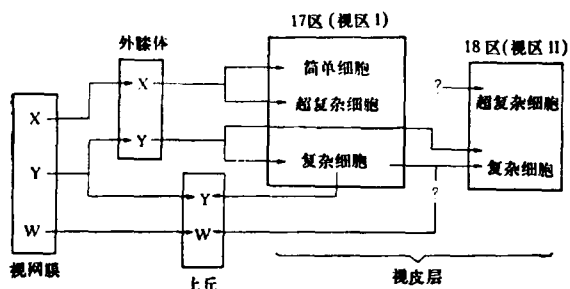


图5 猫视觉通路图

显示X、Y和W型视网膜神经节细胞分离投射路线。  
?表示推测性的通路

Wright 和 Ikeda 认为空间特征(如空间频率、方位和深度)信息是由X通道传递,而时间特征(如运动)可能是由Y通道传递。这种看法虽有失之于武断和简单之嫌,但至少反映了X和Y通道在功能上的显著差异。

## 五、空间—时间性质的综合研究

由于视系统对外界变化的信息无一不是表现为一定空间-时间模式的反应,故新近一些研究者已经开始对X细胞和Y细胞感受野的空间-时间总和性质进行综合研究。这种研究更接近实际,因而更有意义。如 Enroth-Cugell 小组最近选择了一种暂称为Q细胞的视网膜神经节细胞进行分析。这类细胞的空间总和性质非常类似X细胞,但轴突传导速度比后者慢,持续放电更为规则,感受野也更大,故类似 Cleland 和 Levick (1974) 所所谓的“迟钝细胞”(Schwartz-Tong 等, 1981)。

为测定Q细胞的空间-时间总和性质,作者们选择在几种不同时间频率的光栅刺激下,分别测定相应的空间对比反应曲线和细胞反应基

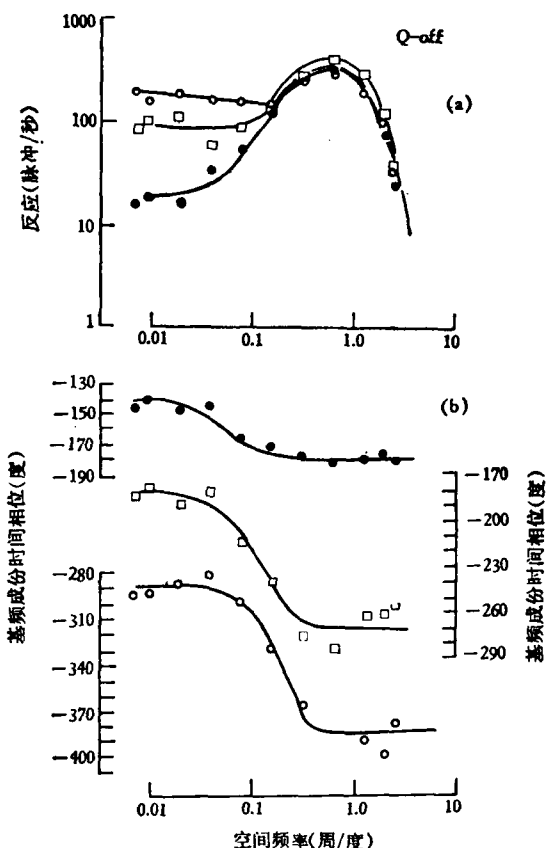


图6 一个Q细胞的空间-时间性质

(a) 在不同时间频率的光栅刺激下,得到的空间对比反应曲线;(b) 不同时间频率下,细胞基频反应成分时间相位与空间频率的关系。

● 2Hz □ 8Hz ○ 16Hz

表2 一个典型的Q细胞最优化模型参数

| 时 间 频 率      | 2     | 8     | 16    | 赫兹 (Hz)       |
|--------------|-------|-------|-------|---------------|
| 中心半径         | 0.20  | 0.19  | 0.19  | 度 (°)         |
| 周边半径         | 1.31  | 1.10  | 1.06  |               |
| 中心强度         | 350   | 460   | 376   | 脉冲/秒 (i.p.s.) |
| 周边强度         | 337   | 461   | 422   |               |
| 周边/中心强度比     | 0.96  | 1.0   | 1.12  |               |
| 中心相位迟滞       | 177.4 | 268.4 | 382.8 | 度 (°)         |
| 周边相位迟滞       | 179.1 | 279.5 | 406.5 |               |
| 周边与中心相位迟滞差   | 1.7   | 11.1  | 23.7  | 度 (°)         |
| 周边与中心相位迟滞时间差 | 2.1   | 3.9   | 4.1   | 毫秒 (ms)       |

频成分时间相位随空间频率变化曲线。详见图6。

图6(a)表明在空间频率的低端(0.01—0.1周/度),反应随时间频率的增高而上升;与此相应,图6(b)示中心和周边的基频成分时间相位之差也随时间频率增加而增大。由此可见,在综合研究空间-时间性质时,时间相位因素必须考虑在内。图6内的所有实线均为计算机根据作者们将空间和时间因素都考虑在内的改进了的最优化模型所描绘出来的曲线。很明显,理论曲线和实验数据吻合得很好。这个模型与方程(1)所描述的X细胞感受野模型不同之处,在于它不仅考虑了中心和周边反应的强度和半径,还考虑了它们的时间相位。表2列出该模型的六个参数在不同时间频率下的数值。这些数据表明,当时间频率增大时,Q细胞周边反应强度相对中心反应完全没有衰减,但基频反应的时间相位差却随时间频率增大而越来越大。这说明Q细胞空间对比反应曲线低频段形状随时间频率而变化不是由于该细胞中心和周边反应强度的相对变化,而是因为中心和周边反应间存在时间相位差的增大(Enroth-Cugell, 1980)。细胞反应的时间相位性质及其生理意义尚不清楚,这是值得今后探究的。

X/Y细胞功能分类的提出至今已有十八年,但在视系统各级水平上,详细阐明X和Y细胞的空间-时间性质在视感觉和视知觉中的根本作用,还有许多工作要做。如果说,随着电子

显微镜的广泛使用和细胞内染色定位技术的发展,已使人们从细胞水平上解决功能特征和细胞形态结构、突触关系成为可能的话,那么正弦光栅技术的应用就使得单细胞的微电极电生理研究同整体的心理物理实验研究结合起来,为解决视感觉和视知觉的关系,提供了有力武器。

## 参 考 文 献

- [1] Boycott, B. B. et al.: *Comp. Neurol.*, 148, 91, 1974.
- [2] Cleland, B. G. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 248, 151, 1975.
- [3] Cleland, B. G. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 240, 421, 1974.
- [4] Cleland, B. G. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 217, 473, 1971.
- [5] Enroth-Cugell, C. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 187, 517, 1966.
- [6] Enroth-Cugell, C. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 302, 49, 1980.
- [7] Enroth-Cugell, C. et al.: *American Optical Society Meeting*, Chicago, Oct. 13—17, 1980.
- [8] Frishman, L. J. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, in press; abst. in *Invest. Ophthalm. and Vision Sci.* 20, 14, 1980.
- [9] Hoffmann, K. P. et al.: *J. Neurophysiol.* 35, 518, 1972.
- [10] Hochstein, S. et al.: *J. Physiol. (Lond.)* 262, 237, 1976a.
- [11] Hochstein, S. et al.: *J. Physiol. (Lond.)*, 262, 265, 1976b.
- [12] Kelly, J. P. et al.: *J. Comp. Neurol.*, 163, 65, 1975.
- [13] Kuffler, S. W.: *J. Neurophysiol.*, 16, 37, 1953.
- [14] Kirby, A. W. et al.: *J. Gen. Physiol.* 68, 465, 1976.
- [15] Kirby, A. W. et al.: *J. Gen. Physiol.* 74, 71,

1979.

[16] Kruger, J. et al.: *Exp. Brain Research*, 181, 316, 1973.

[17] Nakamura, Y. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 77, 658, 1980.

[18] Pourcho, R. G.: *Brain Res.*, 215, 187, 1980.

[19] Rodieck, R. W. *Vision Res.*, 5, 583, 1965.

[20] Schweitzer-Tong, D. E. et al.: *Invest Ophthalmol. and Vision Sci.*, 20, 14, 1980.

[21] Stone, J. et al.: *J. Neurophysiol.*, 36, 551, 1973.

[22] Stone, J. et al.: *J. Neurophysiol.*, 37, 722, 1974.

[23] Wässle, R. et al.: *J. Comp. Neurol.*, 159, 419, 1975.

[24] Werblin, F. S.: *Science* 165, 1008, 1972.

[25] Wright, M. J. et al.: *Neurosciences*, III, 115—122, 1974.

【本文于1982年12月22日收到】

## 高灵敏液体闪烁计数器的进展

蒋 汉 英

(中国科学院生物物理研究所)

### 一、引言

自1946年利比首先用测<sup>14</sup>C的方法来测定年代以来,<sup>14</sup>C低水平测量问题提到了历史日程上。在水文、地质、地理、气象和海洋等学科的研究中,环境水中氚的测量是共同的基础技术。另外,随着核爆炸、核电站及其它核设备的建立,环境中<sup>3</sup>H、<sup>14</sup>C和<sup>59</sup>Fe等核素的低比活性 $\beta$ 放射性的测量已成为环境监测的主要内容之一。

由于以上各方面的需要,低水平、高灵敏液体闪烁计数技术蓬勃发展起来了。

### 二、提高测量灵敏度的主要方法

提高液体闪烁计数器测量灵敏度的主要途径是:提高计数效率,降低测量本底,增加待测样品量。这三个方面是互相依赖、互相制约的。现就高灵敏度液闪技术中几个关键部分的发展对这三方面的影响作一概述。

**1. 光电倍增管** 提高液体闪烁计数器计数效率的关键元件是光电倍增管。现在一般使用的是2吋直径、石英封窗双碱阴极的光电倍增管。对于高灵敏液体闪烁计数器中使用的光电倍增管,尤其要求其光阴极对蓝光的量子效率要高,噪声本底要低于10<sup>4</sup>计数/分。制造工艺要好,以便使管内发光极小。要用含放射性最

少的材料来制作。现在最常用的光电倍增管有RCA4501/V3、V4、EMI9635QB和R331等等。

Noakes<sup>[1]</sup>通过更换光电倍增管把测<sup>3</sup>H的最大优值提高了一倍。当用RCA公司专为他试制的RCA4501/V4来代替原来使用的RCA8850光电倍增管时,使测<sup>3</sup>H的最大效率由53%提高到64%,最高优值由1163提高到2130。Lorenz<sup>[3-4]</sup>等在他们的实验装置上采用不同的光电倍增管测170毫升含水样品时,效率由15.5%提高到20%,优值由30提高到38.5。我们用二对静态指标相近的EMI9635QB在DYS-1型低本底液闪计数器上测100毫升含水样品时,结果如表1所示。

表1 二对光电倍增管的比较(生物物理所)

|    | 效率(E) | 本底(B)            | E <sup>2</sup> /B |
|----|-------|------------------|-------------------|
| I  | 16.8% | 6.62±0.08<br>cpm | 42.6              |
| II | 16.4% | 7.78±0.09<br>cpm | 34.6              |

光电倍增管的管内发光一向被认为是串光本底的主要来源之一。各实验室的大量实践已经证明:串光本底的主要来源是宇宙射线和外部硬辐射。对EMI9635QB来说,管内发光是严重的,它对本底无明显影响。本实验室在不同高压下测<sup>3</sup>H样品和<sup>14</sup>C样品,得到的优值