

大鼠皮层听-视多感觉神经元和听-视信息整合*

俞黎平 王晓艳 李相尧 张季平 孙心德**

(华东师范大学生命科学学院脑科学研究中心, 上海 200062)

摘要 应用常规电生理技术, 研究 SD 大鼠皮层听-视多感觉神经元的分布和听-视信息整合. 共记录到 130 个听-视双模态神经元, 其中 65 个 A-V 型神经元, 28 个 v-A 型神经元和 37 个 a-V 型神经元. 这些双模态神经元主要分布于听区的背侧, 听皮层和视皮层的交界处, 具有明显的区域性, 呈条带状分布, v-A 型神经元较多地位于近听皮层一侧, a-V 型神经元则主要位于近视皮层一侧, A-V 型神经元位于两者之间. 在条带中, 双模态神经元分布不均一, 有片状分布趋势. 双模态神经元的听-视信息整合效应分为增强型、抑制型和调制型. 整合效应与声-光组合刺激的时间间隔有关, 其中 75% 的神经元获得最大整合效应的时间间隔在 30~50 ms 之间. 研究结果提示, 大鼠皮层存在听-视多感觉神经元分布区, 这些神经元遵循存在于其他动物相关脑区多感觉信息整合规律, 参与听-视感觉信息整合.

关键词 大鼠, 皮层, 听-视多感觉神经元, 听-视信息整合

学科分类号 Q6

多模态感觉整合是中枢神经元信息处理的重要特征之一. 已知多感觉道会聚和整合存在于所有被研究过的动物, 特别是听觉和视觉模态的会聚和整合, 已在多种动物的多个脑区研究过^[1~5]. 功能性核磁共振 (fMRI) 研究显示, 在人的大脑皮层上颞回也存在一个整合听-视信息的多感觉区^[6,7]. 在高等动物和人类, 多感觉整合不仅参与注意和朝向等行为调制, 还可能在脑的知觉和认知过程中起重要作用^[8~10]. 但以往对多感觉整合研究多集中于动物中脑上丘深层, 事实上, 我们对多感觉神经元的特性及整合规律的认识, 主要也都源于对上丘的研究^[11,12]. 然而, 中枢多感觉会聚和整合的功能意义并不仅限于增强对目标的分辨和定位. 研究表明, 猫皮层 AES 和 LS 过渡区的一些多感觉神经元, 它们适合于上丘神经元的多感觉整合规则, 但并不向上丘发出投射, 可能参与知觉和认知等脑的高级功能活动^[13]. 在大鼠的感觉皮层过渡区和次级感觉皮层也已发现有多感觉神经元存在^[14,15]. 本文在 SD 大鼠上, 进一步考察皮层听-视双模态神经元的分布、反应特性和整合规律, 为深入研究皮层多感觉会聚和整合规律、功能定义及其机制提供重要实验资料.

1 材料与方法

1.1 动物和手术

实验在 25 只成年 SD 大鼠上进行, 体重 250~

350 g, 购自上海复旦大学医学院实验动物中心, 清洁级. 手术前, 经皮下注射阿托品 (atropine, 0.25 mg/kg), 以减少呼吸道的分泌物. 然后经腹腔注射戊巴比妥钠 (sodium pentobarbital, 40~50 mg/kg) 麻醉动物, 在盐酸普鲁卡因局麻下, 行气管插管术, 切开头部皮肤, 除去结缔组织, 暴露顶骨, 用 502 胶水和牙科水泥将一根长 2 cm 铁钉粘固于颅骨上, 以备固定动物头部. 打开左侧颞-顶骨, 暴露颞-顶区皮层, 除去硬脑膜. 将动物置于实验台架上, 通过头部铁钉固定头部. 实验在高性能电声屏蔽室内进行, 动物体温维持在 38℃.

1.2 声、光刺激

声刺激系统由声信号数字软件、高速 AD/DA 卡、计算机、dB 衰减器 (Leader LAT-45)、功率放大器及高保真扬声器组合. 纯音频率 1.0~50.0 kHz 连续可调, 声音包络持续时间 40 ms, 上升和下降时间各 4 ms, 声强度以 dB SPL (0 dB SPL 相当于 20 μ Pa) 表示. 扬声器位于动物头部前方, 在记录电极对侧水平方向 30°、垂直方向 0°、距动物双耳

*国家自然科学基金资助项目 (30170313, 90208012, 30570595), 上海市启明星计划项目 (05QMX1420) 和上海市曙光计划项目 (05SG28).

**通讯联系人. Tel:021-62232775, E-mail: xdsun@bio.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2006-02-15, 接受日期: 2006-03-30

连线中线 35 cm 处. 实验前扬声器经 6.35 mm 麦克风 (B & K 4135) 和测量放大器 (B&K 2607) 校正.

光刺激由信号发生器和发光二极管组成, 发光点直径为 1.5 mm, 置于扬声器的下缘, 正对记录电极对侧动物的眼部, 光刺激的强度由光强度计 (ZDS-10) 校正 (光强度 20 ~ 30 cd/m², 背景光 3 cd/m²).

1.3 神经元反应的记录

经微电极拉制仪 (Narishige PE-21) 拉制的玻璃微电极, 内充 3 mol/L KCl 和 2% Biocytin, 尖端直径 1.0 ~ 1.5 μm, 阻抗 5 ~ 10 MΩ. 在手术显微镜下, 经微电极操纵仪 (Narishige PE5-1) 将电极插入皮层, 行细胞外记录单个神经元的反应. 神经元反应信号经放大器 (ISODAMX) 放大、滤波后, 由计算机采样, 并作刺激后时间序列直方图 (PSTHs).

1.4 数据分析

数据分析由 sigmaplot 8.0 软件完成. 听 - 视双模态神经元的界定为: A-V 型神经元, 能分别对声和光刺激产生反应; v-A 型神经元, 仅对声刺激产生可见的反应, 但同时给予光刺激可明显影响其反应 (two-paired *t*-test, $P < 0.05$); a-V 型神经元, 仅对光刺激产生可见反应, 同时给予的声刺激能明显

影响其反应 (two-paired *t*-test, $P < 0.05$).

对双模态神经元多感觉整合效应的分析依下列公式: $[(CM - SM_{\max}) / SM_{\max}] \times 100 = \text{整合强度}\%$, 其中 CM 为声 - 光组合刺激引起的神经元平均放电脉冲数 (采样 20 次), $SM_{\max}$ 为单模态刺激诱导的最大反应 (采样 20 次), 整合强度小于 0 为抑制型整合, 大于 0 为增强型整合. 具有增强整合效应的 A-V 型双模态神经元又可进一步分为: 调制型整合 (声 - 光组合刺激引起的放电脉冲数小于声、光单独刺激所引起的放电脉冲数算术和) 和增强型整合 (声 - 光组合刺激引起的放电脉冲数大于声、光单独刺激所引起的放电脉冲数算术和).

2 结 果

在 25 只动物上共记录到 695 个神经元, 其中 248 个听神经元, 317 个视神经元, 和 130 个听 - 视双模态神经元 (包括 65 个 A-V 型神经元, 28 个 v-A 型和 37 个 a-V 型神经元).

2.1 听-视双模态神经元的分布

按照大鼠大脑经典解剖学的描述^[16], 我们所记录到的听 - 视双模态神经元都位于颞 - 顶 - 枕联合皮层 (temporal-parietal-occipital associated cortex)

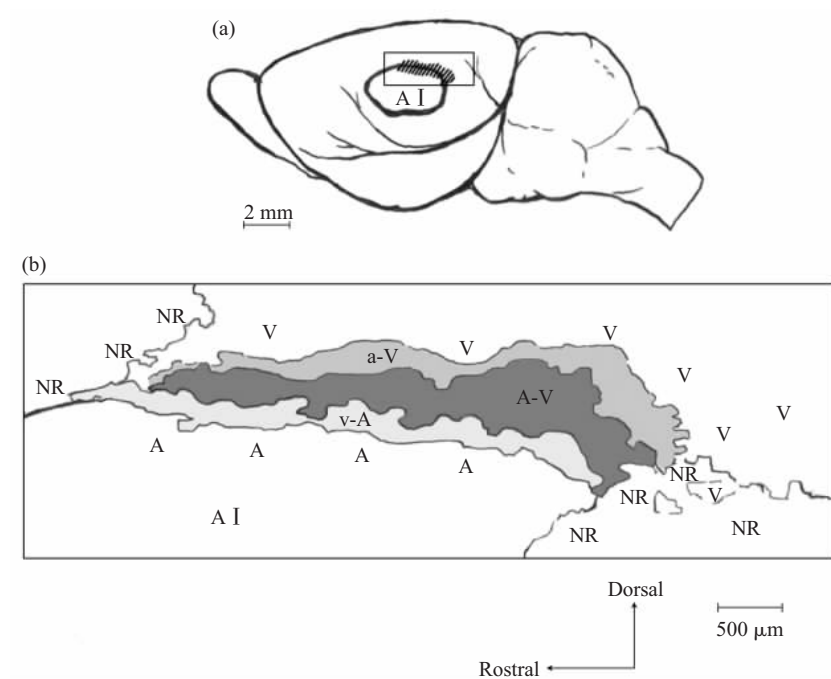


Fig. 1 The distribution of different types of auditory-visual bimodal neurons

(a) Dorsolateral view of SD rat brain, rectangle delineates the recording area. (b) Enlargement of the corresponding rectangle in (a). A I, primary auditory cortex; A-V, a-V, v-A indicate the patchy distributions of A-V bimodal neurons, a-V bimodal neurons and v-A bimodal neurons respectively. A, auditory neurons; V, visual neurons; NR, no response.

(图 1a), 包括听皮层的背侧, 视皮层和听皮层的交界处. 在初级听皮层 (A I) 和初级视皮层 (V I) 均未记录到听 - 视双模态神经元. 在记录部位, 听 - 视双模态神经元呈带状分布, 分布带的宽度不均一, 平均宽度为 $(800 \pm 450) \mu\text{m}$. 其中 v-A 型双模态神经元主要位于听皮层一侧, a-V 型神经元则靠近视皮层一侧, 而 A-V 型神经元则多分布于前者之间的区域 (图 1b).

2.2 听-视双模态神经元的基本反应特性

我们分别测定了双模态神经元对单独声或光刺激反应的最佳频率 (best frequency, BF)、最低阈值 (minimum threshold, MT) 和反应潜伏期 (response

latency) 等基本特性. 结果显示, 神经元的 BF 多数 (84/130, 64.5%) 位于 7.0~10.0 kHz 之间 (图 2a), MT 则多数 (106/130, 81.5%) 分布在 35.0~55.0 dB 之间 (图 2b). 神经元的反应潜伏期都较长, 其中 A-V 型神经元和 v-A 型神经元的听反应潜伏期分别平均为 $(19.2 \pm 4.4) \text{ ms}$ 和 $(19.6 \pm 3.6) \text{ ms}$, A-V 型神经元和 a-V 型神经元的视反应潜伏期分别平均为 $(48.6 \pm 12.5) \text{ ms}$ 和 $(52.9 \pm 16.8) \text{ ms}$ (表 1), 都明显长于初级感觉皮层 A I 和 V I 区神经元的听或视反应潜伏期, 这从一个侧面也提示这些神经元并不位于初级感觉皮层.

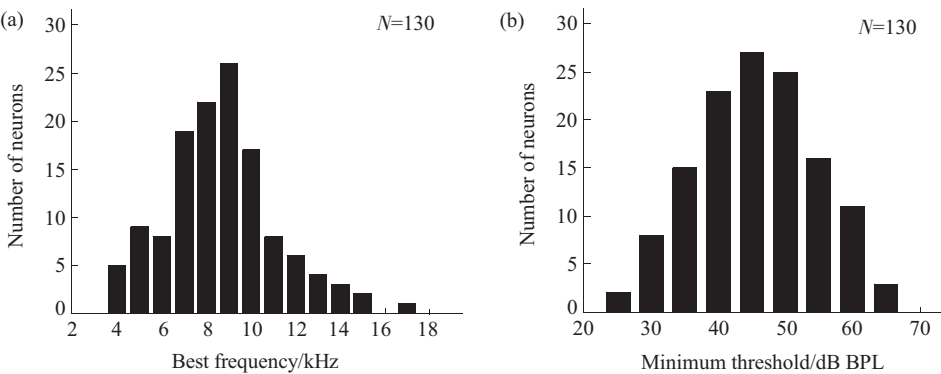


Fig. 2 The distribution of the best frequency (a) , minimum threshold (b) of 130 auditory-visual bimodal neurons in rat cortex
The number of recorded neurons for (a) and (b) is shown by *N*.

Table 1 Response properties of auditory-visual biomodal neurons to unimodal auditory (A) and visual (V) stimulation and to bimodal stimulation

Bimodal neuron	Number of neurons	Response latency/ms		Best interstimulus interval/ms $\bar{x} \pm s$
		V $\bar{x} \pm s$	A $\bar{x} \pm s$	
A-V	65	19.2 ± 4.4	48.6 ± 12.5	33.8 ± 10.4
v-A	28		52.9 ± 16.8	35.6 ± 14.6
a-V	37	19.6 ± 3.6		36.8 ± 12.9

2.3 听-视双模态神经元的听-视信息整合

根据双模态神经元对听 - 视组合刺激的反应特性, 可将它们分为 A-V 型、v-A 型和 a-V 型. 其中, A-V 型神经元依照整合效应的差异又可分为增强型、抑制型和调制型 (图 3), 而 v-A 型和 a-V 型也

可分为增强型和抑制型 (图 4). 图 3 为 A-V 型神经元三种类型的实验记录. 图 3a 为一个增强型神经元, 当单独给予光刺激时, 其放电脉冲数为 40 (图 3a-A), 单独声刺激的放电脉冲数为 21 (图 3a-B), 而声 - 光组合刺激激起的放电脉冲数为 101

(图 3a-C), 远高于声、光单独刺激引起的放电脉冲数相加, 听 - 视整合强度达到 150% (图 3a-D). 图 3b 神经元为抑制型整合效应, 整合强度为 -32.8% (图 3b-D). 图 3c 是一个调制型神经元, 声 -

光组合刺激引起的脉冲发放量为 57 (图 3c-C), 脉冲数大于单独声或光刺激引起的脉冲数, 但小于声和光刺激引起反应的算术和, 整合强度为 44% (图 3c-D).

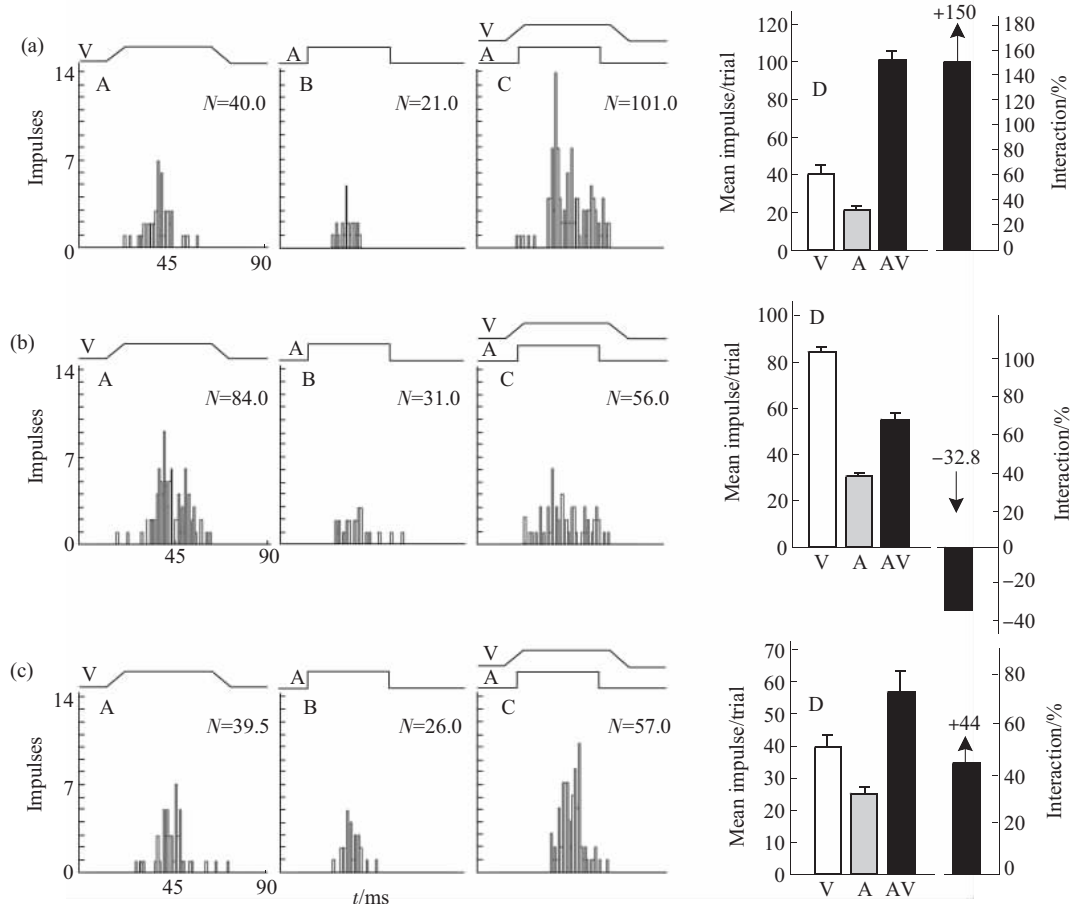


Fig. 3 Response of three types of A-V bimodal neurons to unimodal visual stimulus (V) and auditory stimulus (A) and to bimodal stimulus (V+A)

A(square): auditory stimulus; V(ramp): visual stimulus. Poststimulus time histograms and bar graphs in top (a), middle (b) and bottom (c) panels, respectively, illustrate examples of response enhancement, depression and modulation. Each type of multisensory interaction is respected by an individual neuron. Summary bar graphs (right) show the mean number of spikes (20 trials) evoked by unimodal and multimodal stimulation and the proportionate change generated by the stimulus combination. For determining the multisensory integration, the following formula was used: $[(CM - SM_{\max}) / SM_{\max}] \times 100 = \% \text{ interaction}$, where CM is the response to the combined modality presentation and $SM_{\max}$ is the response to the best of the modality-specific response.

根据 $[(CM - SM_{\max}) / SM_{\max}] \times 100 = \% \text{ 整合强度}$ 公式, 整合强度大于 0 为增强型整合, 小于 0 为抑制型整合, 我们也将 v-A 型和 a-V 型神经元进行了分类, 图 4a 和图 4b 为两个 v-A 型神经元的实验记

录. 由图 4a 可见, 单独光刺激 (V) 不能引起该神经元可见反应 (图 4a-A), 单独声刺激可引起该神经元听反应 (图 4a-B), 声 - 光组合刺激引起该神经元放电脉冲数明显增加 (图 4a-C), 其整合强度达到

80% (图 4a-D), 为增强型整合类型. 图 4b 为一个抑制型整合神经元的记录, 由于声 - 光组合刺激引起的放电脉冲数明显少于单独声刺激引起的脉冲数 (图 4b-C), 其整合强度为 -40% (图 4b-D). 图 4c、d 为两个 a-V 型神经元的实验记录, 它们对单独给予的声刺激都不能激起可见放电反应 (图 4c-B、

图 4d-B). 当给予声 - 光组合刺激时, 与单独光刺激相比, C 神经元放电脉冲数明显增加, 整合强度为 55% (图 4c-D), 为增强型整合, 而 D 神经元放电脉冲数则明显减少 (图 4d-C), 整合强度为 -53%, 为抑制型整合(图 4d-D).

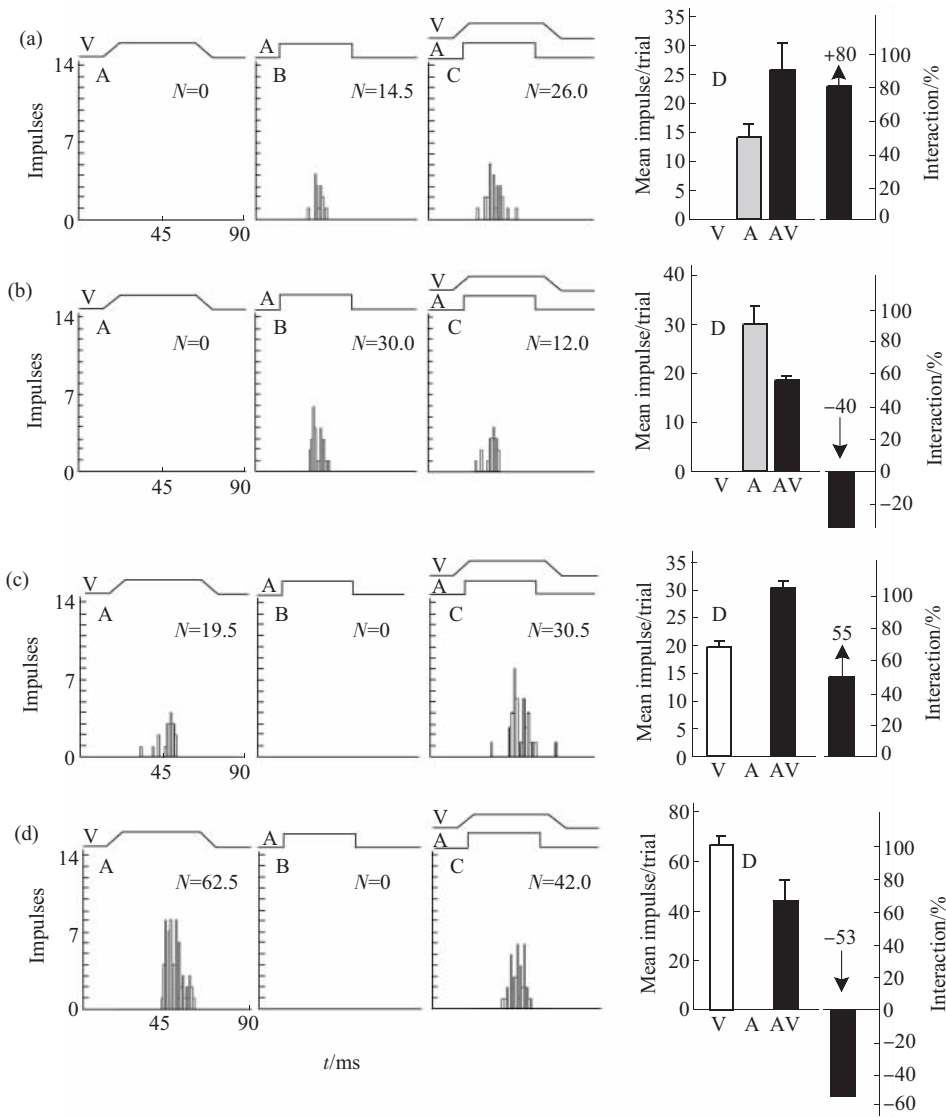


Fig. 4 Response of v-A and a-V bimodal neurons to visual-alone (V) , auditory-alone (A) and to bimodal (V+A) stimulation

A(square): auditory stimulus; V(ramp): visual stimulus; Poststimulus time histograms (A, B, C) and bar graphs (D) in (a), (b), (c), and (d) panels, respectively, illustrate examples of response enhancement (v-A), depression (v-A),enhancement (a-V) and depression (a-V). Each type of multisensory interaction is respected by an individual neuron. Summary bar graphs (right) show the mean number of spikes (20 trials) evoked by unimodal and multimodal stimulation and the proportionate change generated by the stimulus combination. For determining the multisensory integration, the following formula was used: $[(CM-SM_{max})/SM_{max}] \times 100 = \% \text{ interaction}$, where CM is the response to the combined modality presentation and SM_{max} is the response to the best of the modality-specific response.

以往对猫的研究发现,引起上丘神经元最大整合效应的是单模态刺激诱发的兴奋或抑制效应在时间上的重叠,而不是简单的不同感觉传入潜伏期的匹配,只有每个单模态刺激引起的神经元电活动的峰值重叠,才会产生最大的整合效应^[17].我们在大鼠皮层上同样观察到,只有声和光刺激激起的反应峰值重叠时,才产生最大的整合效应.序列地改变声和光刺激的时间间隔,可测定产生整合效应的声、光刺激间隔范围,即整合时间窗 (integrative temporal window). 图 5 是一个神经元的纪录,可见其整合时间窗为 20 ms.

在我们所观察的所有听-视双模态神经元中,其声-光刺激的最佳时间间隔分布在 15 ms 到 65 ms 范围内,其中大部分 (75%) 位于 30~50 ms 之间. 三种不同类型神经元的最佳时间间隔分布见图 6 和表 1.

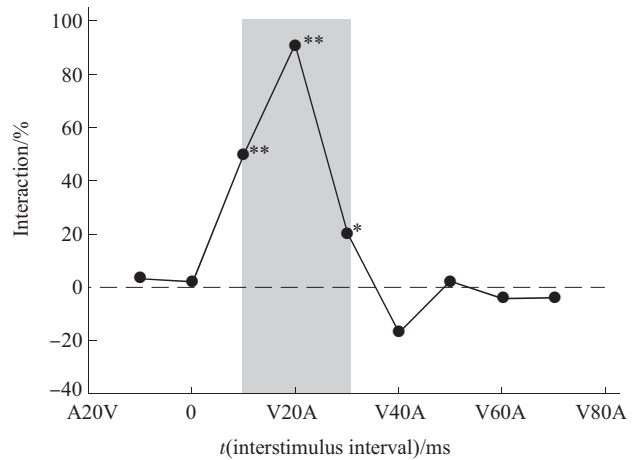


Fig. 5 The temporal window for multisensory integration

A20V indicates that the onset of the visual stimulus preceded the onset of the auditory stimulus by 20 ms. The grey rectangle shading shows the size of the temporal window. The dash line shows interaction is zero. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

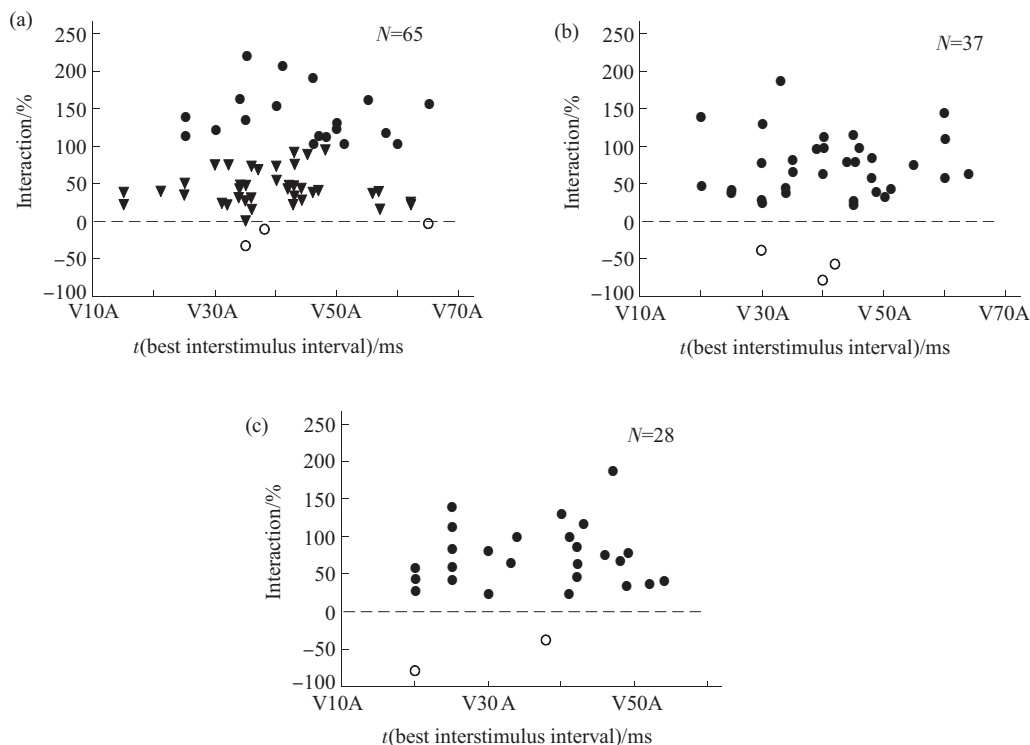


Fig. 6 The distribution of the best interstimulus interval

(a) The relative incidence of enhancement, modulation and depression multisensory interaction and the distribution of the best interstimulus interval of A-V biomodal neurons in temporal-parietal-occipital associated belt cortex. (b), (c) Relative proportion of enhancement and depression multisensory integration respectively and the distribution of the best interstimulus interval of a-V and v-A biomodal neurons. V10A indicates that the onset visual stimulus preceded the onset of the auditory stimulus by 10 ms, and so on. The dash line shows interaction is zero. ●: Enhancement; ▼: Modulation; ○: Depression.

3 讨 论

我们的研究表明, SD 大鼠皮层听-视双模态神经元主要分布于次级听皮层和次级视皮层的交界处, 这与文献报道相一致^[15, 18]. 在初级听、视感觉皮层中心区域, 未记录到双模态神经元, 这也与在猫和猴等动物上得到的结果相似^[2, 19]. 我们详细考察了听-视双模态神经元在皮层的带状分布, 带的分布宽度不均衡, 平均宽度在 800 μm 左右. 双模态神经元在带中的分布密度极不均匀, 有片状分布的趋势, 密度高的区域可达 65%, 而密度小的区域则不到 10%. A-V 型、v-A 型和 a-V 型双模态神经元也各有较明显的分布规律, 其中 v-A 型主要位于近听皮层侧, a-V 型则主要分布于近视皮层侧, A-V 型则主要处于两者之间, 这种分布趋势可能与这些双模态神经元接受的不同模态纤维投射有关^[20, 21].

在我们所观察的大鼠皮层多感觉区中, 除听-视双模态神经元外, 单模态神经元也占了很大比例, 在所记录到的 695 个神经元中, 听-视双模态神经元仅占 18.7% (130/695), 而听神经元和视神经元则分别占 35.7% (248/695) 和 45.6% (317/695). 这提示, 皮层多感觉区并不只负责整合多感觉信息, 可能在处理单模态感觉信息中也发挥一定作用. 在对猫的皮层 AES 和 LS 多感觉区的研究发现, 只有那些单模态神经元才下行投射、会聚到上丘多模态神经元, 而多模态神经元并不投射到上丘多感觉区^[13], 这从一个侧面提示皮层多感觉区功能的复杂性.

我们的实验还观察到, 大鼠皮层条带状的听-视多感觉区中, 听-视双模态神经元和听、视单模态神经元的分布是混杂在一起的, 它们对单模态刺激的反应潜伏期也不存在明显差异, 因此有可能这些神经元具有同源性. 这和在猫的 AES 和 LS 过渡区中的神经元分布很相似^[2]. 至于皮层多模态神经元是如何形成的尚待进一步研究.

以往的研究发现, 猫 AES、LS 和上丘的多模态神经元有着相似的多感觉通道整合的“时间规则”, 只有当各单模态通道刺激所引起的反应峰值重叠时, 才达到最大整合效应, 此时的组合刺激时间间隔为最佳时间间隔^[17]. 本文研究也发现, 皮层双模态神经元的整合效应也与声-光组合刺激时间间隔有关. 序列地改变声-光刺激的时间间隔, 可见每个神经元都有一个引起整合效应的声-光刺激

间隔范围, 即整合时间窗 (integrative temporal window), 在此时间窗中, 神经元都可产生听-视信息整合效应. 本文观察到大鼠皮层听-视的最佳时间间隔在 15~65 ms 之间, 其中 75% (98/130) 神经元的最佳间隔时间在 30~50 ms 之内. 多模态神经元整合时间窗的存在为多感觉信息整合的有效性提供了保证. 时间窗并不能以单模态感觉传入的潜伏期匹配加以解释, 那么, 其形成的机制是什么? 还需进一步研究.

参 考 文 献

- 1 Meredith M A, Stein B E. Interactions among converging sensory inputs in the superior colliculus. *Science*, 1983, **221**(4608): 389~391
- 2 Wallace M T, Meredith M A, Stein B E. Integration of multiple sensory modalities in cat cortex. *Exp Brain Res*, 1992, **91**(3): 484~488
- 3 Chudler E H, Sugiyama K, Dong W K. Multisensory convergence and integration in the neostriatum and globus pallidus of the rat. *Brain Res*, 1995, **674** (1): 33~45
- 4 Brett-Green B, Paulsen M, Staba R J, *et al.* Two distinct regions of secondary somatosensory cortex in the rat: topographical organization and multisensory responses. *J Neurophysiol*, 2004, **91** (3): 1327~1336
- 5 Komura Y, Tamura R, Uwano T, *et al.* Auditory thalamus integrates visual inputs into behavioral gains. *Nat Neurosci*, 2005, **8** (9): 1203~1209
- 6 Wright T M, Pelphrey K A, Allison T, *et al.* Polysensory interactions along lateral temporal regions evoked by audiovisual speech. *Cereb Cortex*, 2003, **13** (10): 1034~1043
- 7 Calvert G A, Brammer M J, Bullmore E T, *et al.* Response amplification in sensory-specific cortices during crossmodal binding. *Neuroreport*, 1999, **10** (14): 2619~2623
- 8 Jiang W, Jiang H, Stein B E. Two corticotectal areas facilitate multisensory orientation behavior. *J Cogn Neurosci*, 2002, **14** (8): 1240~1255
- 9 Stein B E. Neural mechanisms for synthesizing sensory information and producing adaptive behaviors. *Exp Brain Res*, 1988, **123** (1~2): 124~135
- 10 Giard M H, Peronnet F. Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study. *J Cogn Neurosci*, 1999, **11** (5): 473~490
- 11 Meredith M A, Stein B E. Visual, auditory, and somatosensory convergence on cells in superior colliculus results in multisensory integration. *J Neurophysiol*, 1986, **56** (3): 640~662
- 12 Kadunce D C, Vaughan J W, Wallace M T, *et al.* Mechanisms of within- and cross-modality suppression in the superior colliculus. *J Neurophysiol*, 1997, **78** (6): 2834~2847
- 13 Wallace M T, Stein B E. Cross-modal synthesis in the midbrain

- depends on input from cortex. *J Neurophysiol*, 1994, **71** (1): 429~432
- 14 Barth D S, Kithas J, Di S. Anatomic organization of evoked potentials in rat parietotemporal cortex: somatosensory and auditory responses. *J Neurophysiol*, 1993, **69** (6): 1837~1849
 - 15 Wallace M T, Ramachandran R, Stein B E. A revised view of sensory cortical parcellation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, **101** (7): 2167~2172
 - 16 Doron N N, Ledoux J E, Semple M N. Redefining the tonotopic core of rat auditory cortex: physiological evidence for a posterior field. *J Comp Neurol*, 2002, **453** (4): 345~360
 - 17 Meredith M A, Nemitz J W, Stein B E. Determinants of multisensory integration in superior colliculus neurons. I. Temporal factors. *J Neurosci*, 1987, **7** (10): 3215~3229
 - 18 Toldi J, Feher O, Wolff J R. Sensory interactive zones in the rat cerebral cortex. *Neuroscience*, 1986, **18** (2): 461~465
 - 19 Foxe J J, Morocz I A, Murray M M, *et al.* Multisensory auditory-somatosensory interactions in early cortical processing revealed by high-density electrical mapping. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2000, **10** (1~2): 77~83
 - 20 Amedi A, Jacobson G, Hendler T, *et al.* Convergence of visual and tactile shape processing in the human lateral occipital complex. *Cereb Cortex*, 2002, **12** (11): 1202~1212
 - 21 Beauchamp M S. See me, hear me, touch me: multisensory integration in lateral occipital-temporal cortex. *Curr Opin Neurobiol*, 2005, **15** (2): 145~153

The Auditory-visual Multisensory Neurons and Auditory-visual Information Integration in Rat Cortex*

YU Li-Ping, WANG Xiao-Yan, LI Xiang-Yao, ZHANG Ji-Ping, SUN Xin-De**

(College of Life Science, Research Center for Brain Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract Conventional electrophysiological technique was used to determine the distribution of auditory-visual multisensory neurons and to study the auditory-visual information integration in rat cortex. 130 auditory-visual bimodal neurons including 65 A-V neurons, 28 v-A neurons and 37 a-A neurons were isolated. These bimodal neurons located in the boundary area between auditory and visual cortex were mainly in the dorsal bank of auditory cortex. There are divided strip trends in the distribution of different types of bimodal neurons that most of v-A neurons were recorded in the cortex close to auditory cortex, a-V neurons were mostly appeared in the part adjacent to visual cortex and a majority of A-V neurons were between of them. One point must be pointed out that bimodal neurons were presented not uniformly but in the way of patchy distribution. According to the different integration effects, all bimodal neurons were divided into three types: enhancement, modulation and depression. The temporal disparity among combinations of two stimuli was showed to be a critical factor influencing the integration of auditory and visual information. At the same time the best interstimulus interval time under which the strongest interaction can be evoked has been thoroughly studied and found that it has somewhat regular arrangement that 98 of the 130 (75%) auditory-visual bimodal neurons in this experiment have the best integration among the 30~50 ms interval time. The results suggest that the auditory-visual bimodal neurons exist in the rat cortex having the similar multisensory and auditory-visual integration characteristics of the multimodal neurons in the other animals' analogy cortex.

Key words rat, cortex, auditory-visual multisensory neuron, auditory-visual information integration

*This work was supported by grants from The National Natural Science Foundation of China (30170313, 90208012, 30570595), Shanghai Rising-Star Program (05QMX1420), Shanghai ShuGuang Program (05SG28).

**Corresponding author. Tel: 86-21-62232775, E-mail: xdsun@bio.ecnu.edu.cn

Received: February 15, 2006 Accepted: March 30, 2006