

## 大鼠听-视整合的行为学表征

李相尧,李玲,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]** **目的:**探讨SD大鼠的朝向行为是否受多模态信息的影响。**方法:**SD大鼠随机分为声-光组合信号组和单独的声信号组,分别给予单模态信号和具有不同空间方位差别的声-光组合信号,观察大鼠的朝向行为。**结果:**当给予的声-光组合信号空间方位一致时,较单独光信号引导动物寻找隐藏平台的反应时间显著缩短,正确率提高,表现出明显的听-视整合效应。这种整合效应在光信号强度较弱时更为明显,其增强效应达到 $(87.3 \pm 8.5)\%$ ,明显高于光信号较强时的增强效应 $(27.6\%, P < 0.05)$ 。**结论:**行为学的实验结果符合多模态整合规则。

**[关键词]** 大鼠;行为;声-光组合信号;听-视整合

**[中图分类号]** Q 958 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2007)05-0480-04

## The behavioral presentations of audio-visual integration in rats

LI Xiang-yao, LI Ling, ZHANG Ji-ping, SUN Xin-de\* (Brain Science Research Center, School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**[ABSTRACT]** **Objective:** To study whether the orientation behavior of rats is affected by multi-sensory information. **Methods:** SD rats were randomly divided into 2 groups: the audio-visual integration group and pure audio group. The orientation behaviors of rats were observed after given single modal and multi-modal sensory cues with spatial disparities. **Results:** We found that when the temporal and spatial audio cues were coincident to a target visual cue, the rats had a markedly reduced reaction time and increased success rate in orientation behaviors; there was an obvious audio-visual integration effect. The integration effect was more obvious when the intensity of target visual cue was weak, with the enhancement efficiency being  $(87.3 \pm 8.5)\%$ , significantly higher than that when the intensity of target visual cue was stronger  $(27.6\%, P < 0.05)$ . **Conclusion:** Rat auditory-visual integration behaviors also follow the multi-sensory integration rules.

**[KEY WORDS]** rats; behavior; sound-light cues; audio-visual integration

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2007, 28(5): 480-483]

多模态感觉整合是大脑信息处理的重要特征之一。已知多感觉会聚和整合存在于所有被研究过的动物(如果蝇<sup>[1]</sup>、响尾蛇<sup>[2]</sup>、猫<sup>[3-4]</sup>、猴<sup>[5]</sup>等)以及人类<sup>[6-9]</sup>。在高等动物和人类,多感觉整合不仅参与注意、朝向等行为调制,而且在脑的知觉和认知过程中起重要作用<sup>[10]</sup>。已有的研究<sup>[11-17]</sup>表明,多模态感觉会聚和整合的主要生理效应是增强对源于同一事件刺激的反应,抑制对无关刺激的反应。多感觉整合作为中枢信息加工的一种最佳模式,特别在识别微弱、模糊的信号时显示出无比的优越性。Giard等<sup>[10]</sup>研究人对多模态目标识别时发现,受试者对听-视组合刺激模式目标的识别较单独听、视模态识别效应显著的增强,表现为反应时间缩短,识别正确率提高。Harrington等<sup>[18]</sup>的研究同样发现,人在识别听-视空间方位一致的目标时,其反应时间较单独听、视目标显著缩短。文献<sup>[4, 12]</sup>对猫的行为学实验也观察到,源于空间方位一致的听-视组合刺激可大大提高动物朝向目标反应的正确率。本研究以大鼠为动物模型,应用改制的水迷宫行为实验方法,分别

研究听、视单模态和多模态感觉信号引导动物朝向行为的行为特征,为深入研究多模态感觉整合的机制提供行为学研究资料。

## 1 材料和方法

1.1 实验动物 雄性SD大鼠(200~250 g)11只,购自上海复旦大学医学院实验动物中心,清洁级,本实验室正常饲养,室内光/暗12 h间隔,温度26℃,动物自由取食,随机分为听/视整合信号引导组( $n=6$ )和听觉信号引导组( $n=5$ )。

**[基金项目]** 国家自然科学基金(90208012, 30570595);上海市启明星项目(05QMX1420);上海市曙光计划项目(05SG28);浦江计划项目(06PJ14036)。Supported by Grants from the National Natural Science Foundation of China (90208012, 30570595), Shanghai Rising-Star Program (05QMX1420), Shanghai Shuguang Program (05SG28), and Shanghai Pujiang Program (06PJ14036)。

**[作者简介]** 李相尧,博士生。

\* Corresponding author. E-mail: xdsun@bio.ecnu.edu.cn

1.2 实验装置 实验装置包括一个直径为 150 cm、深度为 40 cm 的半圆形水池,用有机玻璃板(长 40 cm、高 35 cm)每间隔 30°将水池分割为 5 个不同的区域(图 1B),一个直径 9 cm、高 19 cm 的圆形隐藏平台,实验时随机放置于每个水池区域的中心距水池壁 5 cm 处。水池的半圆形边缘正中心定义为 0°,左右两侧每隔 15°做一个标记,0°左侧定义为负值,右侧为正值。一个发光二极管和小型喇叭置于水池壁上,距水面 5 cm 处,可分别按 15°间隔沿水池壁移动(图 1A 所示)。水池内水深 20 cm,水温维持在(22±1)℃。

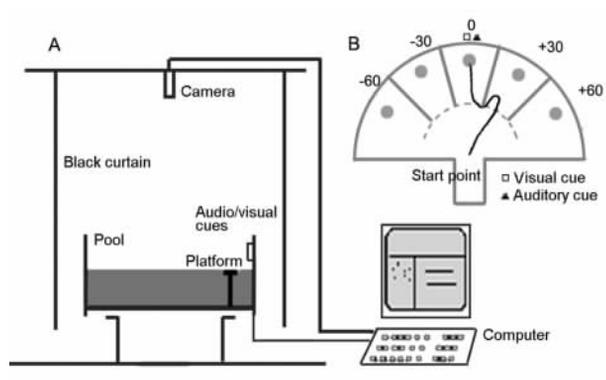


图 1 实验装置示意图

Fig 1 A schematic view of experimental setups

A: Lateral view of the setups; B: Top view of the water maze. Gray circle indicated the location of the hidden platform; the black line in panel B showed the trace of rat in one trail

声信号由计算机合成,经 dB 衰减器和功率放大器由小喇叭(直径 18 mm)给出;声信号为正弦波,频率 8 kHz,声音包络时程 100 ms,上升、下降时程 10 ms,强度为 75 dB,给声重复率为 3 Hz。光信号由信号发生器和发光二极管发出,给光时间与声音信号一致,发光强度由发光强度计(ZDS-10)校正,实验室内背景发光强度为 3 cd/m<sup>2</sup>。实验中全程摄像记录动物活动轨迹。

1.3 训练过程 训练每天进行 6 次,将动物放入水池内的入水点(图 1B),分别给予声或光信号。若动物在 1 min 内找到平台,则使其在平台上停留 20 s,若在 1 min 内未能找到平台,则由实验者引导它到达平台,同样也停留 20 s,然后取出动物,休息 5 min 后进行下一次训练,每次训练平台所在的位置随机选取。若动物在 4 s 内到达平台而且偏差角度不超过 15°,则为成功的训练,同一只动物每天的成功率达到 75%,且能稳定 2 d,则认为动物已形成感觉信号引导下寻找平台的朝向反射,再进行下一阶段测试。

1.4 朝向行为的测试 测试分为两部分,第一部分

观察动物在不同强度光信号(15 cd/m<sup>2</sup>和 25 cd/m<sup>2</sup>)引导条件下的朝向行为,考察光信号的强度对大鼠朝向行为的影响。第二部分为同时给与声/光组合信号,考察听-视双模态信号的整合效应。实验设声/光空间方位一致(AV0),声/光方位相差 15°(AV±15),声/光方位相差 30°(AV±30)和声/光方位相差 45°(AV±45)的组合信号,观察不同的声/光方位差和强度对整合效应的影响。该阶段水池内的隔板被去掉。

1.5 数据处理 实验过程中记录以下数据:(1)反应时(reaction time):动物离开入水点,到达平台所需的时间<sup>[4, 12]</sup>。(2)正确率(correct rate):每只动物每天成功次数占训练总次数的百分比。(3)错误率(error rate):动物在 60 s 内没有找到平台,为寻找平台失败,记录失败次数占每只动物每天训练总次数的百分比。

听-视整合效应计算:增强效应指数(enhancement index) = (CM - SM) / SM × 100%<sup>[10, 12-13, 15]</sup>。其中 CM(combined modality)为给予声/光组合信号时动物空间朝向反应的正确率,SM(single modality)为单独给予视觉信号时动物空间朝向行为的正确率。实验结束后用 sigmaplot2001 及 SPSS10.0 软件处理数据,数据以  $\bar{x} \pm s_x$  表示。

## 2 结果

2.1 单模态信号引导的朝向行为 共进行了 8 d 视觉信号引导的朝向行为实验,结果可见,动物随训练天数增加反应时间逐渐下降,第 1 日的反应时间为(44.5±3.0) s,第 6 日降至(5.3±0.4) s,第 7、8 日稳定在 3.5 s 以内(图 2A)。动物寻找平台的成功率随训练次数增加逐渐上升,由第 1 日的(7.1±3.3)%,到第 6 日升高到(88.0±6.0)%,第 7、8 日都达到 100%,动物在 4 s 内均可以找到平台(图 2B),在这同时,动物寻找平台的失败率则随训练天数的增加逐渐降低(图 2C)。

声信号引导组动物的朝向行为实验进行了 11 d,结果可见,动物的反应时间随训练天数的增加也逐渐缩短(单因素方差分析,  $F_{10,338} = 9.6, P < 0.001$ ),但缩短的程度不如光信号引导实验明显(图 2A),双因素方差分析(组/天数)显示两组动物在 8 d 内的反应时间有显著差异( $F_{1,642} = 293, P < 0.001$ );动物寻找平台的正确率一直处于较低的水平(图 2B),和视觉信号引导组相比,存在显著性差别( $F_{1,91} = 114.88, P < 0.001$ );尽管其失败率随训练天数的增加也呈下降趋势,但不如光信号引导组明显(图 2C),双因素方差分

析(组、天数)显示两组动物在8 d内的失败率之间有 显著差异( $F_{1,79}=67.86, P<0.001$ )。

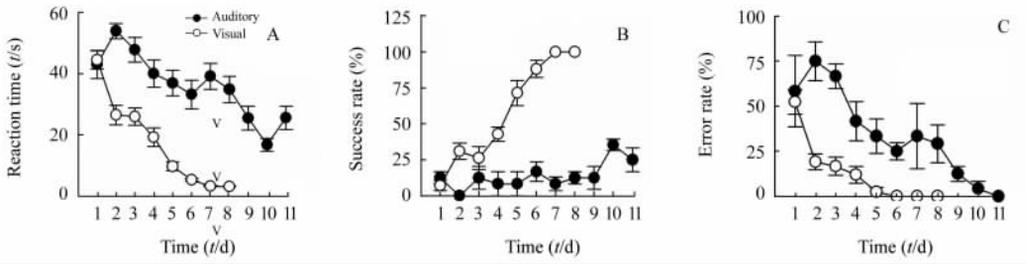


图2 动物对光、声信号的朝向行为

Fig 2 Orientation behaviors of rats to single visual or auditory cue

The results of reaction time (A), success rate(B)and error rate(C)showed that rats had a better orientation behavior when induced by visual cue than by auditory cue; $\bar{x}\pm s_x$

2.2 光信号强度对朝向行为的影响 分别记录了动物在低强度光信号(15 cd/m<sup>2</sup>)和较高强度光信号(25 cd/m<sup>2</sup>)引导下寻找平台的反应时和正确率,结果显示,低强度光信号下动物朝向行为的反应时间为(3.3±0.1) s 高于较高强度下的朝向反应时间(2.7±0.1) s,两者之间具极显著性差异(独立样本 *t* 检验,  $P<0.01$ )(图 3B)。低强度光信号引导组动物寻找平台的正确率(48%)也明显低于高强度信号组(66%)(独立样本 *t* 检验,  $P<0.001$ )(图 3A)。

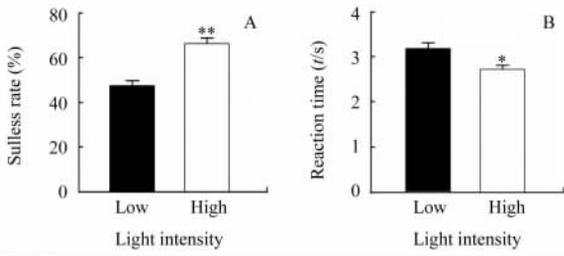


图3 不同强度光信号引导下动物的成功率(A)和反应时间(B)

Fig 3 Success rates (A)and reaction time(B)

of rats induced by visual cues of different light intensities

\*  $P<0.01, ** P<0.001$  vs low light intensity; $\bar{x}\pm s_x$

2.3 声/光组合信号引导的朝向行为 在声/光组合信号引导下,动物的朝向行为受声/光组合信号的空间方位和光信号的强度影响,当声/光信号空间方位一致(AV0)时,动物在4 s内找到平台的正确率最高,低强度和高强度光信号下分别达到88%和85%。随着声/光信号空间方位差的增大,正确率逐渐下降。但低强度光信号时,声/光方位相差15°的组合信号的正确率仍能保持较高水平,在声/光方位相差15°(AV-15和AV+15)时,分别达66%和80%,远高于单独光信号引导朝向行为的正确率

(47%)(独立样本 *t* 检验,  $P<0.05$ )(图 4A)。

用增强效应指数评价声/光组合信号的空间方位、光信号强度对朝向行为的影响,结果可见,声/光信号空间方位一致时,显著提高了动物朝向行为的正确率,随空间方位差的增加,增强效应逐渐降低(图 4B),双因素方差分析显示发发光强度对增强效应有显著影响( $F_{1,177}=16.76, P<0.001$ );声/光信号之间的空间方位差对增强效应也有显著的影响( $F_{4,177}=21.27, P<0.001$ ),多重比较结果显示,声/光信号空间方位差为0°和15°对增强效应影响明显( $P<0.01$ ),其中0°较15°的影响更为显著( $P<0.01$ )。

统计了声/光组合信号引导下大鼠朝向行为的反应时间,结果发现,在高强度光信号下,不同空间方位差的反应时间和单独光信号引导的反应时间之间无明显差别( $F_{4,112}=1.31, P=0.27$ ),而在低强度光条件下,空间方位差为0°和15°时,反应时间明显低于单独光信号引导下的反应时间( $F_{4,79}=3.38, P<0.05$ )(图 4C)。

### 3 讨论

3.1 听、视单模态信号引导朝向行为的比较 在本研究实验条件下,大鼠经过连续8 d的训练,由视觉信号引导的朝向行为的反应时逐渐降低,到第7日其反应时已稳定在(3.2±0.1) s的低水平。在同样的实验条件下,由单模态的听觉信号引导的朝向行为在训练的11 d内,虽然也可见反应时逐渐下降,但反应时下降的幅度要远小于声/光整合信号组,到第11日其反应时间仍保持在(25.6±3.8) s的高水平上,动物在4 s内寻找到隐藏平台的正确率也远低于50%,与视觉信号引导组的正确率形成显著的差异。说明听觉信号在引导动物进行空间定位的作用弱于视觉信号。

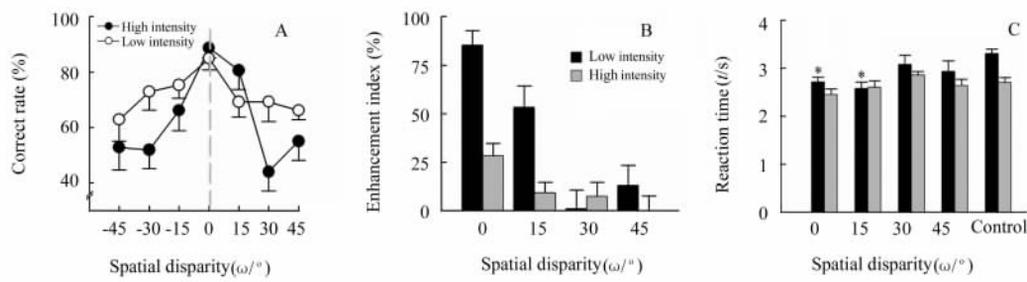


图4 声-光组合信号的方位差对大鼠朝向行为的影响

Fig 4 Orientation responses to visual target were significantly enhanced by spatially-coincident auditory cue

A: Success rate; B: Enhancement index; C: Reaction time. "Con" indicates the reaction time to single modal visual cue. \*  $P < 0.05$  vs low light intensity of control group;  $\bar{x} \pm s_x$

3.2 听/视双模态信号的整合效应 同步给予空间方位一致的声/光组合信号时,动物的空间定位能力显著增强,与单纯的光信号引导相比,寻找到隐藏平台的正确率明显提高,提示听觉信号增强了视觉信号的引导效应,产生了听-视信息的整合效应,这和文献<sup>[4, 12]</sup>对猫的研究结果一致。以往的研究表明,多模态整合遵循一些基本的规则,其中,猫对听/视信号的朝向反应研究显示,只有当听/视信号的空间方位一致时,听/视信号引导的朝向反应的正确率最高,这被认为是多模态整合的空间规则<sup>[4, 12, 15-17]</sup>。本实验中,当光信号强度较弱时,声/光组合信号引导动物朝向行为的正确率最高,在声/光信号空间方位一致时,其正确率达到88%,远高于单独光信号的47%,其增强效应达到 $(87.3 \pm 8.5)\%$ ,远高于发光强度较高时 $(28.3 \pm 6.2)\%$ 的增强效应,这也符合“强度-效应反比律”的多感觉整合规则<sup>[4, 12, 17]</sup>,提示多感觉整合对动物识别微弱、模糊的信号具有更重要意义。以上实验结果同时说明,大鼠的中枢神经系统对多模态信息的整合与其他动物一样,也遵循相同的规则。以上行为学模式可以用于进行大鼠多模态整合的研究。

#### [参考文献]

- [1] Guo J Z, Guo A K. Crossmodal interactions between olfactory and visual learning in *Drosophila* [J]. *Science*, 2005, 309: 307-310.
- [2] Newman E A. Integration of visual and infrared information in bimodal neurons of rattlesnake optic tectum [J]. *Science*, 1981, 213: 789-791.
- [3] Stein B E, Huneycutt W S, Meredith M A. Neurons and behavior: the same rule of multisensory integration apply [J]. *Brain Res*, 1988, 448: 355-358.
- [4] Kadunce D C, Vaughan J W, Wallace M T, et al. The influence of visual and auditory receptive field organization on multisensory integration in the superior colliculus [J]. *Exp Brain*

*Res*, 2001, 139: 303-310.

- [5] Jay M F, Sparks D L. Auditory receptive fields in primate superior colliculus shift with changes in eye position [J]. *Nature*, 1984, 309: 345-347.
- [6] Spence C, Squire S. Multisensory integration: maintaining the perception of synchrony [J]. *Current Biol*, 2003, 13: R519-R521.
- [7] Slutsky D, Recanzone G H. Temporal and spatial dependency of the ventriloquism effect [J]. *Neuroreport*, 2001, 12: 7-10.
- [8] Kitagawa N, Ichihara S. Hearing visual motion in depth [J]. *Nature*, 2002, 416: 172-174.
- [9] Sekuler R, Sekuler A B, Lau R. Sound alters visual motion perception [J]. *Nature*, 1997, 385: 308.
- [10] Giard M H, Peronnet F. Auditory-visual integration during multimodal object recognition in humans: a behavioral and electrophysiological study [J]. *J Cogn Neurosci*, 1999, 11: 473-490.
- [11] Lewald J, Walter H, Rainer G. Spatio-temporal constraints for auditory-visual integration [J]. *Behav Brain Res*, 2001, 121(1-2): 69-79.
- [12] Jiang W, Jiang H, Stein B E. Two corticocortical areas facilitate multisensory orientation behavior [J]. *J Cogn Neurosci*, 2002, 14: 1240-1255.
- [13] 俞黎平, 王晓艳, 李相尧, 等. 大鼠皮层听-视多感觉神经元和听-视信息整合 [J]. *生物化学与生物物理进展*, 2006, 33: 677-684.
- [14] Meredith M A, Nemitz J W, Stein B E. Determinants of multisensory integration in superior colliculus neurons. I. Temporal factors [J]. *J Neurosci*, 1987, 7: 3215-3229.
- [15] Meredith M A, Barry E S. Spatial determinants of multisensory integration in cat superior colliculus neurons [J]. *J Neurophysiol*, 1996, 75: 1843-1857.
- [16] King A J, Calvert G A. Multisensory integration: perceptual grouping by eye and ear [J]. *Current Biol*, 2001, 11: R322-R325.
- [17] Holmes N P, Spence C. Multisensory integration: space, time and superadditivity [J]. *Current Biol*, 2005, 15: R762-R764.
- [18] Harrington L K, Peck C K. Spatial disparity affects visual-auditory interactions in human sensorimotor processing [J]. *Exp Brain Res*, 1998, 122: 247-252.

[收稿日期] 2007-04-16

[修回日期] 2007-05-07

[本文编辑] 曹静