

海马结构、前额皮层或尾-壳核损毁 对大鼠空间认知能力的影响¹⁾

隋 南 陈双双 匡培梓

中国科学院心理研究所

摘 要

本研究的目的是探讨海马结构(HF)、前额皮层(PFC)和尾-壳核(CP)在大鼠空间认知加工中的作用。实验观察到 HF 或 PFC 损毁大鼠 Morris 迷宫学习或记忆作业成绩显著低于 CP 损毁组和控制组(CG); HF 损毁大鼠主要采用与其它各组不同的“非图类”搜索策略。搜索策略的差异提示: HF 和 PFC 在大鼠图认知加工系统中处于不同的功能层次, HF 起相对重要的作用。CP 几乎不影响大鼠空间认知能力,表现出哺乳类与鸟类同源结构的功能分化倾向。

关键词: 前额皮层, 海马结构, 尾-壳核, 搜索策略, Morris 迷宫, 图认知

引 言

我们先前的研究结果提示, 隔区和皮质顶叶在图认知加工系统中处于不同的功能层次, 其作用亦存在明显差异^[1]。这一结论与认知层次理论及学习记忆的泛脑学说是一致的。进一步探索大鼠不同的神经结构在空间认知加工系统中的作用, 对于了解空间认知加工系统的功能层次及机制无疑是有益的。

动物在种系发生上越是处于高级阶段, 其 PFC 就越发达。对于 PFC 功能的研究日渐引人瞩目。有资料表明, PFC 可以接受多种感觉信息, 包括空间和非空间信息, 这些信息在 PFC 引起的反应多属非原发感觉反应; PFC 某些区域神经元对视觉刺激有方向选择性^[2]。上述结果多来源于对人类或其它灵长类的研究。近来有人报道, 大鼠中前额叶皮质(mPFC)影响操作性延迟空间反应选择(ODSRA)的获得^[3]。这说明种系发生上处于较低级阶段的哺乳类 PFC 亦对空间行为效应施加某种影响。

CP 是鸟类定向及行为学习的主要神经结构^[4], 但哺乳类 CP 是否仅与运动的平衡和稳定有关而与定向无关呢? Jane 报告, 在一种双通道迷宫中, CP 损毁可引起位置辨别障碍, 但丰富的提示线索有助于克服这种障碍^[5]。CP 是否参与图认知加工, 目前尚未见报道。

有关海马系统与空间学习记忆的关系研究较多, 主要倾向于海马系统是空间认知加工的关键部位, 但海马系统包括一系列亚结构, 其作用亦是复杂的。

1) 本文于1991年9月24日收到。

基于我们以往的工作,本文将进一步探讨大鼠 HF、PFC 和 CP 在空间认知加工中的作用及相互关系。

方法与材料

实验动物:成年雄性 Wistar 大白鼠(中国科学院生物物理所动物室提供),实验起始体重 200 ± 20 g,共 64 只。随机分为 8 组,每组 8 只,学习和记忆作业各 4 组,有关本实验的方法、程序及装置,详见《隔区或皮质顶叶损毁对大鼠空间认知能力的影响及其搜索策略差异的研究》^[1]一文。

结 果

一、组织学检查

HF 学习组和记忆组各有 1 例位置偏差;PFC 学习组和记忆组各有 1 例损毁面积偏小($<2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm}$),统计时各组均筛去 1 例。其它各组损毁范围如图 1、图 2、图 3 所示。

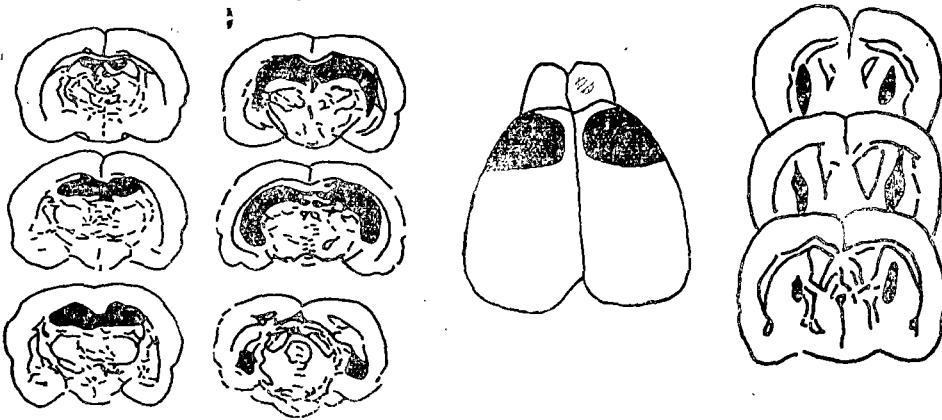


图 1 HF 损毁冠状切面示意图

图 2 PFC 损毁示意图

图 3 CP 损毁冠状切面示意图

二、HF、PFC、CP 对学习的影响

1. 潜伏期的比较

各组转换站台前 7 个训练组次平均潜伏期如图 4 A 所示。结果表明:HF 组与其它各组差异均显著, $F(1,12) = 12.20, P < .01$; $F(1,12) = 31.4, P < .01$; $F(1,12) = 28.41, P < .01$; PFC 组与 CP 组、CG 组差异不显著, $F(1,12) = 2.16, P > .05$; $F(1,12) = 2.91, P > .05$; PFC 组与 CG 组差异不显著, $F(1,12) = 1.97, P > .05$ 。

各组转移站台后 5 个训练组次平均潜伏期如图 4 B 所示。HF 组与其它各组差异显著, $F(1,12) = 9.86, P < .01$; $F(1,12) = 20.16, P < .01$; $F(1,12) = 24.14, P < .01$ 。PFC 组与 CP 组、CG 组差异较显著, $F(1,12) = 5.97, P < .05$; $F(1,12) = 7.14, P < .05$ 。CP 组与 CG 组差异不显著, $F(1,12) = 1.14, P > .05$ 。

上述结果表明:HF 损毁大鼠成绩始终差于其它各组;PFC 损毁大鼠最初成绩与 CP 损毁和 CG 大鼠相比差别不明显,随着训练的增加这种差异逐渐明显。

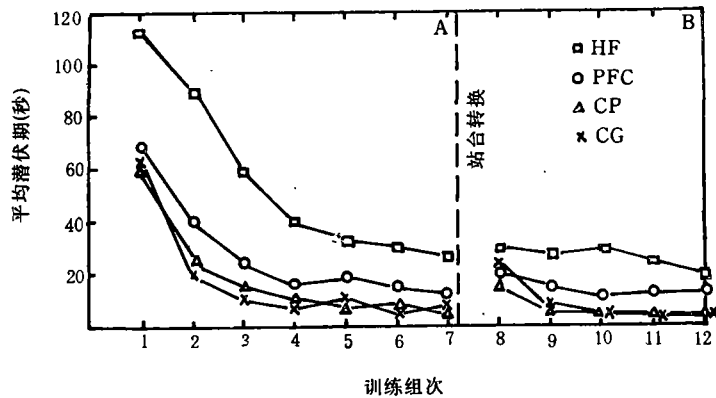


图4 学习作业各组 12 个训练组次平均潜伏期示意图

2. 朝向错误比较

各组转换站台前 7 个训练组次平均朝向错误如图 5 A 所示。HF 组与 PFC 组差异较显著, $F(1,12) = 6.90, P < .05$; HF 组与 CP、CG 组差异显著, $F(1,12) = 17.40, P < .01$; $F(1,12) = 16.38, P < .01$ 。PFC 组与 CP、CG 组差异较显著, $F(1,12) = 7.14, P < .05$; $F(1,12) = 5.97, P < .05$ 。CP 与 CG 组差异不显著, $F(1,12) = 2.10, P > .05$ 。

各组转换站台后 5 个训练组次平均朝向错误如图 5 B 所示。HF 组与其它各组差异均显著, $F(1,12) = 10.20, P < .01$; $F(1,12) = 18.40, P < .01$; $F(1,12) = 17.40, P < .01$ 。PFC 组与 CP、CG 组差异较显著, $F(1,12) = 7.18, P < .05$; $F(1,12) = 8.10, P < .05$ 。CP 与 CG 组之间差异不显著, $F(1,12) = 2.34, P > .05$ 。

与潜伏期相比 HF 组与 PFC 组之间, PFC 组与 CP、CG 组之间所呈现的差异并不一致,表现出潜伏期与朝向错误的分离倾向,我们认为可能是搜索策略的差异造成的。

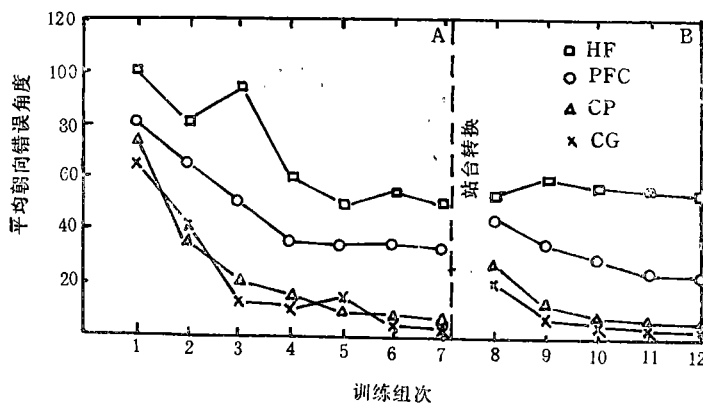


图5 学习作业各组 12 个训练组次平均朝向错误示意图

3. 搜索策略的比较

搜索站台仍出现 4 种典型方式: 随机式、边缘式、趋向式和图式。图 6 列出了各组在训练中不同策略出现的平均次数可以直观地比较它们之间的差别。方差分析表明,除 CP

组与对照组之间差异不显著 ($P > .05$) 外, 其它每两组之间边缘式、趋向式及图式策略出现率都存在显著差异 ($P < .01$)。这说明 HF 损毁大鼠主要采用边缘式策略; PFC 损毁大鼠主要采用趋向式策略; 而 CP 损毁及正常大鼠则以图式策略为主。

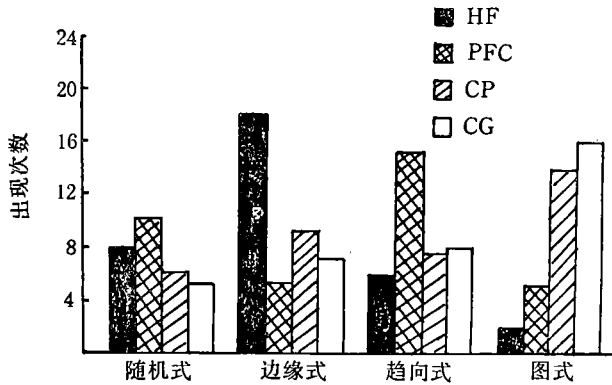


图6 学习作业各组不同策略出现的平均次数

三、HF、PFC 或 CP 对记忆的影响

1. 潜伏期的比较

记忆作业各组术后7个训练组次平均潜伏期如图7所示。HF组与其它各组差异均显著, $F(1, 12) = 18.49, P < .01$; $F(1, 12) = 28.42, P < .01$; $F(1, 12) = 37.1, P < .01$ 。PFC组与CP、CG组差异较显著, $F(1, 12) = 4.91, P < .05$; $F(1, 12) = 5.41, P < .05$ 。CP与CG组差异不显著。

2. 朝向错误的比较

记忆作业各组术后7个训练组次平均朝向错误如图8所示。HF组与其它各组差异显著, $F(1, 12) = 9.87, P < .01$; $F(1, 12) = 14.94, P < .01$; $F(1, 12) = 24.88, P < .01$ 。

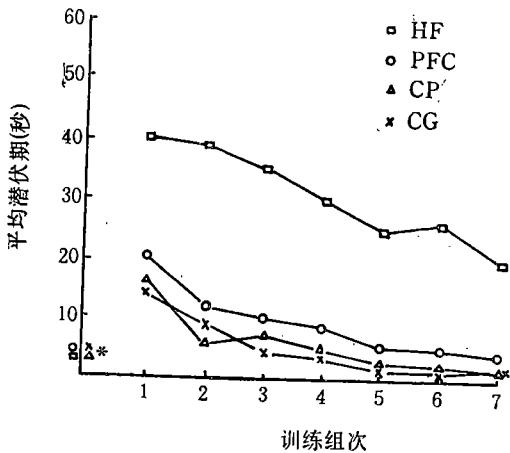


图7 记忆作业各组术后7个训练组次平均潜伏期示意图

• 各组最后一次术前训练平均成绩

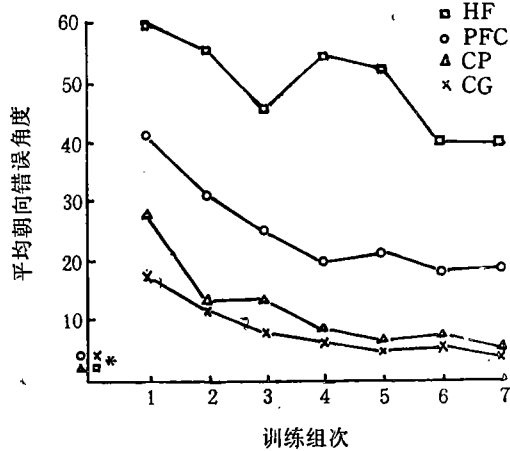


图8 记忆作业各组术后7个训练组次平均朝向错误示意图

• 各组最后一次术前训练平均成绩

PFC 组与 CP 及 CG 组差异较显著, $F(1, 12) = 6.96, P < .05$; $F(1, 12) = 5.41, P < .05$ 。CP 与对照组差异不显著。

3. 搜索策略的比较

HF 组仍以边缘式为主, 但趋向式及图式出现率较学习组高; 与学习组相比 PFC 组图式策略增多趋势明显; CP 组和 CG 组仍以图式策略为主。图 9 列出了各组在记忆作业中不同策略出现的平均次数。方差分析表明: 除 CP 组与 CG 组之间差异不显著 ($P > .05$) 外, 其它每两组之间主要策略方式仍存在显著差异 ($P < .01$) 或较显著差异 ($P < .05$)。

与学习作业相比, 搜索策略似乎存在动态变化趋势, 这种动态趋势所揭示的实质有待探讨。

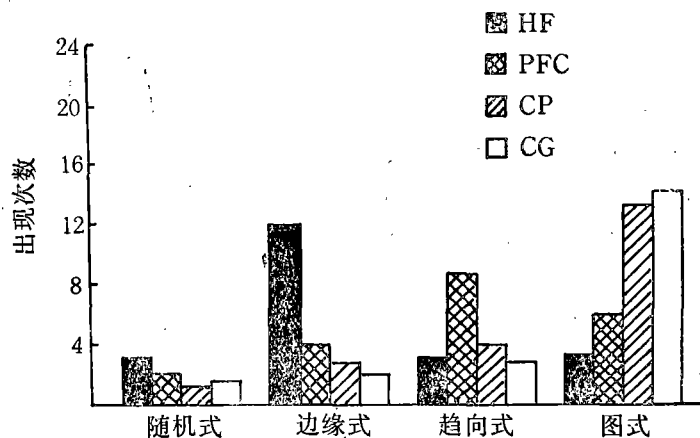


图 9 记忆作业各组不同策略出现的平均次数

讨 论

本实验中, HF 损毁大鼠不仅表现出空间认知获得障碍, 同时亦影响其习得行为的保持。这与 Sutherland 及 Olton 等人分别在 Morris 迷宫及辐射式迷宫中所观察到的结果一致^[6,7]。然而, 更为引人注目的并不是 HF 损毁大鼠认知获得及保持障碍这一显而易见的事实, 而是其搜索目标过程中所采用的与正常大鼠不尽相同的边缘式策略。Di Mattia 曾描述过这种沿壁搜索的现象, 他认为 HF 不是图认知的基本结构, 边缘式策略仍是图认知倾向的表现, 只是精确性降低而已^[8]。对于这种看法难免使人产生两点疑惑: 其一, 单细胞放电分析以及在海马记录到的 LTP、LDP 效应与上述观点相悖。此外, 并无足够证据支持海马系统之外某个特定部位是图认知的关键结构。其二, 图认知是以外部线索为参照点的空间认知方式, 而边缘式策略是以自我参照点 (egocentric) 的空间认知方式^[9]。Di Mattia 的解释容易使人忽略这两种认知方式可能存在的质的区别。况且, HF 损毁并不一定使空间认知能力完全丧失, 边缘式策略至少暗示某种空间认知能力的存在, 如距离知觉等。我们更倾向于认为, 图认知系统受损后其它加工系统的参与是边缘式策略出现以及搜索策略动态变化的主要原因。有人发现, 损毁海马系统导致的空间认知缺陷, 随着训练次数增加而逐渐消失^[7,10]。这些证据无疑支持我们上述看法。

大鼠 PFC 大致可划分为 mPFC (the medial prefrontal cortex) 和 oPFC (the or-

bital prefrontal cortex)两部分。Frans 等人研究 mPFC 损毁大鼠对 ODSRA 的影响,从而证实 PFC 参与空间认知行为的加工及整合。我们的实验结果表明: PFC 损毁大鼠潜伏期明显延长,朝向错误明显加大。PFC 参与了图认知加工,但与 HF 在图认知加工系统中的作用相比显然处于相对次要地位。PFC 损毁大鼠趋向式为主的搜索策略提示两种可能性:第一,图认知能力精确性受损;第二,其它空间认知加工系统参与。我们倾向于肯定前者的真实性。根据之一,趋向式策略表现出对目标位置及方向判断的基本正确,与盲目的随机式及以自我参照点的边缘式有质的差异;根据之二,训练中,正常大鼠亦经过趋向式过渡到图式的策略演变过程,只是 PFC 损毁大鼠这一过程较长。PFC 参与调节运动系统、行为整合及保持行为与内外环境的协调性^[11]。因此,破坏 PFC 引起的图认知障碍与上述功能的弱化必然存在因果联系。

鱼类、两栖类就有了旧纹状体,爬行类之后有了新纹状体,主要是 CP 部分。纹状体在哺乳类以下的低等动物是复杂的非条件反应中枢。由爬行类进化而来的鸟类及哺乳类其纹状体无论是形态还是功能都发生巨大变化。鸟类 CP 是定向及行为学习的主要神经结构,高等哺乳类 CP 功能则退居次要地位,从属大脑皮质控制下的锥体外系,与运动的平衡及稳定功能有关。关于大鼠 CP 功能的研究仍有争论。本实验结果提示: CP 不参与图认知加工,表现出鸟类与哺乳类同源结构的功能分化倾向。但不能排除 CP 参与其它形式的空间加工系统,因为大鼠 CP 功能毕竟是低等动物 CP 功能向高等动物 CP 功能逐渐演化过程中的过渡环节。

参 考 文 献

- [1] 隋南, 匡培梓, 隔区或皮质顶叶损毁对大鼠空间认知能力的影响及大鼠搜索策略差异的研究, 心理学报, 1992年, 第1期, 81—88页。
- [2] MiKami, A., et al., Integrative control function of the brain, Vol. 2, Kodansha, Tokyo, 1979, 398—400.
- [3] Frans, V. H., et al., Acquisition of conditional association and operant delayed spatial response alternation: Effects of lesions in the medial prefrontal cortex. Behavioral Neuroscience, 1988, (102), 481—488.
- [4] Donald, A. D., et al., Comparative Psychology. New York, McGraw-Hill, Inc, 1974, pp200—400.
- [5] Jane, A. M., et al., Learning in rats with caudate-putamen lesions: Unimpaired classical conditioning and beneficial effects of redundant stimulus Cues on instrumental and spatial learning deficits. Behavioral Neuroscience, 1988, (102), 504—514.
- [6] Sutherland, R. T., et al., Spatial mapping: Definitive disruption by hippocampal or medial frontal cortex damage in the rat. Neuroscience Letter, 1982, (31), 271—276.
- [7] Olton, D. S., et al., Spatial memory and hippocampal function. Neuropsychologia, 1979, (17), 669—682.
- [8] DiMattia, B. D., et al., Spatial cognitive map: Differential role of parietal cortex and hippocampal formation. Behavioral Neuroscience, 1988, (102), 471—480.
- [9] Yoerg, S. J., et al., Response strategies in the radial arm maze: Running around in circles. Animal Learning and Behavior, 1982, (10), 530—534.
- [10] Jarrard, L. E., Selective hippocampal lesions and behavior: Effects of Kainic acid lesions on performance of place and cue task. Behavioral Neuroscience, 1983, (97), 873—890.
- [11] Kolb, B., Functions of the frontal cortex of the rat: A comparative review. Brain Research Reviews, 1984, (20), 163—181.

SPATIAL COGNITIVE ABILITY IN RATS; EFFECT OF LESIONS IN HIPPOCAMPAL FORMATION AND PREFRONTAL CORTEX AND CAUDATE-PUTAMEN

Sui Nan Chen Shuangshuang Kuang Peizi

Institute of Psychology, Academia Sinica, Beijing

Abstract

The effects of hippocampal formation (HF) and prefrontal cortex (PFC) and caudate-putamen (CP) lesions in rats were investigated in the Morris maze for the acquisition and retention of spatial cognitive tasks. The results indicate that both subjects with HF and PFC lesions lead to spatial cognitive deficits. However, the former usually used paratopic strategies of "no mapping" which were different from the taxic strategies used by the latter. The different strategies suggest that HF and PFC are in different levels of the spatial cognitive system, the role of HF is more important than that of PFC. The spatial cognitive ability of rats was not affected by CP lesions, which indicates functional differentiation tendency of homology in mammal and birds.

Key words: hippocampal formation, prefrontal cortex, Caudate-Putamen, cognitive mapping, searching strategies, Morris maze