

不知道感(FOnK)脑机制的功能磁共振成像

罗劲^① 仁木和久^② 罗跃嘉^{①③*}

(^①中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101; ^②日本产业技术综合研究所脑神经情报研究部门, 筑波 305-8568, 日本; ^③中国科学院生物物理研究所视觉信息加工重点实验室, 北京 100101. * 联系人, E-mail: luoyj@psych.ac.cn)

摘要 采用事件相关功能磁共振成像技术(event-related fMRI), 以无关词对为材料、“线索回忆-FOK 判断-再认”(recall-judgment-recognition, RJR)为实验程序, 研究了被试在元记忆判断中准确地预测自己将不能够在其后的再认测验中认出特定的记忆目标时(“不知道感”(FOnK))的脑活动状况. 结果发现: 准确的 FOnK 预测相对于不准确的 FOnK 预测而言, 伴随有更多的岛叶及右腹侧额叶的活动. 目前已经知道, 这个区域的功能与在线索回忆中把线索转变成可以直接指导记忆搜索活动的“描述符”(descriptors)的“线索锁定过程”(cue specification)有关. 说明准确的 FOnK 预测是通过一个基于线索熟悉性判断(cue-familiarity heuristic)的过程而实现的.

关键词 事件相关功能磁共振成像 知道感 线索锁定过程

有关 FOK 的研究始于 20 世纪 60 年代^[1], 典型的 FOK 实验程序, 是问人们一系列知识性的问题(比如一个国家的首都在哪里)或在他们学习过一些记忆材料之后令他们根据记忆线索进行回忆, 当人们不能成功地回忆起特定的记忆目标的时候, 就让他们判断自己在主观感觉上是否对那个记忆目标有一种“我知道之感”(FOK 判断)——通常的任务是让他们判断自己是不是能够再认出那个记忆目标, 因为再认比线索回忆更容易一些——并在其后用再认测验检验这些判断. 结果发现: 对于那些得到正性的或积极的 FOK 判断的项目, 人们在再认测验中认出他们来的可能性, 比对于那些得到负性的或消极的 FOK 判断的项目要更大. 这说明, 即使人们当时并不能成功地提取出的某种记忆, 他们仍然可能有一种“我知道之感”, 这是一种对记忆的记忆, 即元记忆. 但是, 对于 FOK 赖以实现的大脑机制还所知甚少. 以往的有关研究主要是用脑损伤的病人作为被试, 比如, Shimamura 和 Squire^[2]发现可萨可夫综合征(Korsakoff syndrome)病人不能做出准确的 FOK 判断, 因为这类病人的病变脑区主要分布于额叶, 人们据此推测 FOK 判断的关键区域可能在额叶. 但也有 FOK 判断与颞叶功能有关的报道^[3,4]. 新近发展起来的功能性磁共振脑成像技术(fMRI)和事件相关(event-related)的实验研究分析范式, 为在无损伤的条件下研究正常人作 FOK 判断时大脑如何活动提供了直接的研究手段. 在我们最近的研究中发现, FOK 与“不知道感”(feeling-of-not-knowing, FOnK)可能

是依赖于不同的大脑机制实现的^[5]. 所谓“知道感”或 FOK 是指被试对某一项目做出正性的或乐观的元认知判断(“我知道: 我知道”), 并且在其后的检验其判断的准确性的标准测验中能成功地再认出该项目; 而所谓的“不知道感”或 FOnK 是指被试做出负性的元认知判断(“我知道: 我不知道”), 并且其后也不能成功地再认该项目. 以往所有的行为研究, 都不加区分地将上述两种情况当做一类项目来考虑, 认为它们都属于“准确的元认知判断”. 但是, 脑成像的结果却直接显示: FOK 的项目可以导致大量的脑(特别是额叶区域的)活动, 而 FOnK 的项目则只伴随有少量的脑活动. 这表明, FOK 可能是基于一个积极的提取和元记忆判断过程, 而 FOnK 则有可能基于一个“虚无的”脑活动状态, 也就是说, 没有多少认知加工伴随 FOnK, 人们基于“一无所获”而做出“不能再认”的判断. 探索 FOnK 的认知与大脑机制, 不但可以加深对于元记忆现象的理解, 开辟新的研究思路, 而且也可以为人工智能的研究提供一些有益的启示, 其中较为突出的一点是, 当前的人工智能系统原则上只知道自己拥有某种信息, 但却并不知道自己不拥有某种信息, 也就是说, 智能机器只知道自己知道, 但并不知道不知道自己不知道. 而 FOnK 的研究却提示, 人类的智能系统中, 同时存在两种元认知的监测力: 人既知道自己知道, 也知道自己不知道.

本研究采用 fMRI 方法, 比较准确的 FOnK 预测(在元记忆判断中说“不”, 在其后的标准测验中也不能成功再认)与不准确的 FOnK 预测(在元记忆判断

中说“不”，但在其后的标准测验中却能够成功再认)在大脑过程上有何不同，以此来探索 FOnK 赖以实现的机制。近期的脑成像研究表明：左侧额叶的活动与伴随个人努力、有系统有目的记忆提取有关；右侧额叶的活动与基于感知熟悉性的提取有关^[6]。基于感知熟悉性的提取过程的实现，有赖于一个对提取线索的“锁定”过程(cue specification)，即把提取线索转变成可以直接指导记忆搜索活动的“描述符”(“descriptors”)。已经有研究表明：在线索回忆过程中，岛叶及右腹侧额叶的活动代表一个对提取线索的“锁定”过程^[7]。因而，本研究的关键假设是：如果 FOnK 是基于一个线索熟悉性过程而实现的话，那么，准确的 FOnK 预测相对于不准确的 FOnK 预测而言，应当有更加有效的对提取线索的“锁定”过程，因此，会引发更多的岛叶及右腹侧额叶的活动。

1 方法

(i) 被试。年龄在 20 ~ 22 岁之间的大学本科学生 9 名(4 男 5 女)。在正式实验之前，主试向被试说明了实验的方式以及内容，并签了研究协议。

(ii) 材料。正式实验所用的材料为由低频双汉字词所组成的 160 个无关词对，如“项目-大臣”(“项目”为线索词，“大臣”为目标词)。其中，80 个词对作为学习材料，另外 80 个词对在最后的再认测验中作为干扰项目。

(iii) 实验程序。实验程序由“学习”，“线索回忆与 FOK 判断”和“再认测验”3 个阶段所组成。fMRI 的扫描在第 2 个阶段(线索回忆和 FOK 判断阶段)进行。

1) 学习阶段。在学习之前告诉被试，尽量学习并记住呈现在屏幕上的词对，学完后，将呈现给他们每个词对中摆在左边的那个线索词，而要求他们回忆出右边的那个与之匹配的目标词。被试学习 80 个无关词对，每个项目呈现的时间为 2 s，项目与项目之间有半秒的间隔。项目以随机顺序呈现，共学习 2 次。

2) 线索回忆和 FOK 判断阶段。在学习阶段结束 7 min 之后，线索回忆以及 FOK 判断开始，并伴随 fMRI 扫描。通过由计算机、投影仪、毛玻璃银幕和折光镜所组成的刺激呈现系统，向被试逐一以随机顺序呈现线索词，要求被试回忆与之相匹配的目标词。由于被试在 MR 设备中不许说话，因此，他们通过按压绑在自己右腿上的反应盒上的键来表示他们的判断(反应信号由不含金属物质的光缆输出到外面

的记录设备上，但在本实验中，只记录了反应的类型而未能记录反应时间)，反应盒上有左、中、右 3 个键。被试分别用食指、中指和无名指按压它们。其中按压左键表示被试能够成功地回忆出相应的目标词；按压中键表示被试虽然不能成功地回忆出相应的目标词，但确信自己在再认的时候能够认出它来；按压右键表示被试既不能成功地回忆出相应的目标词，也觉得自已不能再认它。每个线索词呈现的时间为 2 s，随之以 4.6 s 的静息(预备试验表明，在 TR 为 3 s 的情况下，这个时间间隔可以有效地记录元记忆判断事件所引发的脑活动)。除线索词项目之外，还有另外一类单纯的按键项目作为控制水平。这类项目由一个星号(*)表示，当被试看到星号时，就按一次键。按键的反应是依左、中、右的顺序进行的，比如，被试看到第 1 个星号时，就按左键，看到第 2 个时就按中键，看到第 3 个时就按右键等。星号类项目总是一个接一个连续呈现的(3 ~ 5 个为一组)，其呈现速度与线索回忆和 FOK 判断类项目相同，也是 6.6 s 一个(2 s 呈现，4.6 s 静息)。线索回忆和 FOK 判断项目和按键项目以区组(block)的方式相隔呈现，每 10 个线索回忆和 FOK 判断项目为一个区组，每 3 ~ 5 个按键项目为一个区组，但线索回忆及 FOK 判断项目的呈现顺序相对于学习和再认而言是随机的。

3) 再认测验阶段。线索回忆和 FOK 判断阶段结束 5 min 后，被试做再认测验，他们对呈现给他们的词对一一做“是”或“否”的再认判断，要求被试对每个项目在不长于 5 s 的时间内做出反应。再认的项目共 160 个，其中，一半为旧项目，一半为干扰性的新项目，以随机顺序呈现。

4) 事件分类。根据被试在“线索回忆和 FOK 判断”及“再认测验”两个阶段的反应，将项目定义为 SC、PP、PN、NP 和 NN 5 种(表 1)，其中，NP 和 NN 涉及负性(FOnK)的元记忆判断，NN 为在元记忆判断中说“不”，在其后的标准测验中也不能成功再认的项目；而 NP 为在元记忆判断中说“不”，但在其后的标准测验中却能够成功再认的项目，NP 和 NN 是本研究所要考察的主要之点。

表 1 项目分类方法以及表示各类项目的简称

		线索回忆和 FOK 判断			
		线索回忆成功		线索回忆失败	
		击中	漏报	正性 FOK 判断	负性 FOK 判断
再认	击中	SC		PP	NP
	漏报			PN	NN

(iv) 脑成像方法. 采用 3T GE Signa MRI 扫描仪和配备 EPI 功能的头线圈进行脑成像. 功能性图像采用 T_2^* 加权的倾斜梯度回波 (gradient-echo EPI) 序列. 取 18 层 5.5 mm 厚间隔扫描记录全脑的活动. 成像参数为: TR(重复时间) = 3 s, TE(回应时间) = 32 ms, FA(回转角度) = 70° , FOV(有效摄像视野) = 20 cm \times 20 cm (64 \times 64 y). 为了防止头动, 在被试的颈部戴了通常在颈椎受伤时使用的固定带, 并且在头线圈与被试的头部之间加添了海绵块. 在本研究中所采用的方法, 与我们在以往的研究中相类似^[8].

(v) 脑成像数据分析方法. 在图像重建后, 使用 SPM 软件对每名被试的数据进行预处理. 然后采用 SPM99 的事件相关分析程序, 对 9 名被试的标准化以后的脑成像数据建模, 在模型中统计了 6 类事件 (SC, PP, PN, NP, NN 以及按键项目 KP) 的脑活动. 检验差异显著性的阈限水平选择在 $P < 0.0013$. 激活脑区的 SPM 坐标 (MNI 坐标) 通过非线性转换而成为通常使用的 Talairach 坐标.

2 结果

我们将在本文中集中讨论准确的 FOnK 预测 (NN) 与不准确的 FOnK 预测 (NP) 在大脑机制上的异同.

2.1 行为结果

FOK 判断与其后的再认测验的 Gamma 相关为 0.26, 明显大于 0 (95% $CI_{\text{上限}} = 0.496$, 95% $CI_{\text{下限}} = 0.026$), 这说明从整体上讲, FOK 判断对再认测验的预测在机会水平之上. 基于 FOK 与 FOnK 是由不同的认知与脑过程实现的假设, 我们单独检查了 FOnK 和 FOK 的情况. 结果表明: 在所有的“不能再认”判断 (FOnK, NN 和 NP) 中, 其后能够准确再认的项目占 53%, 不能准确再认的项目只占 47%, 这说明大部分被元记忆判断预测为“不能再认”的项目, 在其后的测验中都能够被准确地再认, 也就是说, 从行为上看, FOnK 没有预测的准确性; 与此相反, 在所有的“能够再认”判断 (FOK, PP 和 PN) 中, 其后能够准确再认的项目占 77%, 不能准确再认的项目只占 23%, 说明 FOK 具有预测的准确性. 因此, 可以推论, 在这项标准的 FOK 研究中, 元记忆判断的预测准确性 (表现为机会水平之上的 Gamma 相关) 主要是由 FOK, 而不是 FOnK 所造成的.

2.2 脑成像结果

NN 与 NP 的项目数量分布大体相当 (NN 最大值 =

25, 最小值 = 11, 平均值 = 19.17, 标准差 = 5.04; NP 最大值 = 29, 最小值 = 13, 平均值 = 20.83, 标准差 = 5.35), 在它们之间可以进行较为均衡的比较. 与不准确的 FOnK 预测 (NP) 相比, 准确的 FOnK 预测 (NN) 伴随岛叶及右腹侧额叶的活动, 其兴奋的中心 (即 NN 与 NP 差异最大的点) 位于岛叶 (insula, 表 2 和图 1). 进一步对这个区域的活动进行检验, 结果表明两点: 其一, 在 NN 与 NP 显示最大差异的右侧岛叶, 脑活动的信号变化呈正性 (图 1); 其二, 无论是 NN 还是 NP, 与基线的按键反应 (KP) 相比, 都在右腹侧额叶以及岛叶有显著的脑活动 (图 1), 这说明这个区域既参与了准确的 FOnK 预测 (NN), 也参与了不准确的 FOnK 预测 (NP), 它只是在准确的 FOnK 预测中更加活跃而已. 反过来, 与准确的 FOnK 预测 (NN) 相比, 不准确的 FOnK 预测 (NP) 伴随有更多的左中央后回 (BA 2 区), 左扣带回 (BA 31 区) 和左楔前叶 (BA 31 区) 的活动 (表 2).

表 2 NN 与 NP 所引发的脑活动的差异比较^{a)}

对比	Talairach 坐标			T 值	脑区
NN-NP	32	10	-2	3.08	右岛叶
NP-NN	-53	-20	30	2.86	左中央后回, BA 2 区
	-12	-23	40	2.67	左扣带回, BA 31 区
	-22	-65	24	2.64	左楔前叶, BA 31 区

a) $P < 0.0013$

3 讨论

Fletcher 等人^[7]发现, 相对于根据内在的记忆线索进行的记忆提取而言, 当人们被要求根据外在的线索进行记忆提取时, 会激发更多的岛叶及右腹侧额叶的活动, 因此, 这个区域被认为与记忆提取线索的“锁定”有关. 在本实验中, 我们在“NN 减 NP”的比较中观察到了与 Fletcher 等人所探知的位置十分接近的脑活动, 这提示, 准确的 FOnK 预测相对于不准确的 FOnK 预测而言, 有一个更加充分的对提取线索的“锁定”过程. 这个“锁定”过程的作用可能包括两个方面, 一是使外在的记忆线索得以有效地控制内在的提取过程, 使记忆提取成为一个类似“场依存”的搜索过程, 而不是一个类似“场独立”的搜索过程; 二是使信息加工的心向指向“线索词”与“靶子词”之间的连结, 而不是线索词本身, 使信息搜索的努力聚焦在寻找与特定线索词相连的靶子词上. 准确的 FOnK 判断 (NN) 之所以能够成功地预测其后的再认, 是因为被试在做这类判断时, 更好地将记忆提取的努力锁定在与线索词相连的那个目标词上, 并对目标词信息的一无所获而做出负性的元记忆判断.

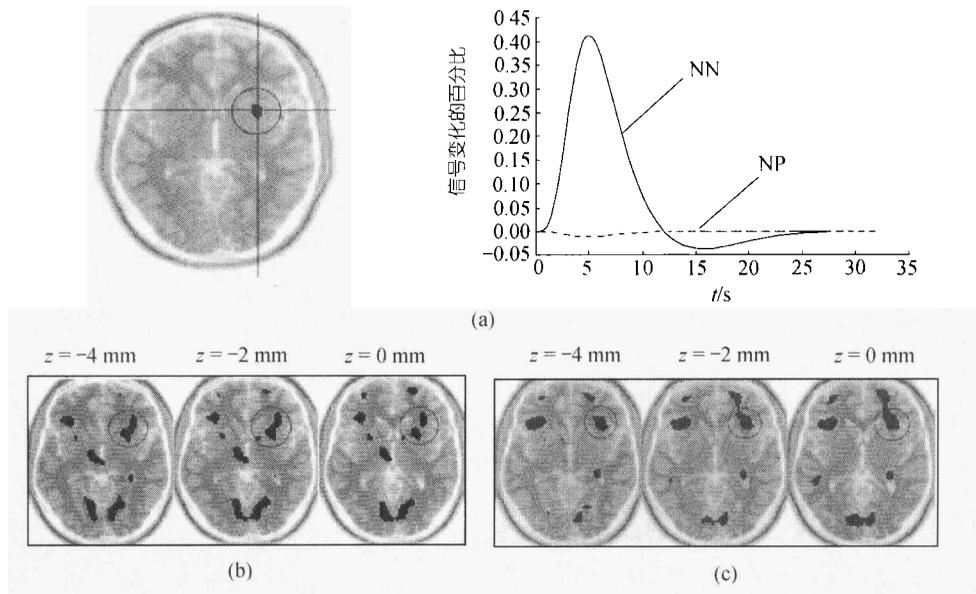


图 1 右腹侧额叶以及岛叶在 FOnK 中的活动

(a) NN 减 NP 的情况. (b) NN 减 KP 的情况. (c) NP 减 KP 的情况. 在(a)中, 脑图中的十字标识 NN 与 NP 差异最显著的峰点位于 $(x, y, z) = (32, 10, -2)$, 右图为 NN 与 NP 在峰点上的最佳拟合规范的(best-fitting canonical)HRF(hemodynamic response function)信号变化(%)曲线, 横坐标为时间, 纵坐标为信号变化(%). (b)与(c)分别示在 $z = 0, z = -2$ 和 $z = -4$ 的切面上, NN 和 NP 相对于基线水平 KP 的脑活动变化. 以上脑活动图均为映射于 SPM 标准脑上的 9 名被试的平均结果. 右腹侧额叶以及岛叶区的活动由圆圈标出

FOK 的线索熟悉性假说强调, 元记忆判断是基于对与线索有关的信息的利用^[9], 而对提取线索的有效的“锁定”是其中的一个基本的认知环节. 本实验用脑成像的手段证实了右腹侧额叶以及岛叶在 FOnK 中的作用, 支持了 FOK 的线索熟悉性假说. 事实上, 相对于按键的基线水平而言, 在 NN 与 NP 中均观察到了右腹侧额叶以及岛叶的活动, 这说明对提取线索的“锁定”过程普遍地存在于 FOnK 预测之中, 无论是准确的 FOnK 预测, 还是不准确的 FOnK 预测中, 都会包含这个过程, 只是在准确的 FOnK 预测中, 这个过程进行得更加充分而已, 而元记忆判断对于记忆操作的预测力, 正体现于此. 就目前的研究状况而言, 我们还很难断言“准确的 FOnK”与“不准确的 FOnK”之间究竟是质的差异还是量的差异. 就脑活动而言, 尽管“准确的 FOnK”与“不准确的 FOnK”造成统计学上明显的差异, 但这并不能作为这两类项目之间有质的差异的证据. 首先, 与按键的基线水平的比较表明: 提取线索的“锁定”过程普遍地存在于“准确的 FOnK”和“不准确的 FOnK”之中. 其次, 脑成像研究在本质上是一种相关研究, 它并不能提供可靠的因果推论, 要讨论“准确的 FOnK”与“不准确的 FOnK”之间究竟是否存在质的差异, 还需进一步来自脑损伤以及认知心理学的实验分离证据.

致谢 本工作为国家自然科学基金资助项目(批准号: 30270464), FAIPICS, 中国科学院知识创新工程方向性项目(批准号: KGCX2-SW-101)和中国科学院“百人计划”资助项目.

参 考 文 献

- Hart J T. Memory and the feeling-of-knowing experience. *J Educ Psychol*, 1965, 56: 208~216
- Shimamura A, Squire L. Memory and metamemory: a study of the feeling-of-knowing phenomenon in amnesic patients. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 1986, 12: 452~460
- Prevey M L, Delaney R C, Mattson R H. Metamemory in temporal lobe epilepsy: self-monitoring of memory functions. *Brain Cogn*, 1988, 7: 298~311
- Prevey M L, Delaney R C, Mattson R H, et al. Feeling-of-knowing in temporal lobe epilepsy: monitoring knowledge inaccessible to conscious recall. *Cortex*, 1991, 27: 81~92
- Luo J, Niki K. Imaging the metamemory: an event-related functional MRI research on feeling-of-knowing judgments (FKJs). *Int J Psychol*, 2000, 35: 40
- Nolde S F, Johnson M K, Raye C L. The role of prefrontal during test of episodic memory. *Trends Cognit Sci*, 1998, 2: 399~406
- Fletcher P C, Shallice T, Frith C D, et al. The functional roles of prefrontal cortex in episodic memory II. *Retrieval Brain*, 1998, 121: 1249~1256
- Niki K, Luo J. An fMRI study on the time-limited role of the medial temporal lobe in long-term autobiographic topographical memory. *J Cogn Neurosci*, 2002, 14: 500~507
- Metcalf J. Novelty monitoring, metacognition, and control in a composite holographic associative recall model: implications for Korsakoff amnesia. *Psychol Rev*, 1993, 100: 3~22

(2002-08-06 收稿, 2002-10-14 收修改稿)