

时间选择性注意的认知神经机制*

宣 宾^{1)**} 张达人²⁾

(¹⁾安徽师范大学教育科学学院心理学系, 芜湖 241000; ²⁾中国科学技术大学生命科学学院, 合肥 230027)

摘要 时间选择性注意是注意研究中开展较晚的一个领域, 它是指通过有效的提示, 将注意资源导向与即将到来的事件相关的时间点或时间窗的过程。回顾了时间选择性注意的行为及其认知神经机制的研究, 并在与空间选择性注意比较的基础上, 对热点问题和未来的研究趋势进行了分析。

关键词 时间选择性注意, 时间知觉, 注意, 期望, 关联性负变

学科分类号 B845

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2008.00642

在日常生活中, 我们总是被大量纷繁复杂的信息所包围, 一个有效的选择机制是将注意资源导向任务相关的刺激, 忽略甚至抑制无关的干扰, 这正是选择性注意的功能。前人对注意的研究大多集中在空间维度, 相对而言, 从时间维度来研究注意才刚刚兴起。然而, 由于我们面对的环境是动态变化的, 时间这个维度对我们知觉环境、优化行为就显得尤为重要。日常经验和一些研究指出, 注意不仅可分布在空间维度, 也可以分布在时间维度上。例如, 在等待过马路时, 除了注意红绿灯的位置, 如果还能将注意集中在交通信号灯由红转绿的那个时刻, 就会更有利于人们准确和及时地做出反应。这表明除了利用目标将出现在“何处”, 我们还可以利用目标出现在“何时”的信息预期即将到来的事件。时间选择性注意探讨的正是人们利用时间信息优化行为的现象, 以及内在的认知和神经机制。

1 时间知觉与选择性注意的联系

对时间选择性注意的研究巧妙地结合和借鉴了时间信息加工和选择性注意两方面的独立研究。在我们的日常生活中, 这两项功能都是人脑常见且不可或缺的功能。加工时间信息与我们的日常生活息息相关, 从言语、音乐等听觉信息的理解到运动技巧的控制, 甚至只是简单地等待一件即将到来的事件, 这些活动都离不开对时间信息的加工。选择性注意则在我们适应环境的过程中起到举足轻重的作用。大脑有限的加工能力和蜂拥而至的海量信息之

间的矛盾, 使我们必须有所选择, 优先处理任务相关的信息, 忽略或抑制无关信息的加工, 从而更好地达到目的。越来越多的研究提示它们之间存在密切的联系。

1.1 注意对主观时间知觉的调制

对注意和时间知觉二者关系的研究更多集中在注意对时间知觉的影响上。注意可以影响时间知觉本身。虽然在日常的生活体验中, 感知和估计时间是一种普遍的, 甚至通常表现为意识下的加工。然而, 我们对时间的知觉在一定程度上受外显的注意分配的影响。一方面, 主观时间知觉的长度很容易受到注意的调制。“心急水不开”、“欢娱嫌夜短”这些谚语和诗词形象地描述了注意对时间知觉的影响^[1]。当分配到计时任务中的注意资源越多, 我们在大脑中不断累加的时间脉冲也越多, 主观时间知觉也相应越长。另一方面, 主观时间知觉的准确程度也与注意资源在计时任务中的分布有关^[2]。在双任务实验范式中, 一种方式是内隐地调节第二任务的难度, 第二任务难度越高, 分配到计时任务中的注意资源就越少, 主观时间知觉的准确性也越低。通过实验指导语外显地要求被试主动分配, 也可以有效地调制注意资源的分配比例。Coull 和 Vidal

* 国家自然科学基金资助项目(30800297)和安徽高校省级自然科学基金研究计划资助项目(KJ2008B78ZC)。

** 通讯联系人。

Tel: 0553-3937007, E-mail: xuanbin@mail.ahnu.edu.cn

收稿日期: 2008-09-17, 接受日期: 2008-10-13

等^[3]设计了一个精巧的实验来研究当逐级调整注意需求, 计时任务的行为学成绩及大脑活动是否会产生相应的改变. 实验要求被试根据 5 种提示条件主动地改变注意资源分配到颜色或时间维度上的比例, 被试的任务是或者比较时间的长短, 或者比较颜色的异同, 并做出相应的判断. 实验结果表明, 分配到计时任务中的注意资源越少, 主观时间知觉的准确性也越低.

1.2 注意的时间容量限制

注意是一个时空维度都存在容量限制的加工系统. 侧抑制效应(flanker effect)关注的是注意的空间容量限制^[4], 该现象在时间维度上恰好对应于注意瞬脱效应(attention blink, AB)^[5]. 通过快速系列视觉呈现(rapid serial visual presentation, RSVP)的研究范式, 在同一位置以 6~20 刺激/s 的速度呈现由字母、数字、单词、图形等组成的刺激流, 要求被试检测和辨认其中的一个或多个刺激. 结果表明如果被试正确辨认了第一个目标, 对其后 500 ms 内出现的第二个目标的检测能力就会下降. 这个现象有力地揭示了人们的注意系统在时间维度上的有限加工能力. 同时也给我们一个启示, 如果能合理地引导注意资源到特定的时间段, 将会提高人们处理信息的能力.

1.3 时间选择性注意

除了注意直接或间接地影响时间知觉之外, 选择性注意和时间知觉还存在一层更为直接的联系, 即“时间选择性注意”、“时间注意”, 或者称为“注意的时间定向”, 该方向自 1998 年开始引起了学者们的关注^[6], 并逐步走向深入. 众所周知, 在选择性注意的研究中, 占据主要地位的仍然是视空间领域的注意. 在这方面, Posner 等完成了很多开创性的研究. 经典的实验范式是通过提示将注意资源引导到目标相关的位置, 被试表现出对相关特征的加工质量和速度的提高, 提示选择性注意可以强化早期的知觉加工. 尽管空间是研究视觉注意的优势维度, 但事实上, 注意既分布在空间维度上, 也分布在时间维度上. 时间选择性注意是指通过有效的提示, 不仅可以引导被试去注意什么位置, 而且可以引导被试在什么时间注意, 从而将注意资源导向与即将到来的事件相关的、可预测的时间点或时间窗的过程. Nobre, Coull 及同事借鉴了 Posner 对空间注意的研究思路和范式, 并在时间维度的框架下加以修订, 率先开展了对时间注意的研究, 并且得到了一些有趣的结果^[6~8]. 他们的工作极大地促

进了从时间维度来理解注意的机制.

2 时间选择性注意的认知行为研究

2.1 目标检测任务

目标检测是一种经典的时空注意的研究范式. 研究者们对其进行了巧妙的修订, 使之适用于时间注意的研究. 每次测试给被试呈现一个包含时间信息的符号提示, 指出目标最可能出现的时刻. 提示分为两种类型, 一类符号提示目标在很短的时间间隔后出现, 例如 400 ms, 另一类符号提示目标出现在较长的时间间隔后, 例如 1 600 ms. 80% 的符号所提示的时间和目标出现的时间相一致, 称为有效提示, 其余 20% 则为无效提示. 研究者在一系列的实验中发现, 被试可以有效地利用提示来预期事件出现的时刻, 与未被期望的时刻相比, 当目标出现在被期望时刻可以显著加快反应, 改善行为学成绩^[7]. 该类实验也直接证实了时间选择性注意的存在.

2.2 目标分辨任务

目标检测任务的知觉需求相对较低, 为了更清晰地观察时间注意的行为学效应, 一些研究对知觉需求提出了更高的要求, 例如目标分辨^[9]、时间顺序判断等^[10]. 被试的任务不再是简单地检测目标出现与否, 而是需要分辨目标字母或者刺激的时序. MacKay 等^[11]采用 RSVP 实验范式, 每次测试给被试快速系列呈现一个由 17 幅图、每张图由 4 个字母组成的刺激流, 研究表明被试对目标的辨认速度明显受到了时间注意的影响. 不仅仅限于视觉通道, Lange 等^[12]发现, 有效的时间注意还可以提高听觉通道和触觉通道的加工效率, 对同一通道内和不同通道间的知觉分辨也存在优化效应.

2.3 空间和时间注意并发任务

Coull 和 Nobre 等^[6]采用的研究范式不仅可以单独比较时间注意和空间注意的影响, 而且可同时调制被试对目标出现在“何处”和“何时”的期望. 刺激由位于视野中央的提示和 2 个外周的方框组成. 提示分为四类: 一是时间提示, 表明目标或者出现在提示后的 300 ms, 或者出现在提示后的 1 500 ms; 二是空间提示, 表明目标出现在左侧或者右侧; 第三类提示同时包含时间和空间信息, 表明目标或出现在 300 ms 后的左侧, 或出现在 1 500 ms 后的左侧, 或出现在 300 ms 后的右侧, 或出现在 1 500 ms 后的右侧; 最后一类是中性提示. 该研究表明至少从行为学效应上来看, 时间注

意和空间注意是非常类似的。Doherty 等^[13]研究了空间和时间期望对检测运动物体的影响。实验也分别采用了上述四类提示。结果表明所有的有效提示都显著地促进了对运动物体的检测, 特别是时空的协同注意可能在引导被试注意和优化行为上起到了至关重要的作用。Correa 和 Nobre^[14]在最近的研究中指出, 时间和空间注意对视知觉任务的影响虽然有相似之处, 但两者还保持着相对分离的认知机制。

3 时间选择性注意的神经机制研究

为了进一步探索时间注意的神经机制, 研究者将行为学的研究范式和电生理、脑成像的研究技术相结合, 对时间注意的神经机制进行了剖析, 研究表明, 有效的时间注意是以时间知觉和期望为基础, 以知觉加工优化、运动准备和及时反应为表现, 前辅助运动区、额叶岛盖和下顶叶等脑区可能在其中发挥了重要的作用。

3.1 时间知觉和期望: 来自 ERP(事件相关电位)的研究

有效的时间选择性注意促使对目标的检测和分辨速度加快, 这就是注意在时间维度上成功定向的结果, 这个结果依赖于对时间信息的准确加工。因此, 以认知加工的观点来分析, 时间注意应以基本的时间知觉以及对时间“位置”的期望为基础和前提^[15]。这个观点也得到了电生理研究的进一步证实。关联性负变(contingent negative variation, CNV)是首选的在线监测计时过程的一个特异性成分。在Walter 的经典研究范式中, CNV 被认为与警告信号之后、命令信号之前的期待、意动、朝向反射、注意以及动机等密切相关, 是一个综合的心理准备状态的反映^[16]。同时, 尽管任务并没有明确要求估计时间, 但被试仍会对两个信号之间的时间信息进行加工。鉴于此, CNV 在时间知觉和时间注意的研究中也得到了很好的应用。ERP 研究发现, 提示和目标之间的短时间间隔诱发了 P300, 而提示和目标间的长时间间隔则诱发了 CNV。更有趣的是, CNV 的幅度受到了不同提示诱发的不同时间期望的调制。相对于指出目标较晚出现的符号提示, 预测目标很快出现的符号提示会导致 CNV 的负向偏移更多。这提示 CNV 的负向增强可能反映了对即将到来的目标的注意增强和期望水平增加^[7, 17]。

3.2 运动准备和反应: 来自脑成像的研究

ERP 的高时间分辨率在跟踪时间注意过程中

具备优势, 而脑成像的研究更有利于揭示时间注意的脑机制。采用 PET(正电子层发射断层成像技术)和 fMRI(功能性核磁共振成像技术)探索时间注意的脑机制时发现, 在时间注意任务中, 有三个脑区起到了非常关键的作用, 它们分别是前辅助运动区(pre-supplementary motor area)、左侧顶叶(left parietal cortex)以及额叶岛盖(frontal operculum)^[6, 8, 18, 19]。这些脑区一方面在人类基本的计时功能中扮演着重要角色, 另一方面, 也在完成时间注意的任务中分工合作, 发挥重要的作用。

前辅助运动区与估计时间以及根据时间的长短做运动准备有关^[8]。Coull 和 Vidal 等^[9]发现随着计时的准确性越高, 前辅助运动区的激活水平也越高。此外, 相当多的研究指出前辅助运动区与运动反应前的准备, 而不是与运动反应本身有关^[8]。对 CNV 进一步的溯源分析也证实其发生源位于前辅助运动区^[20]。额叶岛盖被认为与时序判断、时间辨别等基本的计时加工有关。在时间注意任务中, 额叶岛盖则与注意在时间维度的容量限制密切相关。Coull 等^[21]设计了一个“时间版本”的联合搜索任务, 脑成像结果指出额叶岛盖只与注意的时间分配及其容量限制有关, 只在时间联合搜索任务中特异性激活, 而在对应的“空间版本”联合搜索任务中并未激活。另一在时间注意任务中扮演重要角色的是左侧顶叶, 该区域与注意定向到某一特定的时刻有关。虽然时间和空间注意都激活双侧顶叶, 但在空间注意中右侧顶叶被优势激活。而左侧顶叶, 尤其是左侧顶内沟在时间注意任务中被优势激活。这提示空间注意和时间注意可能表现出相对不同的半脑优势^[22]。另一方面, 双侧顶内沟与数量信息的表征有关, 而数量、空间和时间三者同为人类普适量化系统的组成部分, 并可能共享某些脑机制^[23]。这提示顶内沟的激活与时间信息的量化表征相关。

4 时间选择性注意研究中的争论

尽管对时间注意的研究还谈不上非常深入和丰富, 但在研究的过程中, 特别是与空间注意相比较而言, 学者们已经就一些有趣的热点问题展开了较为深入的讨论, 但目前尚未得出一致的结论。

4.1 时间选择性注意的无效提示

行为学研究表明我们确实拥有时间注意的能力。然而, 不少研究都发现了这样一个现象: 即无效提示可能导致两种结果, 一是目标提前出现, 二是目标推迟出现。目标提前出现, 被试的反应时间

增加, 但如目标推迟出现, 被试的反应延迟远不如前者大^[6, 7, 24]. 这种不对称的现象只在时间注意任务中出现, 并未在同一平面内空间注意的研究中观察到.

对于这个有趣的现象, 学者们提出了两种假设. 一是时间注意的重定向假设. Miniussi 等^[7]认为一旦所期望的时刻过去之后, 人脑具有重新聚焦注意的能力. 因为目标如果不在短间隔后出现, 意味着它必然出现在长时间间隔后. 这种推测表明人脑有能力根据突发情况, 在目标实际呈现之前, 灵活地、有意识地重新定向时间注意, 从而减少无效注意的代价. 但该解释目前还缺乏一定的证据来支持. Coull 等^[24]认为这是源于时间维度上的内源性提示和外源性提示的差别. 当目标推迟出现, 被试产生了主动的内源性注意转移; 而目标提前出现则诱发了外源性注意转移. 对两种无效提示进行比较发现, 外源性注意转移伴随着视皮层活动增加, 提示存在一个自底向上的自动加工机制; 内源性注意转移则激活了左侧顶叶和右侧额叶, 与主动控制注意转移相关, 提示存在一个自上而下的控制加工^[15].

4.2 时间选择性注意的调制: 早期知觉加工还是晚期运动准备

对空间注意的研究显示, 注意某一位置既增强了枕叶早期的电生理活动^[25], 也增强了被注意位置的对侧视觉皮层的局部脑血流^[26], 提示有效的空间注意既可以增强早期的知觉加工, 也可促进与决策和运动相关的晚期加工. 然而, 这个结论是否也适用于时间注意呢?

相当多的研究支持时间注意只影响运动反应阶段. 在目标检测任务中, 有效的时间注意可以加速反应; 神经影像学研究表明, 额顶神经网络, 包括下顶叶和前辅助运动区等与运动控制相关的脑区参与了时间注意的控制. 而 ERP 的晚期成分, 如视觉目标诱发的 N2、P300 等在大多研究中都受到了时间注意的调制, 但早期 N1、P1 的调制效应在各研究中的结果却很不一致^[7, 9].

然而, 越来越多的研究指出时间注意也可影响早期的知觉加工. 在增加知觉负载, 提高目标不确定性的情况下, 时间注意可以有效地提高目标分辨的正确率^[10, 21], 而不仅仅表现为加速反应. 同时, 时间注意在高知觉负载的情况下可调制早期的 N1、P1 成分^[9, 27]. 此外, CNV 也可分为与知觉相关的早期成分, 以及与运动相关的晚期成分, 只是两者往往相互重叠^[28]. 总之, 由于现有研究范式、实验技

术以及反应指标各不相同, 还没有充分的证据去支持或排除其中任意一个解释.

4.3 时间注意与空间注意的机制: 共同的还是特异的

时间注意的研究是在借鉴大量空间注意研究的基础上提出来的, 两者在行为学效应、认知以及神经机制方面既表现出相似的一面, 也表现出一定的区别^[29]. 从行为学层面来看, 知道刺激在何处出现, 与知道刺激在何时出现对完成任务都是有帮助的, 但两者对无效提示的反应不同. 从认知加工的角度来看, 知觉水平的增强对于检测空间不确定的目标是必需的, 但在纯时间注意任务中, 知觉加工的增强似乎并不是必需的. 从神经机制的角度来看, 两类注意既激活了共同的脑区, 又表现出相对不同的半脑优势^[8, 9]. 这些研究集中起来指向了一个根本的问题: 即注意转向外部世界的不同维度时, 是否具有共同的机制? 另一个衍生的问题则是: 当同时需要时间注意和空间注意, 两类注意是并行加工, 还是系列加工?

总之, 时间选择性注意的研究虽然开展时间并不长, 但对我们从新的角度理解注意系统、并最终探索或接近人类的意识具有重要意义. 未来的研究不仅需要面向时间注意的理论之争, 更需以提高人类绩效为目标, 面向人机交互、体育竞技等日常生活中的应用.

参 考 文 献

- 1 Danckert J A, Allman A A. Time flies when you're having fun: temporal estimation and the experience of boredom. *Brain Cogn*, 2005, **59**(3): 236~245
- 2 Buhusi C V, Meck W H. What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nat Rev Neurosci*, 2005, **6** (10): 755~765
- 3 Coull J T, Vidal F, Nazarian B, *et al.* Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation. *Science*, 2004, **303** (5663): 1506~1508
- 4 Eriksen C. The flanker task and response competition: A useful tool for investigating a variety of cognitive problems. *Visual Cognition*, 1995, **2**: 101~118
- 5 Raymond J E, Shapiro K L, Arnell K M. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink?. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 1992, **18**(3): 849~860
- 6 Coull J T, Nobre A C. Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *J Neurosci*, 1998, **18** (18): 7426~7435
- 7 Miniussi C, Wilding E L, Coull J T, *et al.* Orienting attention in time. Modulation of brain potentials. *Brain*, 1999, **122** (Pt 8): 1507~1518

- 8 Coull J T. fMRI studies of temporal attention: allocating attention within, or towards, time. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2004, **21**(2): 216~226
- 9 Correa A, Lupianez J, Madrid E, *et al.* Temporal attention enhances early visual processing: a review and new evidence from event-related potentials. *Brain Res*, 2006, **1076**(1): 116~128
- 10 Correa A, Sanabria D, Spence C, *et al.* Selective temporal attention enhances the temporal resolution of visual perception: Evidence from a temporal order judgment task. *Brain Res*, 2006, **1070**(1): 202~205
- 11 MacKay A, Juola J F. Are spatial and temporal attention independent?. *Percept Psychophys*, 2007, **69**(6): 972~979
- 12 Lange K, Roder B. Orienting attention to points in time improves stimulus processing both within and across modalities. *J Cogn Neurosci*, 2006, **18**(5): 715~729
- 13 Doherty J R, Rao A, Mesulam M M, *et al.* Synergistic effect of combined temporal and spatial expectations on visual attention. *J Neurosci*, 2005, **25**(36): 8259~8266
- 14 Correa A, Nobre A C. Spatial and temporal acuity of visual perception can be enhanced selectively by attentional set. *Exp Brain Res*, 2008, **189**(3): 339~344
- 15 Correa A, Lupianez J, Tudela P. The attentional mechanism of temporal orienting: determinants and attributes. *Exp Brain Res*, 2006, **169**(1): 58~68
- 16 Walter W G, Cooper R, Aldridge V J, *et al.* Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 1964, **203**: 380~384
- 17 Pfeuty M, Ragot R, Pouthas V. Relationship between CNV and timing of an upcoming event. *Neurosci Lett*, 2005, **382** (1~2): 106~111
- 18 Vallesi A, Mussoni A, Mondani M, *et al.* The neural basis of temporal preparation: Insights from brain tumor patients. *Neuropsychologia*, 2007, **45**(12): 2755~2763
- 19 Vallesi A, Shallice T, Walsh V. Role of the prefrontal cortex in the foreperiod effect: TMS evidence for dual mechanisms in temporal preparation. *Cereb Cortex*, 2007, **17**(2): 466~474
- 20 Gomez C M, Marco J, Grau C. Preparatory visuo-motor cortical network of the contingent negative variation estimated by current density. *Neuroimage*, 2003, **20**(1): 216~224
- 21 Coull J T, Walsh V, Frith C D, *et al.* Distinct neural substrates for visual search amongst spatial versus temporal distractors. *Brain Res Cogn Brain Res*, 2003, **17**(2): 368~379
- 22 Nobre A C. Orienting attention to instants in time. *Neuropsychologia*, 2001, **39**(12): 1317~1328
- 23 Walsh V. A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends Cogn Sci*, 2003, **7**(11): 483~488
- 24 Coull J T, Frith C D, Buchel C, *et al.* Orienting attention in time: behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia*, 2000, **38**(6): 808~819
- 25 Luck S J, Woodman G F, Vogel E K. Event-related potential studies of attention. *Trends Cogn Sci*, 2000, **4**(11): 432~440
- 26 Posner M I, Driver J. The neurobiology of selective attention. *Curr Opin Neurobiol*, 1992, **2**(2): 165~169
- 27 Correa A, Lupianez J, Tudela P. Attentional preparation based on temporal expectancy modulates processing at the perceptual level. *Psychon Bull Rev*, 2005, **12**(2): 328~334
- 28 Macar F, Vidal F. Time processing reflected by EEG surface Laplacians. *Exp Brain Res*, 2002, **145**(3): 403~406
- 29 Griffin I C, Miniussi C, Nobre A C. Multiple mechanisms of selective attention: differential modulation of stimulus processing by attention to space or time. *Neuropsychologia*, 2002, **40**(13): 2325~2340

Cognitive and Neural Mechanisms of Selective Temporal Attention*

XUAN Bin^{1)*}, ZHANG Da-Ren²⁾

⁽¹⁾Department of Psychology, School of Educational Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China;

⁽²⁾School of Life Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract Selective temporal attention is a developing domain of attention. It refers to people can orient attention to a certain time point or a temporal window associated with an upcoming event. The behavioral and neuroimage researches of temporal attention were reviewed. Some arguments and future trends were pointed out based on the comparison with spatial attention.

Key words selective temporal attention, time perception, attention, expectation, contingent negative variation (CNV)

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2008.00642

*This work was supported by grants from The National Nature Science Foundation of China (30800297) and The Provincial Nature Science Foundation of Anhui (KJ2008B78ZC).

**Corresponding author.

Tel: 86-553-3937007, E-mail: xuanbin@mail.ahnu.edu.cn

Received: September 17, 2008 Accepted: October 13, 2008