

特定与非特定计时的认知和神经机制*

尹华站, 李丹, 苏琴

(重庆师范大学教育科学学院, 重庆 401331)

摘要:特定与非特定计时机制一直是人类时间加工的两类假说,这两者在认知和神经层面具有各自的内涵和表现形式。新近研究表明:从认知层面看,特定计时系统说假定人类时间加工存在一种专门认知计时机制;非特定计时系统说认为人类时间加工不需要专门计时机制,而是通过对其他信息加工产物的分析获得。支持前者的认知模型主要涉及内部时钟模型、时间信息加工模型、注意闸门模型、资源分配模型及双滴水钟模型等;支持后者的认知模型主要有存储容量模型、变化/分割模型、背景变化模型、记忆痕迹模型等。从神经层面看,特定计时系统说主张特定的神经区域具有独特的表征时间信息的能力,当需要进行此类加工时该系统就会起作用;非特定计时系统说强调时间表征是源于内部的一种动态非特定神经机制,是基于感觉加工的激活数量或者神经网络空间激活模式。支持前者的神经模型主要涉及特异化计时模型和分布式网络计时模型;支持后者的神经模型主要有状态依赖网络模型和能量读数模型。未来应该在更宏观的背景下探讨两类假说的相关问题,即实证研究的开展领域应该广泛化;理论模型的建构视角应该多元化;两类假说在认知和神经层面的内涵应该区分开。

关键词:时间加工;特定计时系统说;非特定计时系统说

中图分类号:B842;Q42

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2013)05-0140-05

迄今未止,人们尚未清楚时间信息的特定感受器,但是仍能利用时间信息适应客观世界,这说明人类可能存在某种计时机制。为了阐释该机制,研究者们相继从认知和神经层面提出了两类假说:特定计时系统说(Dedicated timing system hypothesis)和非特定计时系统说(Non-dedicated timing system hypothesis)。从认知层面看,特定计时系统说认为人类时间加工存在一种特定的认知计时机制^[1];非特定计时系统说认为人类计时不需要特定机制,而是通过对其他信息加工产物分析获得^[2]。从神经层面看,特定计时系统说认为特定神经区域具有独特表征时间信息的能力,当需要进行此类加工时该系统就会起作用^[3];非特定计时系统说认为时间表征是源于内部的一种动态非特定神经机制,是基于感觉加工的激活数量或者神经网络空间激活模式^[3]。迄今,学界虽从两类假说的角度分别提出了大量的理论模型,并尝试从行为学和神经科学角度开展了相关研究,却未见文献系统论述过两类假说的相关问题。为此,本文主要将在整合最近几年文献的基础上对该问题进行全面而系统的剖析。一方面为后来者全面而系统地认识时间加工理论提供可能参考,另一方面为彻底揭示时间加工认知和神经机制奠定坚实基础。

1 时间加工的两类假说

自20世纪初期以来,研究者陆续构建了一些理论假设来说明时间加工现象。这些理论大致被区分为两类假说:特定计时系统说和非特定计时系统说。

1.1 认知层面的“特定”与“非特定”计时机制

1.1.1 特定计时系统说及相关研究 起搏器—累加器机制是特定计时系统说的典型代表。其可描述为:起搏器以一定频率发射脉冲,然后在累加器中进行计数,脉冲数量越多,知觉时间越长。早期对计时机制描述依次历经了内部时钟模型(Internal clock model, ICM)、时间信息加工模型(Temporal information processing model,

* 收稿日期:2012-10-14 修回日期:2012-12-10 网络出版时间:2013-09-17 17:38

资助项目:教育部人文社科基金(No. 12YJC190035);中国博士后面上项目(No. 2013M530759);重庆市教委科技项目(No. KJ120618)

作者简介:尹华站,男,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为认知发展和智力开发,E-mail:yhz1979@sina.com

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20130917.1738.201305.140_024.html

TIP)、注意闸门模型(Attention gate model,AGM)等。这些模型将注意、记忆等认知资源逐步引入起搏器—累加器的内部机制以共同完成时间加工。后来,Buhusi 和 Meck 在注意阀门模型基础上构建出一个扩展的资源分配模型(Resources allotment model,RAM)如图 1 所示,认为时间信息加工和背景加工共享注意和工作记忆资源^[4-5]。多年来,该模型中的共享机制得到一些研究证据的支持^[5-7]。

虽然起搏器—累加器机制得到许多研究证据的支持,然而 Wackermann 和 Ehm 却提出了一个疑问:无法用起搏器—累加器机制解释时间复制任务下的时距加工成绩^[8]。比如,在时间复制任务中,在编码阶段和复制阶段的起搏器发放脉冲频率应该一致,复制时间的长度与编码时间的长度应该没有显著差异,可事实上明显低估或者高估。这也许可以解释为编码阶段和复制阶段的起搏器发放脉冲频率实际上并不一致,那么应该预期复制时间和编码时间呈某种比例,可事实未必如此^[9]。因此,Wackermann 和 Ehm 提出了一种双滴水钟模型(Dual klepsydra model,DKM),该模型假定时间复制主要是基于两个滴水钟的水容量的均衡(见图 2 所示),其中原理设想为:滴水钟 1 在时间 S 内充满了水,然后偏以常数 K 的速率开始漏水,经过时间 W 之后,滴水钟 2 开始充水,当在经过时间 r 之后,两个滴水钟的水容量均衡,水时计 2 充水结束。换言之, S 长的时间被复制成 r 长。DKM 能够解释采用时间复制任务的研究结果^[10]。

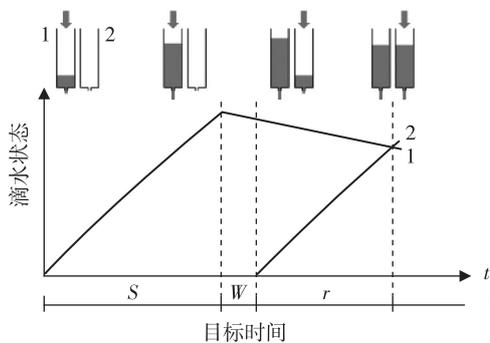


图 2 双滴水钟模型^[8]

背景变化模型(Context change model,CCM)。该模型认为时距判断与认知背景变化的数量有关,这些变化既可能反映了环境的变化,也反映可认知策略或情绪状态的变化^[11]。因此,时距判断与记忆中编码的背景变化的数量成正相关。

另外,Staddon 也曾提出一种记忆痕迹衰退模型(Memory-Strength decay model,MSDM)的新观点,假定刺激记忆强度会以艾宾浩斯遗忘曲线形式衰减,即初始衰减快,随后衰减速度逐渐变慢。衰减机制可以由多个串联的渗漏整合器共同实现。当计时开始时,刺激记忆强度以固定的方式衰减,当记忆强度衰减到某一反应阈限时,便说明经历了一定长度的时间。换言之,通过记忆痕迹强度的变化可以表征时间长度^[12]。图 3 为遗忘曲线充当计时机制的示意图,3 条重叠的记忆痕迹的衰退过程为 3 个空时距的计时过程。然而这种记忆痕迹衰退加工机制仍有疑点,比如这种机制如何对多种时距进行编码;记忆衰退模式如何与时间辨别作业成绩相联系等等。

1.2 神经层面的“特定”与“非特定”计时机制

1.2.1 特定计时系统说及相关研究 特定计时系统说在神经层面主要表现在特异化计时模型(Specialized timing model,STM)和分布网络计时模型(Distributed network timing model,DNTM)。特定化计时模型认为特

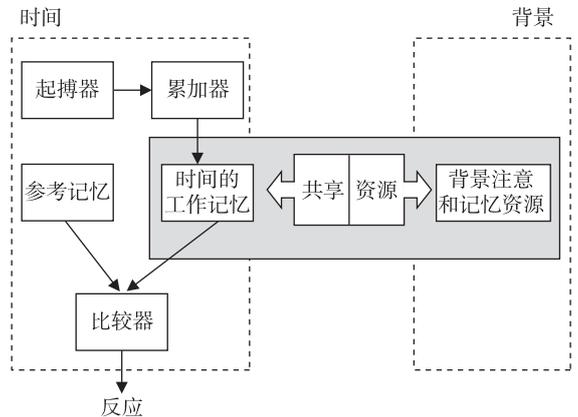


图 1 资源分配模型

1.1.2 非特定计时系统说及相关研究 虽然假定人类存在特定计时系统得到许多研究者的支持,但是另一些研究者认为人类对时间的加工不需要专门计时机制,而是通过对其他信息加工产物的分析获得,即非特定计时系统说^[2]。最初支持非特定计时系统说的是由 Ornstein 提出存储容量模型(Storage size model,SSM)。该模型假设,人对持续时间的估计取决于其记忆种存储事件的数量。同样长的物理时距,储存的信息越多,对时距的估计就越长;反之,则觉得时距越短。后来,Fraisse 提出的变化/分割模型(Change/Segment model,CSM)。该模型认为对时距的估计依存于在这段时间内感知或记忆信息的数量和组织,依存于对时间信息的加工程度。Block 提出了背景

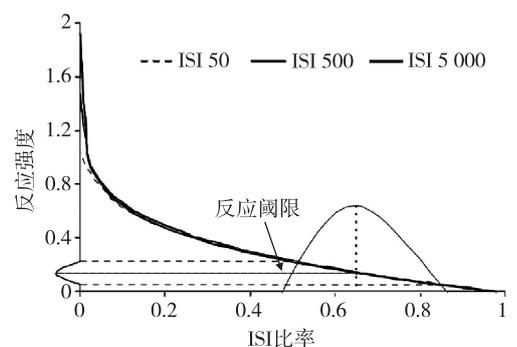


图 3 记忆痕迹衰退模型^[5,12]

定神经区域具有独特表征时间信息的能力,当需要进行这类加工时该系统就会起作用,如小脑和基底神经节则充当特定化系统(见图 4 左)。Harrington 等发现一些高级小脑皮层受损病人在时间产生任务中的变异性较大,在条件性眨眼反应中受影响程度比低级小脑皮质受损病人表现更为明显。这一结果说明小脑可能是中枢计时机制^[13]。还有研究发现,运动辅助区域和前额皮质也有可能充当特定化的计时系统^[3]。

分布网络计时模型认为时间信息表征是一套神经结构多重交互作用的结果。认知功能的神经基础往往由不同脑区组成的神经网络构成,如当顶叶皮质、丘脑核和多巴胺系统受到损伤时短时距估计会改变。Coull 等研究发现额叶一纹状回路与计时功能有关,由于这些区域与运动控制和运动注意关系密切,这一结果也支持具有运动功能网络在独立于运动行为的时间估计中具有重要作用的假说^[14]。这些证据都表明时间加工是由包括皮层和皮层下脑区域在内的神经网络所控制的,这些网络中的某个部分一旦遭到破坏,主观时间估计就会受到损伤。功能性脑成像技术能记录参与某一认知功能的多个脑区的激活情况,因此支持这一假说的证据主要来自脑成像研究领域。

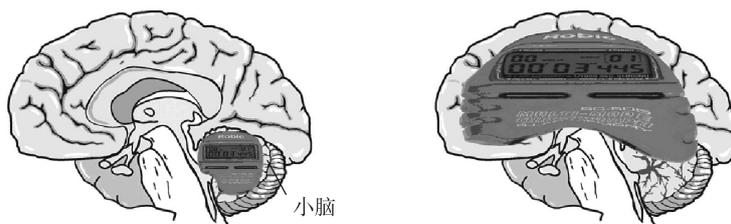


图 4 专门计时机制(左:特异化计时模型;右:分布网络计时模型)^[2]

1.2.2 非特定计时系统说及相关研究 近年来,非特定计时系统观点一个最具代表性的例子认为时间加工并不是依靠特定化计时系统(内部时钟),而是参照了某种状态依赖网络系统^[15]。状态依赖网络模型(State-Dependent network model, SDN)(见图 5 左)认为每一个时距都被表征成相应神经网络激活的空间模式,时距判断就是对空间模式再认^[16]。Buonomano 认为时间判断具有情境依赖性,这个特点不仅表现出通道特异性,而且即使在同一通道内部表征某一特定时间也是依赖于神经网络的状态变化。因此对于某一音调的时距进行表征,不但与音调呈现神经元激活程度有关,而且与音调开始呈现时神经网络的状态有关。与状态依赖思想一致的是,有研究表明变化背景下时距知觉的敏锐性较固定背景下时距知觉敏锐性要差^[17]。尤其值得关注的是,这种效应仅局限在 100 ms 的时距加工,而对于 1 s 以上的时距加工却没有出现。

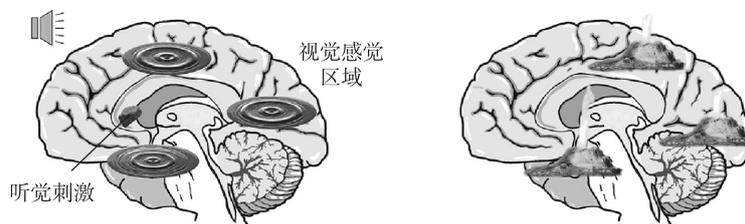


图 5 本体计时机制(左:状态依赖网络模型;右:能量读数模型)^[3]

另外,还有一种观点认为时距的编码是基于神经元激活的程度,对流逝时间的估计是通过能量读数模型(Energy readout model,ERM)(见图 5 右)某种形式的加工,能量读数示值越大,估计的时距就越长^[3]。假定有这样一个任务:给被试呈现一数字流,每个数字呈现时间为 500 ms,如果是相同的数字被重复呈现,那么第一个数字的呈现时间被知觉为较长,后面所呈现的数字时间被知觉为较短。类似效应在另外一个例子中也可发现:当按着标准正常顺序呈现一系列数字(如 1,2,3,4)时,“1”被知觉的时间要长于“2”、“3”、“4”等的时间,然而如果顺序被打乱(如 1,4,3,2),那么就不会出现时间判断歪曲效应。由于每个数字不能被预期,因此获得相同程度的神经元加工。一项核磁共振研究发现平行线的重复抑制效应,Pariyadath 和 Eagleman 认为抑制神经元的条件和降低知觉时间长度的条件是相同的^[18]。具体而言,能捕捉注意的事件可以增加神经元的激活,因此根据能量读数模型,可以预期知觉时距更长。

2 进一步思考

目前,关于时间加工是否需要特定计时系统的问题一直存在两种不同假说:特定计时系统说和非特定计时系统说。尽管两种假说在认知和神经层面分别以各种理论形式展现出来,并被广泛验证和推广。然而将两类假说放置更宏观的背景考虑,一些问题很值得进一步思考。

第一,应该为两类假说寻求多领域的研究证据。两种假说主要针对正常被试对时间信息的外显判断(长短)而提出。然而除此之外,涉及时间加工研究领域主要包括时间人格研究、空间对时间的影响作用研究及特殊群体时间加工研究。时间人格涉及主题包括时间管理、时间透视及时间定向^[19]。空间对时间的影响主要是探讨Kappa效应等^[20];特殊群体时间加工主要探讨的是其与正常群体之间的时间加工差异,如精神分裂症患者^[21]、帕金森患者^[22]、注意缺陷障碍患者^[23]等的时间加工机制探讨。对于上述3个主题的时间加工机制究竟用特定计时系统说,还是用非特定计时系统说解释仍有待澄清。

第二,应该多视角建构时间加工的认知模型。围绕两类假说构建的认知理论主要是内部机制模型(输入—输出之间的机制),能否从其他视角提出外围模型值得高度关注。如黄希庭等提出的时间认知分段综合模型认为,个体对时间的认知取决于多种因素,主要有时间的长短、间隔、顺序、刺激出现的时点以及个体的认知因素和人格特征等。对于不同长度的时间涉及不同的加工机制,且其表征机制也不完全相同,个体认知策略也不同^[24]。该模型是目前唯一把时序、时距和时点的信息综合起来加以研究的理论。该模型将人类时距认知的对象范畴推广到整个时间维度的全程。因此,未来研究可以考虑从更多角度构建时间加工的认知模型。

第三,应该区分认知与神经层面的“特定—非特定”。认知层面多是通过完成一种计时任务,然后用已有的理论构想定性解释(资源分配模型或者容量存储模型等)或者定量拟合(思维-情绪适应控制计时模型)^[25]行为数据,如果对时间的加工主要是基于感觉加工或记忆等认知过程就可以解释,那就判定支持非特定性计时系统说,如果时间加工仍需要一种特定化机制和认知过程的共同作用完成,那就判定支持特定性计时系统说。神经层面多是通过考察脑损伤患者与正常被试在完成时间加工任务的成绩对比或者通过脑成像技术记录完成时间加工活动时的脑区激活模式来判定,前一种策略根据有无某特定脑结构损伤(自变量)在时间加工的行为数据差异可以推导因果关系,后一种策略由于观察的是不同条件下时间加工任务的脑区激活模式差异(因变量),所以只能推导脑区激活模式和行为数据的相关关系。总之,认知层面遵循的是“任务(心理加工)—行为数据”的逻辑,神经层面遵循的是“脑区—行为数据”的逻辑,因此,心理加工和脑区激活是一种伴随关系,并不一定是完全对应关系,两种层面的“特定计时”和“非特定计时”的内涵应该区别开来。

参考文献:

- [1] Ivry R B, Richardson T C. Temporal control and coordination: the multiple timer model[J]. *Brain & Cognition*, 2002, 48:117-132.
- [2] Block R A, Zakay D. Timing and remembering the past, the present, and the future[C]//Grondin S. *Psychology of time* Bingley, UK: Emerald Group, 2008. 367-394.
- [3] Ivry R B, Schlerf J. Dedicated and intrinsic models of time perception[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2008, 12: 273-280.
- [4] Buhusi C V, Meck W H. Relative time sharing: new findings and an extension of the resource allocation model of temporal processing[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2009, 364:1875-1885.
- [5] 陈有国. 时间知觉自动与受控加工的神经机制[D]. 北碚: 西南大学, 2010.
Chen Y G. The neural mechanism of automatic and controlled process in time perception[D]. Beibei: Southwest University, 2010.
- [6] Macar F, Grondin S, Casini L. Controlled attention sharing influences time estimation[J]. *Mem Cognit*, 1994, 22: 673-686.
- [7] 尹华站. 视觉短时距加工分段性研究—来自行为学和ERP证据[D]. 北碚: 西南大学, 2008.
Yin H Z. Study on visual short duration processing segmentation-evidence from behavioral and erp studies[D]. Beibei: Southwest University, 2008.
- [8] Wackermann J, Ehm W. The dual klepsydra model of internal time representation and time reproduction[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2006, 239:482-493.
- [9] Eisler A D. The human sense of time: biological, cognitive and cultural considerations [M]//Buccheri R, Saniga M, Stuckey W M. *The Nature of Time: Geometry, Physics and*

- Perception, Kluwer: Dordrecht, 2003.
- [10] Eisler H, Eisler A D, Hellström A. Psychophysical issues in the study of time perception[M]// Grondin S. Psychology of time. Bingley, UK: Emerald Group, 2008.
- [11] Block R A, Zakay D. Prospective and retrospective duration judgments: a meta-analytic review[J]. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1997, 4: 184-197.
- [12] Staddon J E R. Interval timing: memory, not a clock[J]. *Trends in Cognitive Science*, 2005, 9: 312-314.
- [13] Harrington D L, Lee R R, Boyd L A. Does the representation of time depend on the cerebellum? Effect of cerebellar stroke[J]. *Brain*, 2004, 127: 561-574.
- [14] Coull J T, Vidal F, Nazarian B, et al. Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation[J]. *Science*, 2004, 303: 1506-1508.
- [15] Buonomano D V. The biology of time across different scales[J]. *Nature Chemical Biology*, 2007, 3: 594-597.
- [16] Buonomano D V, Maass W. State-dependent computations: spatiotemporal processing in cortical networks[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2009, 10: 113-125.
- [17] Karmarkar U R, Buonomano D V. Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states[J]. *Neuron*, 2007, 53: 427-438.
- [18] Pariyadath V, Eagleman D. The effect of predict ability on subjective duration[J]. *PLoS ONE*, 2007, 2: 1264-1269.
- [19] Caruso E M, Gilbert D T, Wilson T D. A wrinkle in time: Asymmetric valuation of past and future events[J]. *Psychological Science*, 2008, 19: 796-801.
- [20] Henry M J, McAuley J D. Evaluation of an imputed pitch velocity model of the auditory kappa effect[J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 2009, 35: 551-564.
- [21] Lee K H, Bhaker R S, Mysore A, et al. Time perception and its neuropsychological correlates in patients with schizophrenia and in healthy volunteers[J]. *Psychiatry Research*, 2009, 166: 174-183.
- [22] Wearden J H, Lejeune H. Scalar properties in human timing: Conformity and violations[J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2008, 61: 569-587.
- [23] Gildea D L, Marusich L R. Contraction of time in attention-deficit hyperactivity disorder[J]. *Neuropsychology*, 2009, 23: 265-269.
- [24] 黄希庭, 李伯约, 张志杰. 时间认知分段综合模型的探讨[J]. *西南师范大学学报: 人文社会科学版*, 2003, 29(2): 5-9. Huang X T, Li B Y, Zhang Z J. The research of the range synthetic model of temporal cognition [J]. *Journal of Southwest China Normal University: Philosophy & Social Sciences Edition*, 2003, 29(2): 5-9.
- [25] Taatgen N A, Rijn H, Anderson J. An Integrated theory of prospective time interval estimation: the role of cognition, attention, and learning [J]. *Psychological Review*, 2007, 114: 577-598.

Cognition and Neural Mechanism of Dedicated and Non-dedicated Timing System

YIN Hua-zhan, LI Dan, SU Qin

(School of Education Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: There are two hypotheses to explain whether temporal processing was controlled by specific timing system. Recent studies show that dedicated timing system existed to control temporal processing according to dedicated timing system theory, while non-dedicated timing system theory suggests temporal processing can be implemented by analyzing other cognition activities from the viewpoint of cognition. The cognitive models such as ICM, TIP, AGM, RAM, DKM etc. support the former hypothesis, while SSM, CSM, CCM, MSDM support the latter. However, from the viewpoint of neural, two general frameworks have been articulated to describe how the passage of time is perceived. One emphasizes that the judgment of the duration of a stimulus depends on the operation of dedicated neural mechanisms specialized for representing the temporal relationships between events. Alternatively, the representation of duration could be ubiquitous, arising from the intrinsic dynamics of nondedicated neural mechanisms. In such models, duration might be coded directly through the amount of activation of sensory processes or as spatial patterns of activity in a network of neurons. The neural models such as STM and DNTM support the former, while SDN and ERM support the latter. Further study should discuss the relative issues more macroscopically.

Key words: temporal processing; dedicated timing system; non-dedicated timing system

(责任编辑 游中胜)