

自动与控制计时系统脑机制研究

陈有国,彭春花,张志杰,黄希庭

(西南大学 心理学院,重庆市 400715)

摘要:脑成像与神经心理学的研究均提供了存在自动计时系统与控制计时系统的证据。对时间信息自动加工的研究表明,自动计时系统与运动系统关系密切,均包含小脑、基底神经节和辅助运动区。对时间信息控制加工的研究表明,包括背外侧前额叶皮质的额叶-纹状体回路为认知控制计时系统与工作记忆的基础,时间信息加工的注意调节系统较复杂,涉及区域主要包括前辅助运动区、右岛盖、顶叶、前扣带皮质。自动加工与控制加工并不是截然分离的,两个系统激活区域和激活强度存在差异,两个系统时间范围不存在清晰的分界点。

关键词:自动加工;控制加工;计时;运动系统;工作记忆;注意

中图分类号:B842.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-9841(2008)04-0009-06

“时间认知分段综合模型”^{[1][2]}认为人类对时间的认知具有分段性,对不同持续时间有不同的表征。黄希庭等^{[3][4]}研究表明未来与过去的心理时间均可以分为三个心理时间段,即以秒和分为计时单位的“较近的未来”与“较近的过去”,以小时、日和月为计时单位的“近的未来”与“近的过去”,以及以年为计时单位的“远的未来”与“远的过去”。国外的学者也认为可以将时间信息加工划分为四个不同的范围:微秒、毫秒、秒、生理节律^[5]。对时间信息加工的心理与神经机制研究较多的是毫秒、秒-分范围的时距。即使在这么短的时间内,对时间信息的加工也具有分段性。早在1889年,Hugo Münsterberg提出时间信息加工有两个截然不同的计时机制:短于三分之一秒的感觉机制,主要是自动加工;在感觉记忆的基础上建立起来的加工更长时间的机制,主要是控制加工。在认知心理学领域对这个问题进行了长期的研究,大部分研究是在双任务实验范式下进行的,其基本假设为,如果极短时距信息是自动加工,那么增加非时间任务的认知负荷,对时间信息的加工将不受影响,但是

这些研究却一直没有得到公认的结论^[6]。

认知神经科学对自动计时与控制计时做了卓有成效的研究。例如,Lewis等^[7]在对功能性磁共振研究回顾后认为,对时距信息有自动加工和认知控制加工两种加工机制,短时距的加工方式主要是自动加工,不受注意、唤醒等因素的影响,所涉及的脑区组成“自动计时系统”。而长时距的加工主要是控制加工,易受注意、唤醒等因素的影响,与之有关的脑区组成“认知控制计时系统”。本文在脑成像和神经心理学领域对自动与控制计时系统的特点和关系进行综述,并在此基础上探讨已有研究存在的问题及未来研究方向。

一、自动与控制计时系统存在的证据

神经药理学(neuropharmacology)最早提供了自动计时与控制计时相分离的证据。Rammsayer^[8]运用神经药理学方法发现影响工作记忆的药物均会影响大约500ms以上时距的加工,而大约500毫秒以下的时距加工则有赖于基底神经节多巴胺活动性,表明约500ms以下时距不受认知控制影

* 收稿日期:2008-03-19

作者简介:陈有国(1981-),男,重庆市人,西南大学心理学院,博士研究生,主要研究时间认知。

通讯作者:黄希庭,教授,博士生导师。

基金项目:教育部高校博士点专项科研基金项目“时间记忆的模型构建和实验研究”(20040635001),项目负责人:黄希庭;教育部高等学校博士点专项科研基金“时间觉知的神经加工机制研究”(20060635002),项目负责人:黄希庭;国家重点学科基础心理学科研基金重大课题“时间与人格的心理学研究”(NSKD06001),项目负责人:黄希庭。

响,而约 500ms 以上时距则受工作记忆的调节。

事件相关电位(event-related potential, ERP)具有很高的时间分辨率。失匹配负波(Mismatch Negativity, MMN)是大概率规则的刺激序列中,微小变化的小概率刺激所诱发的 ERP 成分,失匹配负波反映了大脑对变化的自动检测^[9]。Näätänen 等将失匹配负波运用到听时间知觉的自动加工研究中,证明时距的改变能够诱发时间失匹配负波^[10]。Kujala 等^[11]认为 MMN 反映了时距自动分辨的精确度,大脑能够在时间知觉阈限下对时间信息自动加工。以上的研究表明存在自动计时系统。Grimm 等^[12]研究了注意对听觉时距差异诱发 MMN 的影响,发现在注意条件下短时距(200ms)和长时距(1000ms)均诱发 MMN,而在忽略(ignore)条件下短时距诱发 MMN,长时距没有诱发 MMN。说明短时距(200ms)为自动加工,而长时距(1000ms)存在控制加工。

功能性磁共振(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)空间分辨率较高。Lewis 等^[13]利用 fMRI 研究了对短时距(0.6 秒)和长时距(3 秒)的加工涉及脑区的差异,发现双侧脑岛和背外侧额叶皮质,右半球前辅助运动区、额极(frontal pole)、顶下叶皮质在两个范围的时间分辨任务中均被激活。在 0.6 秒时岛盖(frontal operculum)、左小脑半球、颞中回与颞上回更为激活,在 3 秒时前扣带皮质和顶下叶更加激活。表明自动计时系统和控制计时系统存在各自特异的脑区。

来自神经药理学、ERP、fMRI 的证据均表明较短时距主要是自动计时,而较长时距为控制计时,但两种计时机制的时间分界点仍然没有得到一致的结论,一般认为几百毫秒范围时间知觉、运动计时均为自动加工,而接近一秒或者一秒以上时间知觉、运动计时则为控制加工。

二、自动计时系统的研究

肌肉的收缩和舒展产生运动,自动化的运动需要肌体对数十至数百毫秒范围变化的系列事件精确计时。不少学者认为毫秒范围的自动计时系统与运动系统很大程度上享有共同的脑基础。行为实验提示这种可能性的存在。Daniel 等^[14]发现时间知觉任务可以很好的迁移到运动计时任务上。在知觉任务中,要求被试分辨简短的听觉时距;运动任务要求产生持续的手指运动,两次敲击的间隔为目标时距。结果表明知觉任务能够减少运动任务的变异,并且目标时距为 300ms 时成绩好于 500ms。表明在极短时距信息加工与运动系统可

能具有相同的神经基础。

近年来对无损伤脑成像和神经心理学的研究证实了这个观点,例如 Pope 等^[15]用功能性磁共振成像对节奏的研究涉及两个系统的关系。实验分为力任务和时间任务,发现初级运动皮质、辅助运动区、基底神经节、丘脑和小脑在时间任务和力任务条件下均被激活。更多的研究证实小脑、基底神经节、辅助运动区在时间知觉、运动计时和其他运动控制过程均发挥重要作用。

(一)小脑

普遍认为小脑在运动的执行与协调、姿势和步伐的控制、眼动和言语的控制起着重要的作用,并且小脑对运动学习和自主神经系统也有贡献^[16]。脑成像和对小脑损伤的病人进行的研究发现小脑是自动计时的核心成分。正常被试在进行毫秒范围的时间知觉任务、节奏产生任务和敲击任务时均发现小脑激活,小脑在时间信息加工中的作用主要在计时感觉运动方面^[17]。小脑损伤的病人的计时行为也受到影响,他们分辨听觉时距更不精确,而分辨声音的强度不受影响。中上小脑的内侧和外侧(medial and lateral damage involving the middle-to superior-cerebellar lobules)损伤的病人在时间复制任务中表现出更大的变异性^[18]。杨珍、黄希庭^[19]总结了小脑在运动计时中的特点,认为小脑皮质能准确地表征连续事件之间的时间关系,小脑损伤病人的运动计时损伤仅表现在不连续动作任务中,而在连续的有节奏的动作中未出现损伤。因此小脑在自动计时系统以及运动控制系统中均起重要作用。

(二)基底神经节

Aparicio 等^[20]发现单侧基底神经节损伤病人用手指完成敲击任务,其敲击速度和产生力的精确性低于正常被试,表明基底神经节为运动控制系统的组成部分。基底神经节也为自动计时系统的核心成分。对基底神经节在时间任务中的作用可以通过对 Parkinson 病人的研究实现的。Harrington 等^[18]研究了基底神经节在知觉和运动计时任务中的作用,研究者要求 Parkinson 病人在时间知觉任务中分辨 300ms 和 600ms 时距,在运动计时任务中用手指敲击产生间隔 300ms 或 600ms 的节奏,发现 Parkinson 病人时间知觉和运动计时均受到了影响,表现出更大的变异性。基底神经节可能与基本的时间编码机制有关^[17]。因此基底神经节在自动计时系统以及运动控制系统中均起重要作用。

(三)辅助运动区

辅助运动区与复杂运动的准备有关,最近的研

究发现尾部和右侧辅助运动区在运动和感觉任务中激活,表明辅助运动区参与运动信息的加工^[21]。辅助运动区在自动计时系统中起重要作用。ERP和fMRI的研究均发现辅助运动区在知觉计时和运动计时过程中激活。Macar等^[22]运用ERP研究了时间分辨任务和产生任务中激活脑区的情况。发现在两个任务中辅助运动区产生了较大的负波,认为辅助运动区为时间信息加工相关区域。Macar等^[23]再次利用fMRI研究了辅助运动区与时间知觉任务的关系,研究实验任务为时间分辨任务,控制任务为力分辨任务,结果发现辅助运动区在时间分辨任务中更加激活。以上的研究表明辅助运动区是自动计时系统和运动系统重要组成区域。

从神经结构上不难理解小脑、基底神经节和辅助运动区在自动计时系统和运动控制系统中均发挥重要作用的原因。如图1,前额叶、丘脑和基底神经节(纹状体)构成皮质-纹状体回路,前额叶、丘脑和小脑构成皮质-小脑回路,这两个回路是运动控制的神经基础,也是自动计时的神经基础^[24]。

觉条件下激活,在运动任务条件下没有激活。Xu等认为下橄榄体和攀缘纤维系统(climbing fiber system)独立于运动行为对时间信息编码。两个系统精确的动态关系还有待进一步的研究。

三、控制计时系统的研究

长时距(大约1秒以上)的计时行为处于意识水平之上,控制计时系统描述了这个范围的计时行为。控制计时机制受注意的调节,也包含工作记忆、回忆等成分。脑成像、神经心理学的研究逐渐揭示了控制计时系统与工作记忆、注意等的关系。

(一)额叶-纹状体回路为控制计时系统与工作记忆的基础

额叶-纹状体(Frontal-striatal)回路属于人类计时系统^[26]。近年来的研究表明其与工作记忆的关系密切,表现在以下几个方面:工作记忆和时间估计依赖于同样的解剖结构,并对特殊的刺激具有相同的神经表征;背外侧前额叶在时间知觉和工作记忆中起重要作用;对神经递质的药理学研究发现秒-分范围时间编码的机制,完善了额叶-纹状体回路相位编码机制。

Lustig等^[27]提出工作记忆和时间估计依赖于同样的解剖结构,并对特殊的刺激具有相同的神经表征。皮质神经元可能激发振荡模式(频率,幅度)形成对刺激的表征,纹状体(基底神经节结构)可能检测皮质引发振荡的模式,刺激的信息可由振荡的模式提取,时间信息可由振荡的相位提取。相位对时间信息的编码的方式对短时距的编码很容易实现,但长时距信息的编码则要求振荡周期很长。而目前在大脑的神经网络中还没有发现稳定且周期较长的振荡。所以这种编码方式可能只适用于短时距的编码。最近的研究用时频分析技术对这种理论进行了初步的验证,发现时间知觉过程中的EEG的主要频率在20~25Hz之间^[28]。

以往的研究表明背外侧前额叶皮质是空间工作记忆的脑基础^[29]。不同的方法和感觉通道均证明背外侧前额叶在时间信息加工中起重要作用。事件相关电位在听觉通道发现背外侧前额叶与时间知觉有关。Keiichi等^[30]研究了时距分辨与音调分辨任务的差异。在两个实验中,均观察到关联负变化(contingent negative variation,CNV),并且CNV波幅在时距分辨任务中更大。定位分析发现右侧背外侧的前额皮质(DLPFC)在时距分辨中比音调分辨时更加活跃。功能磁共振在视觉通道也发现背外侧前额叶与时间知觉有关。Smith等^[31]比较了时距判断与时序判断在脑机制上的差异。右侧背外侧前额

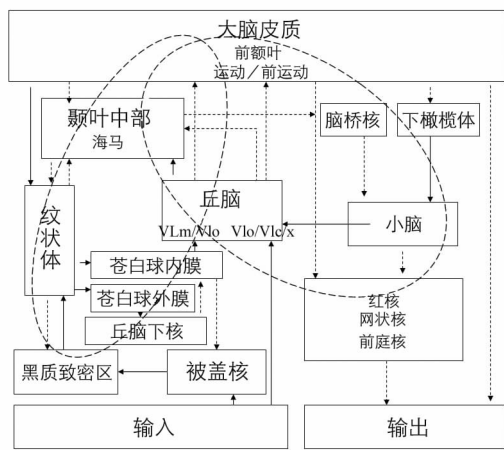


图1 自动计时系统和运动控制系统共同的神经基础

皮质-纹状体(左)和皮质-小脑(右)回路(采自 Meck, 2005)。实线代表各个区域的兴奋输入,虚线代表各个区域的抑制输入;VLM-腹外侧中部丘脑核(ventrolateral medial thalamic nucleus);VLO-腹外侧丘脑核-口部(ventrolateral thalamic nucleus-oral division);VLc/x-腹外侧丘脑核-尾部和X区(ventrolateral thalamic nucleus-caudal and area x divisions);脚桥被盖核(Pedunculopontine Tegmental Nucleus)

自动计时系统与运动系统关系密切,也有研究试图寻找两个系统各自的特异区域。Lewis等^[3]在综述基础上提出自动计时系统包括了运动系统和听觉皮质。Xu等^[25]研究了橄榄体-小脑系统在没有运动行为的条件下能否调节时间知觉。结果发现小脑的多个区域在时间知觉和运动任务中均激活,但是下橄榄体(inferior olive)只在时间知

叶在时距判断任务比时序判断更加激活。Smith 等认为背外侧的前额叶皮质除了单纯的工作记忆的功能外,在时间知觉中起重要的作用。

对神经递质的药理学研究发现秒一分范围时间编码的机制,完善了额叶-纹状体回路相位编码机制。神经药理学研究发现:秒一分范围的计时系统与基底神经节的多巴胺(dopamine, DA)功能,时间记忆和注意机制与额叶皮质的乙酰胆碱(acetylcholine, ACh)功能有关^[32]。纹状体结构中 N-甲基-D-天冬氨酸(N-methyl-D-aspartate, NMDA)受体调节工作记忆与“秒上”时间信息的加工,且与秒下的计时无关^[33]。

图 2 说明了以多巴胺和乙酰胆碱为神经递质的皮质-纹状体/海马结构,它为秒一分范围控制计时系统与工作记忆的共同基础^[24]。

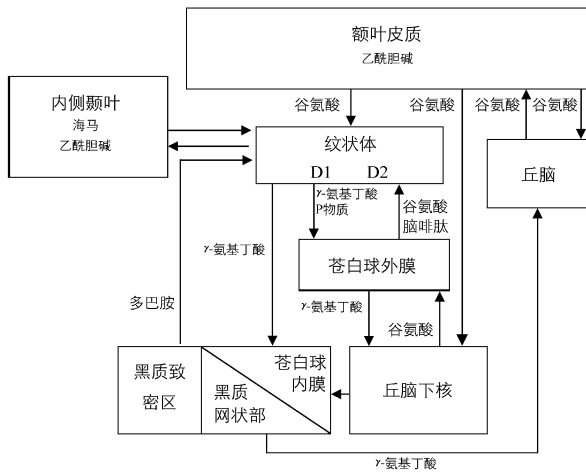


图 2 控制计时系统的神经基础

皮质-纹状体/海马回路(采自 Meck, 2005) D1-多巴胺 D1 受体亚型(dopamine D1 receptor subtype), D2-多巴胺 D2 受体亚型(dopamine D2 receptor subtype)。

(二) 时间信息加工的注意调节系统较复杂

计时行为是否受到注意的影响是自动计时与控制计时的重要区别。注意在控制计时系统的作用一直是研究的重要方面。

前辅助运动区与岛盖与对时间的选择性注意有关。Coull 等^[34]设计了双任务实验研究了对时间的注意调节的神经机制。被试对两个视觉刺激物的颜色或持续时间进行比较,通过指导语使被试将注意分配于刺激物的时间与/或颜色特征。发现随着对时间注意的增加,前辅助运动区、右岛盖的活动性也会增加。最近在听觉通道进行时间知觉实验发现,辅助运动区也与听觉时间知觉的注意有关,辅助运动区与时间知觉注意的关系具有跨通道效应^[35]。

左侧顶叶皮质与时间注意指向(temporal attentional orienting)有关。Coull 等^[36]采用时间提

示(temporal cue)研究了注意某一时点的神经机制。在时间提示下,告之被试靶可能出现的时间。如提示与靶出现时间不符称为无效提示,反之称为有效提示。有效提示的反应快于无效提示。Coull 认为无效提示反应慢于有效提示,是因为有注意转移的结果。带有时间信息的提示能够将注意指向时间的任一点,这个时间点成为预期时间点。在无效提示下,如果靶刺激出现早于预期时间点,为外源性的时间注意转移,代表了一种自下而上的认知加工机制;如果靶刺激晚于预期时间点,称为内源性的时间注意转移,代表了自上而下的认知加工机制。外源性的注意转移伴随着视觉皮层活动的增加,内源性的注意转移伴随着左侧顶叶上部、腹内侧前额叶和背外侧前额叶活动的增加。前额叶主要与工作记忆与时间知觉有关,左侧顶叶皮质与自上而下的时间注意指向有关。

此外 Lewis 等提出后部顶叶皮质和前扣带皮质与认知控制计时过程中注意有关^[37],但是顶叶和前扣带皮质与对时间的注意的关系并不是特异性的,即它们可能为基本的注意系统的一部分。例如 Huang 等^[38]对体觉刺激的注意研究中,发现顶下叶的激活。并认为包括(顶下小叶、缘上回、前扣带皮质和背外侧前额叶皮质)的顶-额回路为基本的注意控制系统。

由于注意具有选择、维持、调节和监督等功能,相应对时间信息的注意也是较为复杂的,时间与注意的关系及其脑机制还有待进一步的研究。

四、自动计时系统与控制计时系统的关系

(一) 两个系统激活区域和激活强度存在差异

自动计时系统与控制计时系统既存在相同的区域也存在特异的区域。Lewis 等^[19]研究 0.6 秒时距和 3 秒时距激活脑区的差异,两个时距均激活了双侧脑岛和背外侧前额叶皮质、右半球前辅助运动区、额极、顶下叶皮质,0.6 秒时距还激活岛盖、左小脑半球、内侧颞上回,3 秒时距还激活前扣带皮质和顶下叶。说明两个系统包含各自不同的区域。

有研究表明,自动计时系统与控制计时系统存在相同的区域,但认知控制系统某些区域更加激活。Pouthas 等^[39]运用 fMRI 对短时距(450 ms)和长时距(1 300 ms)估计进行研究,发现知觉短时距时前辅助运动区、前扣带、前额叶、顶叶皮质、基底神经节激活。知觉长时距时激活增加的区域有:前辅助运动区、前扣带、右侧额叶下部、双侧前运动皮质、右尾状核。

自动计时系统更多受感官刺激、运动系统的影

响,控制计时系统与注意、工作记忆等有密切的关系。以上两个研究表明两个系统在激活脑区与激活强度上存在差异,同时也说明两个系统并不是截然分离的,两个系统之间存在紧密的联系。这种联系是人对于时间总是知觉为连续流逝的神经基础。

(二) 两个系统时间范围不存在清晰的分界点

自动计时系统对毫秒范围最适用,也可以分辨秒范围的时距。Näätänen 等^[40]运用 MMN 研究了自动计时是否能适用于秒范围的时距。要求被试忽略声音刺激,大概率的标准刺激与小概率的偏差刺激的呈现时间存在差异,逐渐增大标准刺激和偏差刺激的呈现时间,但两者差异保持一常数。发现即使在标准时距超过一秒时仍然能够提取出 MMN。但当标准刺激超过 800ms 时,MMN 的强度显著减弱。提示自动计时不仅存在于毫秒范围,也存在于秒范围。说明时间信息的自动加工和控制加工不是截然分离的,可能同时存在自动加工和控制加工,短时距自动加工占优势,长时距控制加工占优势。

五、问题与展望

目前对自动计时与控制计时系统脑机制的研究也存在一些问题:首先基本假设认为短时距属于自动加工,而长时距属于控制加工。但是目前的研究还未有“短时距”、“长时距”确切的时间划分标准。正如分段综合的思想^{[1][2]},这种划分也会受到个体、通道、任务、刺激等因素的影响。例如,视听通道自动计时与控制计时的关系不同,一般认为在 200ms 下为自动加工,但最近研究发现 200ms 内听觉时间知觉是自动加工,而视觉时间知觉仍然存在控制加工^[41]。甚至左右大脑对时间信息的加工也存在不对称性^[42]。解决这个难题的最佳的方式不是划分一个绝对的时间界限,而是得到客观的生理指标衡量自动与控制加工。在听时间知觉的研究中,发现 MMN 可以作为自动加工的指标^[11],而 CNV 可以作为控制加工的指标^[35],但在视觉时间知觉还没有找到这样的生理指标。

其次,在一项时间任务中既存在自动计时也存在控制计时,目前的研究已经初步发现了自动计时与控制计时对应的脑区,分别表现为定位与非定位论两种不同的形式^[43],但是还不能统一成为一个动态的系统。新的技术或许成为解决这个问题的关键,例如可以运用神经网络模型模拟整合现有研究成果,利用时频分析来弥补 ERP 和 fMRI 分析技术的不足。

时间信息加工中自动加工与控制加工的关系

是时间认知的基本问题,对该问题的研究可以成为了解意识的一个窗口^[44],今后的研究既应该坚持分段的思想,探讨不同时距范围两种加工在时间任务中特点,也应该坚持综合的思想,探讨其他多种因素对自动与控制加工的影响,如对计时行为的学习、个体差异、通道等。综合运用行为、神经心理学、脑成像和神经网络模拟方法才能更为深刻的理解时间的本质。

参考文献:

- [1] 黄希庭,徐光国. 对变化/分割模型的检验(II)[J]. 心理学报,1999,31(2):135-141.
- [2] 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.
- [3] 黄希庭. 未来时间的心理结构[J]. 心理学报,1994,26(2):110-126.
- [4] 黄希庭,孙承惠,胡维芳. 过去时间的心理结构[J]. 心理学,1998,21(1):1-16.
- [5] Mauk M D, Buonomano D V. The Neural Basis of Temporal Processing[J]. Annual Review of Neuroscience, 2004, 27: 307-340.
- [6] Rammsayer T, Ulrich R. No evidence for qualitative differences in the processing of short and long temporal intervals [J]. Acta Psychologica, 2005, 120(2):141-171.
- [7] Lewis P A, Miall R C. Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: evidence from neuroimaging[J]. Current Opinion in Neurobiology, 2003, 13(2):250-255.
- [8] Rammsayer T H. Neuropharmacological evidence for different timing mechanisms in humans[J]. Quarterly Journal of Experimental Psychology B, 1999, 52(3):273-286.
- [9] Näätänen R, Winkler I. The concept of auditory representation in cognitive neuroscience [J]. Psychological Bulletin, 1999, 125(6):826-859.
- [10] Näätänen R, Paavilainen P, Reinikainen K. Do event related potentials to infrequent decrements in duration of auditory stimuli demonstrate a memory trace in man [J]? Neuroscience Letters, 1989, 107(1-3):347-352.
- [11] Kujala T, Kallio J, Tervaniemi M, et al. The mismatch negativity as an index of temporal processing in audition [J]. Clinical Neurophysiology, 2001, 112(9):1712-1719.
- [12] Grimm S, Widmann A, Schröger E. Differential processing of duration changes within short and long sounds in humans [J]. Neuroscience Letters, 2004, 356(2):83-86.
- [13] Lewis P A, Miall R C. Brain activation patterns during measurement of sub- and supra-second intervals [J]. Neuropsychologia, 2003, 41(12):1583-1592.
- [14] Daniel M V, Richard A N, Robert J A. Motor timing learned without motor training [J]. Nature Neuroscience, 2000, 3(9):860-863.
- [15] Pope P, Wing A M, Praamstra P, et al. Force related activations in rhythmic sequence production [J]. NeuroImage, 2005, 27(4):909-918.
- [16] Maschke M, Frings M, Timmann D. Which role does the human cerebellum play beside coordination of movements

- [J]? *Medizinische Welt*,2005,56(11):511—515.
- [17] 张志杰,黄希庭. 时间认知的脑机制研究[J]. *心理科学进展*,2003,11(1):44—48.
- [18] Harrington D L,Haaland K Y,Hermanowicz N. Temporal processing in the basal ganglia[J]. *Neuropsychology*,1998,12(1):3—12.
- [19] 杨珍,黄希庭. 时间认知神经科学研究进展[J]. *心理科学*,2005,28(6):1506—1509.
- [20] Aparicio P,Diedrichsen J,Ivry R B. Effects of focal basal ganglia lesions on timing and force control[J]. *Brain and Cognition*,2005,58(1):62—74.
- [21] Chung G H,Han Y M,Jeong S H,et al. Functional heterogeneity of the supplementary motor area [J]. *American Journal of Neuroradiology*,2005,26(7):1819—1823.
- [22] Macar F,Vidal F,Casini L. The supplementary motor area in motor and sensory timing:Evidence from slow brain potential changes[J]. *Experimental Brain Research*,1999,125(3):271—280.
- [23] Macar F,Coull J,Vidal F. The supplementary motor area in motor and perceptual time processing:fMRI studies [J]. *Cognitive Processing*,2006,7(2):89—94.
- [24] Meck W H. Neuropsychology of timing and time perception [J]. *Brain and Cognition*,2005,58(1):1—8.
- [25] Xu D,Liu T,Ashe J,et al. Role of the olivo-cerebellar system in timing[J]. *The Journal of neuroscience:the official journal of the Society for Neuroscience*,2006,26(22):5990—5995.
- [26] Hinton S C,Meck W H. Frontal-striatal circuitry activated by human peak-interval timing in the supra-seconds range [J]. *Cognitive Brain Research*,2004,21(2):171—182.
- [27] Lustig C,Matell M S,Meck W H. Not “just” a coincidence: Frontal-striatal interactions in working memory and interval timing[J]. *Memory*,2005,13(3):441—448.
- [28] 张志杰,刘强,黄希庭. 时间知觉的神经机制—EEG 时频分析的探索[J],*西南大学学报(自然科学版)*,2007,29(10):152—155.
- [29] Slotnick S D. Spatial working memory specific activity in dorsal prefrontal cortex? Disparate answers from fMRI beta-weight and timecourse analysis[J]. *Cognitive Neuropsychology*,2005,22(7):905—920.
- [30] Keiichi O,Suzuki J,Nittono H,et al. LORETA analysis of CNV in time perception[J]. *International Congress Series*,2004,1270:291—294.
- [31] Smith A,Taylor E,Lidzba K,et al. A right hemispheric fronto-cerebellar network for time discrimination of several hundreds of milliseconds[J]. *NeuroImage*,2003,20:344—350.
- [32] Meck W H. Neuropharmacology of timing and time perception [J]. *Cognitive Brain Research*,1996,3(3—4):227—242.
- [33] Rammsayer T H. Effects of pharmacologically induced changes in NMDA receptor activity on human timing and sensorimotor performance[J]. *Brain Research*,1073(1):407—416.
- [34] Coull J T,Vidal F,Nazarlan B,et al. Functional Anatomy of The Attentional Modulation of Time Estimation[J]. *Since*,2004,303(5663):1506—1508.
- [35] 陈有国,张志杰,黄希庭,等. 时间知觉的注意调节:一项 ERP 研究[J]. *心理学报*,2007,39(6):1002—1011.
- [36] 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]. *Neuroscience*,1998,18(18):7426—7435.
- [37] Lewis P A,Miall R C. A right hemispheric prefrontal system for cognitive time measurement [J]. *Behavioural Processes*,2006,71(2—3):226—234.
- [38] Huang M X, Lee R R, Miller G A,at el. A parietal-frontal network studied by somatosensory oddball MEG responses and its cross-modal consistency[J]. *NeuroImage*,2005,28(1):99—144.
- [39] Pouthas V,George N,Poline J B,et al. Neural network involved in time perception: An fMRI study comparing long and short interval estimation[J]. *Human Brain Mapping*,2005,25(4):433—441.
- [40] Näätänen R,Sysoeva O,Takegata R. Automatic time perception in the human brain for intervals ranging from milliseconds to seconds[J]. *Psychophysiology*,2004,41(4):660—663.
- [41] Chen Y G, Yang B J, Huang X T,et al. Cross-modal pre-attentive processing and audio-visual modality effect of time perception as indexed by mismatch negativity[J]. *NeuroImage*,Under Review.
- [42] 凤四海,黄希庭. 时间知觉阈限的双脑不对称性[J]. *西南大学学报(社会科学版)*,2007,33(5):5—8.
- [43] 尹华站,黄希庭,李丹. 时间知觉的脑机制研究[J]. *西南师范大学学报(人文社会科学版)*,2006,32(4):1—4.
- [44] 黄希庭,张志杰,凤四海,等. 时间心理学的新探索[J]. *心理科学*,2005,28(6):1284—1287.

责任编辑 曹 莉

The Brain Mechanism of Automatic and Controlled Timing System

CHEN You-guo, PENG Chun-hua, ZHANG Zhi-jie, HUANG Xi-ting

(School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The evidences of automatic and controlled timing systems are proposed form the fields of imaging and neuropsychology. The study on automatic process of temporal information shows that the automatic timing system has close relationship with motor system. The two systems contain both cerebellum, basal ganglia, and supplementary motor area. The study on controlled process of temporal information shows that frontal striatal circuits including dorsolateral prefrontal cortex is considered as basis of controlled timing system and working memory. The attentional modulation system of time includes pre-supplementary motor area, right frontal operculum, parietal lobe, and anterior cingulate cortex. There are also differences in active patterns such as area and intensity, and not clear temporal borderline between automatic and controlled timing systems.

Key words: automatic processing; controlled processing; timing; motor system; working memory; attention