

情绪调节时间知觉的作用方式及认知神经机制*

崔倩^{1,3)} 赵科^{2,3)} 傅小兰^{1,3)**}

⁽¹⁾ 中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京 100101;

⁽²⁾ 中国科学院心理研究所, 心理健康重点实验室, 北京 100101; ⁽³⁾ 中国科学院大学心理学系, 北京 100049)

摘要 人类的时间知觉会受到情绪的调节发生主观扭曲, 这种调节可以通过情绪的体验与预期来实现。本文区分了体验性情绪和预期性情绪调节时间知觉的作用方式和认知机制, 基于标量计时理论, 提出了在不同加工阶段情绪调节时间知觉的认知理论模型, 并梳理了情绪调节时间知觉的神经生理学基础和脑机制方面的证据。未来研究需更关注预期性情绪对时间知觉的调节作用, 考察注意、唤醒和效价等因素的交互影响, 并进一步探究情绪调节时间知觉的神经机制。

关键词 情绪, 时间知觉, 作用方式, 标量计时模型, 神经机制

学科分类号 B845, R338

DOI: 10.16476/j.pibb.2017.0446

时间是人类存在的基本维度之一^[1]。准确感知时间是关乎人类生存和发展的一种必不可少的能力^[2-3], 从毫秒、秒、分钟到 24 小时, 人类进行体育运动、交谈、欣赏和演奏音乐、睡眠等都依赖于对这些不同跨度时距的感知。然而, 不同于钟表对时间相对精确的记录, 人类的主观时间会受到诸多因素的影响而发生扭曲。其中, 情绪可能是最有力和最突出的调节因素之一^[4]。一方面, 情绪可作为背景或对象影响正在进行的计时过程, 例如, 人们常常感到“愉快的时光总是过得飞快”; 另一方面, 当人们预期未来事件将会引发某种特定的情绪时, 即使当下情绪结果并没有发生, 这种预期也可以影响主观时间, 例如, 被通缉的逃犯预期自己终有一天难逃法网, 在逃期间往往感觉“度日如年”。

情绪不仅是基于当下刺激产生的主观反应, 而且可以产生于对未来刺激的预期过程中^[5-6]。大量研究证实了情绪对主观时间具有重要的调节作用^[7-8]。即时呈现的正性或负性的情绪刺激相比中性刺激延长主观时距^[9-10]; 体验到高唤醒度的情绪刺激会导致更长的时距判断^[11]。同时, 预期到负性情绪会比正性和中性刺激延长对间隔时距的感知。情绪对时间知觉的调节, 既受到注意、情绪效价、唤醒度等与情绪诱发有关的刺激因素的影响, 也会受到产生

情绪的机体因素如年龄、性别、人格特征等的影响。情绪是个体应对环境时的适应性反应, 机体为了趋利避害, 也会在情绪刺激尚未出现之前产生预期, 并根据预期做出不同的反应。即时呈现情绪刺激和预期产生的情绪是两种不同的情绪诱发方式, 都能作用于时间知觉。从信息加工的角度, 前者对时间知觉的调节可能是一种自下而上的加工过程, 而后者对于时间知觉的调节可能更多是一种自上而下的加工过程。对于即时情绪调节时间知觉, 情绪体验与计时过程同步进行。而对于预期性的情绪, 计时过程发生在实际情绪刺激出现之前, 因此对情绪刺激的加工与计时过程在时间上可以分离。分别探讨体验性情绪(即时呈现情绪刺激)与预期性情绪(预期情绪刺激)对于时间知觉的调节作用可以揭示在时间知觉的不同阶段情绪是如何起作用的。同时, 从时间加工阶段的角度探讨情绪如何调节时间知觉, 情绪调节时间知觉的理论模型及其神经机制, 将有助于我们对于情绪与时间知觉关系的理

* 国家自然科学基金(61375009, 31400876), 国家自然科学基金委和德国基金会中德合作项目(NSFC 61621136008/DFG TRR-169)资助。

** 通讯联系人。

Tel: 010-6487-3518, E-mail: fuxl@psych.ac.cn

收稿日期: 2017-12-06, 接受日期: 2018-01-17

解。因此, 本文将从情绪调节时间知觉的作用方式、影响因素等方面系统地梳理该领域的文献, 阐述情绪调节时间知觉的神经生理基础和认知神经机制, 并提出一个更全面的解释情绪调节时间知觉机制的认知理论模型, 最后对该领域存在的问题进行评述和展望。

1 情绪调节时间知觉的作用方式

根据情绪的诱发基于当前还是未来, 情绪可以分为体验性情绪(experienced emotions)或即时情绪(immediate emotions)和预期性情绪(anticipated emotions)^[12-13]。体验性情绪是指个体对已经出现的情绪刺激产生的机体反应或主观体验, 一般包括自主神经系统的反应和情绪的外在表现; 预期性情绪则是个体对未来可能出现的某种情绪刺激或结果的预期所引起的机体反应或主观体验。体验性情绪时效性、生动性更强; 而预期性情绪因其并非是当下直接体验到的情绪, 会受到个体自身的经验、人格特征、自我调节能力等因素的影响。例如, 想象力丰富的个体所感受的预期性情绪更生动形象、情绪强度更大^[14], 高焦虑特质的个体对负性刺激的预期性情绪体验更加强烈^[15]。因此, 预期性情绪和体验性情绪作用于时间知觉的方式可能存在差异。对于体验性情绪, 其对时间知觉的调节是一种刺激驱动的加工过程, 依赖于情绪刺激的特征, 如强度、熟悉度等; 而对于预期性情绪, 计时过程中情绪刺激没有实际出现, 这种调节需要主观的情绪建构, 更依赖于主体自身因素的影响。

1.1 体验性情绪调节时间知觉

体验性情绪调节时间知觉的研究关注正在经历或体验中的即时情绪如何调节时间知觉, 其研究可分为两类: 一类是把情绪刺激本身的呈现时距作为估计对象, 计时过程与情绪体验过程同步进行(图 1a)。大量研究表明体验性情绪对时间知觉具有调节作用, 且该调节作用存在于不同的感觉通道中。在视觉通道, 很多研究发现: 人们对正性、负性情绪图片或情绪面孔的时距估计不同于对中性图片或面孔的时距估计^[9-11]。例如, 相比中性面孔, 人们会高估恐惧、愤怒、悲伤和高兴等情绪面孔的呈现时距^[16-17]。在听觉通道, Noulhiane 等^[18]发现在时距相同的情况下, 人们会认为情绪性声音的时距长于中性声音的时距。另一类研究是将情绪刺激作为背景诱发被试特定的情绪状态, 考察其对目标刺激呈现时距估计的影响(图 1b)。在该类研究中诱发

的体验性情绪具有持续性和弥散性的特点。例如, Ogden 等^[19]通过在被试手臂上施加愉快轻柔的触觉刺激诱发积极的情绪体验, 发现被试对屏幕上蓝色方块的时距估计比在不愉快的触觉刺激条件或控制条件下更短。这说明持续性的情绪状态会调节时间知觉。另外, Langer 等^[20]发现被蒙住双眼的被试在靠近悬崖时比远离悬崖时感觉时间过得更慢, 说明危险情境诱发的恐惧情绪使人对时距的估计延长。除了在真实情境中诱发情绪体验之外, 研究者也会通过让被试观看情绪影片诱发特定的情绪。例如, Droit-Volet、Fayolle 和 Gil^[21]考察被试在观看恐怖、悲伤和中性电影前后对中性几何图形时距估计的影响, 结果发现只有恐怖电影, 被试观看之后的时距估计显著长于观看之前。类似地, Eberhardt、Huckauf 和 Kliegl^[22]让被试分别在电影诱发的恐惧和中性的情绪状态下估计恐惧和中性面孔的呈现时距。结果发现, 被试在恐惧情绪状态下对两类面孔的呈现时距都会高估, 但恐惧面孔相对中性面孔的高估效应却没有出现, 表明在情绪背景下, 情绪刺激自身的时距扭曲效应会受到影响。这说明在研究中分离情绪刺激、情绪状态各自的作用对于深入理解情绪调节时间知觉的机制十分重要。

1.2 预期性情绪调节时间知觉

除了即时的情绪体验, 人们还可以根据知识经验、信念、规则或线索, 提前对未来可能发生的情绪事件或结果进行预期而产生相应的情绪感受或体验。这种预期性情绪也能调节时间知觉, 目前对其研究方式可以大致分为两类: 一类是通过实验操作的方式(如区组设计)让被试产生不同的情绪预期, 而并不出现明显的外在线索。例如在一个区组内只出现某类情绪刺激, 被试在完成此阶段实验时只产生该类情绪预期, 以此探讨不同类型情绪预期如何调节时间知觉。例如, Yoshie 和 Haggard^[23]采用该方法发现在情绪结果可预期条件下, 自主按键到负性情绪声音结果之间的主观时间间隔, 被估计为显著长于自主按键到中性或正性情绪声音结果之间的时间间隔。另一类研究是通过外在的线索让被试产生不同类型的情绪预期。在这类研究中, 被试通过外显规则或习得中性线索与不同类型的情绪性刺激之间的联结, 从而在某种线索提示下产生相应的情绪预期(图 1c)。例如, Hare^[24]发现当被试预期会出现电击时比预期不会出现电击时, 对间隔时距的估计更长。Schiff 和 Thayer^[25]发现被试预期即将闻到某种气味, 不论是愉快、不愉快或中性的嗅觉刺

激, 都会比实际闻这类刺激产生更长的时距判断。更有趣的是, 这种效应在愉快气味时最为明显。Droit-Volet 等^[9]采用高分贝噪音诱发负性情绪, 发现在预期出现噪音的条件下被试对于探测刺激的时距估计会更长。研究者认为在预期威胁刺激的过程中, 唤醒水平升高使内部时钟速率加快是导致时距高估的原因。但是, Lake、Meck 和 LaBar^[26]的研究发现: 用电击作为威胁刺激, 无论是出现预示电击的线索还是预示无电击的线索都会导致被试低估比较刺激的时距, 并认为出现这种效应的原因可能是预期分散了原本用于计时加工的注意资源。

目前, 关于预期性情绪调节时间知觉的研究不仅很有限, 而且在这些为数不多的研究中结果还存在诸多不一致之处。例如, 同样是预期一种威胁性的刺激, Lake、Meck 和 LaBar^[26]与 Droit-Volet 等^[6]的研究却分别得到了低估和高估时距两种相反的结果。另外, 在 Schiff 和 Thayer^[25]的研究中预期正性刺激显著延长了主观时距, 而 Yoshie 和 Haggard^[23]却发现, 预期负性刺激比正性或中性刺激有更强的时距延长效应。这可能是由于预期性情绪调节时间知觉的机制比较复杂, 它既可以通过调节唤醒或注意影响时间知觉, 也可以通过对情绪结果的预期调节时间知觉, 而且该调节过程本身也是动态变化的, 唤醒和注意会随着时间的持续出现波动。同时在等待情绪结果的过程中, 也可能伴随着愤怒、无聊、焦虑等多种类型情绪体验^[27]。这些因素使得预期性情绪对时间知觉的调节更为复杂, 需要更深入的

研究。

2 情绪调节时间知觉的影响因素

2.1 诱发情绪的刺激因素

2.1.1 唤醒水平和效价

唤醒水平和效价是情绪刺激的两个重要维度^[28]。其中, 唤醒水平是指机体生理性激活的程度, 包括由平静到兴奋的不同状态^[29]。唤醒水平的提高通常与大脑活动增强和神经递质释放增加有关, 它会对个体认知和行为活动产生广泛影响^[30]。唤醒水平的提高被认为可以使内部时钟的起搏器速率增加, 导致个体在单位时间内知觉到的时距延长^[31]。以往研究发现服用多巴胺类药物或升高体温能提高生理唤醒水平并会导致主观时距延长^[32-33]。Compbell 和 Bryant^[34]让跳伞新手在完成他们的第一跳后(高唤醒体验)去估计他们在空中停留的时间, 结果发现跳伞者估计的时间与他们所体验到的恐惧水平成正比。Gil 和 Droit-Volet^[11]采用口头报告法让被试估计不同唤醒水平情绪图片的呈现时距, 发现对于同类情绪, 高唤醒水平比低唤醒水平导致更长的时距判断, 表明了唤醒水平在主观时间扭曲中的作用。另外一些研究采用皮肤电反应等生理指标^[6, 10-11, 35-36]或通过被试主观报告来评定唤醒水平等方式^[6, 10-11, 36-39]进一步验证了唤醒水平的高低与时间知觉长短的直接联系。

效价也是情绪调节时间知觉的另一重要影响因素。大量研究证明正性和负性情绪对时间知觉会有不同的影响^[10-11, 18, 36, 40-43]。例如, Noulhiane 等^[18]研究发现被试判断正性与负性情绪声音比中性声音导致了更长的时距估计, 且这种延长效应在负性情绪上更为明显。Lake、LaBar 和 Meck^[26]从生物生存意义的角度解释了情绪刺激的效价对于时间知觉的影响, 他们认为负性刺激尤其是与威胁相关的负性刺激与生物的生存关联度高, 因此个体的防御机制更容易被激活。例如, 人们对于愤怒面孔时距的估计要显著长于中性和高兴面孔, 甚至长于同为负性刺激且唤醒水平相同的恐惧面孔。这是由于对个体而言, 愤怒的面孔要比恐惧的面孔更有威胁性, 更能激活与恐惧相关的防御机制^[9, 44]。

2.1.2 注意分配

西方有谚语 “A watched pot never boils(心急水不开)”, 说明注意对于主观时间的重要性^[45]。大量的研究表明当注意指向时间任务时时距会延长, 注意被分散到其他非时间任务时时距估计会缩短^[46-47]。

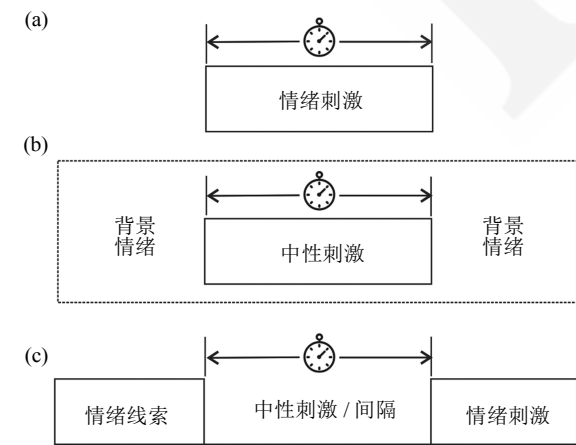


Fig. 1 The schematic diagram of the mode of action in emotional modulation of interval timing
图 1 情绪调节时间知觉的作用方式示意图
(a, b) 体验性情绪调节时间知觉的作用方式。(c) 预期性情绪调节时间知觉的作用方式。

情绪刺激一般会吸引更多注意并得到优先加工^[48], 注意在情绪调节时间知觉中也起着重要作用^[49].

Lui、Penney 和 Schirmer^[50]将情绪图片或中性图片插入标准刺激和比较刺激之间, 结果发现正、负性情绪图片之后的比较刺激的时距被显著低估, 研究者认为这是由于情绪图片捕获了更多注意资源, 使被试用于计时的注意资源减少造成了时间的压缩.

Gil、Rousset 和 Droit-Volet^[51]研究发现令人厌恶和令人喜爱的食物都使人们低估它们的呈现时距, 且该效应对于令人厌恶的食物低估程度更大. Droit-Volet^[52]从进化的角度解释了该现象, 认为厌恶情绪可以使人类避免摄入有潜在危险的食物, 与人的健康保护机制密切相关, 因此令人厌恶的食物使人警觉并自动吸引更多注意, 使原本用于时间加工的注意资源减少, 从而导致个体对时距的低估.

2.2 产生情绪的机体因素

2.2.1 性别

女性一般比男性具有更强的情绪再认能力、情绪记忆能力、负性情绪易感性和更高的共情水平^[53-54], 有些研究为了考察情绪对时间知觉的影响甚至只采用女性作为被试^[55]. Grondin 等^[56]让被试估计不同性别情绪面孔的呈现时距, 其中包括愤怒、羞愧和中性的面孔, 发现虽然男性和女性对愤怒和羞愧面孔的时距都会高估, 但较之男性而言, 女性对愤怒面孔的时距比羞愧面孔高估程度更大, 且该效应仅在呈现男性模特的面孔时才出现. 此外该研究还发现, 被试性别与面孔性别存在交互作用, 即男性被试会高估女性面孔的时距, 但女性被试却没有高估男性面孔的时距, 这一现象可能源于求偶动机导致男性被试面对异性图片时唤醒水平更高. 另外, Schirmer 等^[57]以情绪语音作为实验材料, 比较了男性和女性时间知觉受情绪语音影响的特点, 发现女性会低估厌恶和惊讶语音的时距, 而男性只会低估厌恶语音的时距. 研究者认为这与女性知觉到的情绪唤醒异于男性有关. 同时该研究的事件相关电位结果显示女性更容易受到语音快慢变化的影响, 这说明女性对语音中的社会性情绪信息更为敏感, 更容易从社会信息中提取情绪信息并影响时间加工过程. 此外, 情绪调节时间知觉的性别差异同样存在于语词符号系统中. 如最近研究发现, 相比男性, 女性会明显高估情绪性词语的呈现时距, 这种性别差异效应甚至不受情绪词语的效价

和唤醒水平的影响^[58].

2.2.2 年龄

年龄是影响时间知觉准确性的重要因素. 个体许多与时间知觉有关的认知能力都会随年龄变化, 如记忆广度、信息加工速度、注意和执行功能等^[59-62]. Gil、Niedenthal 和 Droit-Volet^[9]比较了不同年龄阶段的儿童对相同时长的中性和愤怒面孔的时距估计, 结果发现 3 岁、5 岁和 8 岁组的儿童对愤怒面孔的时距估计都长于中性面孔, 且时间估计的灵敏度随年龄增长有所提升. 随着年龄的增长, 老年人的情绪加工呈现正性注意偏向的特征, 即他们更容易被正性信息唤醒而更少关注负性信息^[63].

Nicol、Tanner 和 Clarke^[43]证实了老年人在情绪调节时间知觉中也存在正性偏向, 老年人对积极事件和威胁性事件的时距都会高估, 而年轻人仅仅高估威胁性事件的时距. 另外, 国内有研究发现老年人高估“欢乐情绪”时间, 而低估“悲伤情绪”时间^[64].

2.2.3 人格特征

人格是一个人区别于他人稳定而统一的心理特征. 人格与情绪存在紧密的联系. 情绪体验以及处理情绪事件的方式是人格的重要组成部分^[65]. 已有研究发现人格中的某些特质(如焦虑或恐惧)在情绪调节时间知觉过程中起重要作用^[66-67]. 被试的负情绪性分数^[44]以及自我报告的特质焦虑水平^[16]与恐惧和愤怒表情所导致的时距延长的程度呈显著正相关.

2.2.4 群体差异

近年来, 对临床上与情绪相关的特殊群体(如恐惧症、焦虑症、抑郁症等)时间知觉的研究, 有助于增进对情绪调节时间知觉机制的理解. 例如, Tipples^[68]发现蜘蛛恐惧症患者在观看蜘蛛图片时的时间信息累加速度要快于对鸟类图片的累加速度. 此外, Buetti 和 Lleras^[66]还发现蜘蛛恐惧者高估时间的程度与其主观报告的恐惧程度成正相关. Yoo 和 Lee^[69]发现高社交焦虑者对负性高唤醒情绪面孔的呈现时距高估程度比正性面孔要更大. Mioni、Stablum、Prunetti 和 Grondin^[70]认为焦虑症病人表现出来的时间知觉扭曲主要是由于注意失调导致的. Ryu 等^[71]研究发现, 双向情感障碍的病人在躁狂期与情绪稳定期会表现出不同的时距扭曲特点, 躁狂期内其症状的严重程度与时距扭曲的程度显著正相关, 而处在情绪稳定期的病人与健康被试无异, 这可能说明双向障碍病人的时间知觉扭曲与躁狂状态下特有的神经生物学机制密切相关.

抑郁会显著改变个体的主观时间体验。个体在抑郁状态下普遍会报告时间过得很慢, 甚至感觉时间停止^[72]。Blewett^[73]采用问卷法调查患有中度至重度抑郁的患者, 结果证实了抑郁症患者有高估时距的倾向。对于该现象, 一种观点认为, 这可能与抑郁症患者内部时钟速率变慢有关^[70, 74]。Droit-Volet^[74]认为, 时间辨别力与信息加工速度存在显著正相关, 个体信息加工速度越快, 时间辨别力就越强, 而信息加工速度可能是内部时钟速率的指标。另一种观点认为, 抑郁症患者感觉时间变慢可能部分源于其对自身动作和认知活动迟滞的知觉。然而, 内部时钟速率变慢的观点并不能解释抑郁症患者在不同时间长度上时间知觉准确性的差异问题。事实上, 当时间单位是亚秒级(1 s 以下)时, 抑郁者的时间敏感性与常人并无太大差异, 但对于秒级(1 s 以上)的时距, 抑郁者的感知敏感性较差^[75]。这种分离可能与抑郁症个体的注意和执行功能缺陷有关。神经影像学研究表明抑郁症患者的前额叶结构和功能都存在异常^[76], 这使得他们很难在计时过程中调节注意, 因而对需要保持注意的长时距估计扭曲程度更大。此外, 抑郁症个体不停地对过去的负面事件进行反刍(rumination), 导致他们在完成时间任务时工作记忆中的负面情绪经常被激活, 干扰时间加工进程, 进而影响时间判断^[74]。总的来说, 目前关于抑郁症患者时间知觉的实证研究仍十分有限, 且由于被试样本的异质性及抑郁程度的差异性, 这些研究结果之间还存在一些矛盾和分歧, 仍需要未来进一步澄清。

3 情绪调节时间知觉的认知模型

尽管到目前为止, 尚未出现专门关于情绪调节时间知觉的理论模型, 但在时间知觉领域影响最为广泛的标量计时模型(scalar expectancy model)可以用来解释该现象。标量计时模型最早是由 Treisman^[81]提出, 后经 Gibbon 等^[77]发展完善, 逐渐成为该领域最具解释力的经典模型。

标量计时模型把时间加工过程分成三个阶段, 分别是时钟阶段、记忆阶段和判断阶段。其中时钟阶段包含起搏器、开关和累加器三个部分。计时开始时, 开关闭合, 起搏器以一定频率向累加器发送时间脉冲。计时结束时, 开关断开, 脉冲停止累加。累加器中累计的脉冲数量被用来表征时距的长短。记忆阶段由工作记忆和参照记忆组成。累加器中的时间信息在该阶段由工作记忆传送至参照记忆

中。最后, 在判断阶段, 个体对工作记忆中的当前时距和参照记忆中的时间表征进行比较, 做出时距判断^[25, 77]。根据该模型, 个体主观时间经验的扭曲方向和程度取决于模型的哪个阶段受到了影响。目前的讨论主要集中在起搏器的功能、开关的调节作用等方面。一般认为, 唤醒水平可以影响起搏器发放时间脉冲的频率, 随着唤醒水平增加, 在同样单位物理时间内累积的脉冲数量增多, 导致由脉冲数量表征的时距估计变长。开关(或者闸门)的开合状态和程度由注意控制, 当注意指向需要计时的目标, 开关闭合(或闸门打开), 开关闭合得越早或闸门打开的程度越大, 会使更多的时间脉冲得以从起搏器发送到累加器, 从而导致主观时距延长, 而对时间维度的注意被分散使累积的脉冲数量减少, 导致主观时距缩短^[78]。

Lake^[4]对标量计时模型进行了拓展, 试图解释唤醒和注意如何分别作用于模型的时钟阶段。一方面情绪会影响唤醒和注意的过程(该过程受到诸如情绪效价、性别、年龄、焦虑特质等因素的调节)。具体来说, 唤醒水平影响起搏器发放脉冲的频率, 注意的指向和资源的分配则影响开关/闸门的开合状态, 之后通过影响进入累加器的脉冲数量, 进而作用于时间知觉。另一方面, 扭曲的时间知觉也会反过来影响情绪本身。Pomares 等^[79]发现误导被试疼痛刺激的持续时间可以影响知觉到的疼痛强度。即使疼痛的实际持续时间是相同的, 当被试被告知疼痛的持续时间更长时, 他们报告的疼痛强度也更高。这说明主观知觉到的时距变化可能影响与之相关的情绪体验的强度。此外, 在人机交互和互联网消费领域, 网页打开缓慢的时间知觉容易导致负性的情绪体验^[80]。Lake^[4]提出的模型将实证研究中情绪调节的因素进行归纳, 同时又指出扭曲的时间知觉本身对于情绪的反向作用, 有助于进一步理解情绪与时间知觉之间的相互关系和作用机制。但该模型只涉及了情绪在时间加工的时钟阶段如何调节时间知觉, 而忽视了情绪对时间知觉记忆阶段的影响, 存在一定的不足。

根据标量计时理论, 记忆阶段负责对时间信息进行保存和巩固, 并与参照记忆进行比较, 是时间加工过程中不可分割的重要部分。在 Lake^[4]理论解释的基础上, 我们提出了一个更全面的认知模型, 并认为情绪不仅通过时钟阶段对时间知觉进行调节, 也可能直接调节时间知觉的记忆阶段(图 2)。一方面, 情绪刺激可能直接影响时间加工的工作记

忆阶段, 从而导致时间扭曲. 有关时间加工与工作记忆关系的研究发现, 在计时过程中完成需占用工作记忆的干扰任务(如记忆搜索), 被试产生出的时距比标准时距更长, 而完成不需要占用工作记忆资源的并行加工任务(如视觉搜索), 时距估计并未受到影响^[81-82]. 这说明计时任务和干扰任务都需要占用工作记忆资源, 干扰任务可能是通过影响工作记忆进而影响计时过程^[82]. 同时, 也有研究表明情绪刺激会影响工作记忆^[82-84], 因此, 情绪可以通过影响时间加工的工作记忆而导致时间知觉发生扭曲. 另一方面, 情绪刺激同样也可能通过直接影响参照记忆进而调节时间知觉. 根据标量计时理论, 储存

在工作记忆中的时间信息需要与参照记忆中的时间表征进行比较, 然后才能做出时距判断. 因此, 参照记忆的准确与否也是影响时距判断的重要因素. 有研究发现, 作为储存在长时记忆中的时距表征, 参照记忆并非固定不变, 而是会随着新的标准时距的出现而发生改变^[82-86]. 最近研究发现, 具有中度认知障碍的帕金森病人对于情绪面孔的时距扭曲呈现出低估长时距和高估短时距的特点, 研究者认为这主要是由于参照记忆受到认知障碍的影响而使标准时距的时间表征难以保持稳定^[87-88]. 因此, 情绪也可以通过影响记忆阶段的参照记忆而导致时间知觉发生扭曲.

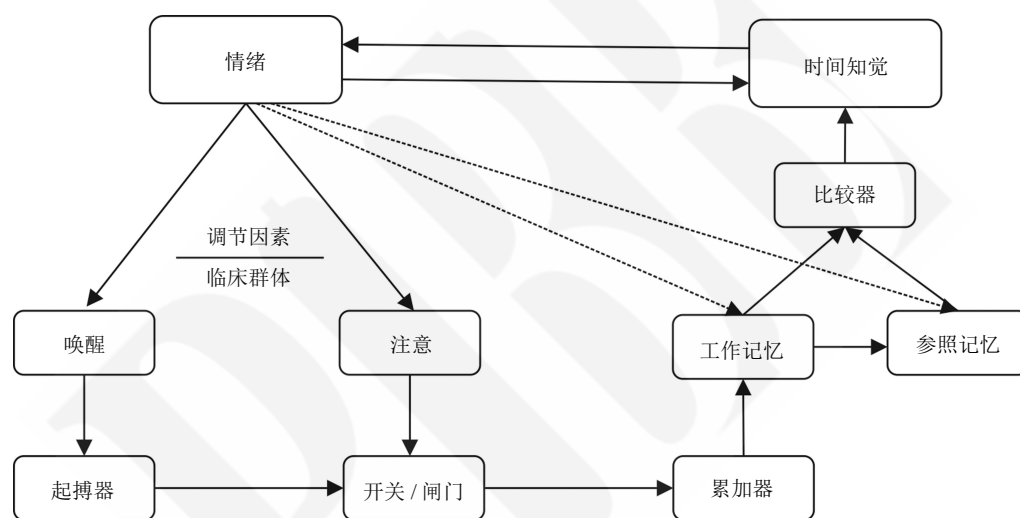


Fig. 2 A cognitive model of emotional modulation on temporal processing processes based on the scalar expectancy theory

图2 基于标量计时理论的情绪调节时间知觉加工过程的认知模型

该模型在标量计时模型^[77]和 Lake^[6]提出的情绪与时间知觉关系模型的基础上进行拓展以解释情绪调节时间知觉的过程及作用机制, 虚线表示两者之间关系有待进一步证实.

4 情绪调节时间知觉的神经机制

4.1 情绪调节时间的神经生理机制

早期研究发现帕金森病患者会表现出时间知觉障碍, 而该病的致病原因是基底神经节多巴胺能神经元病变, 导致体内多巴胺水平明显下降^[89]. 因此, 患者时间知觉的改变可能是由于机体内部的某些神经生理机制变化所引发的. 受到该现象的启发, 很多研究者都从神经生物学和药理学的角度尝试探讨时间知觉可能的机制.

Meck 等^[90-91]在起搏器-累加器模型基础上, 结合生理学和药理学的研究结果提出了一个解释时间

信息加工的神经生物学模型, 称为纹状体振荡频率模型(striatal beat frequency model, SBF). 该模型认为, 时间知觉受到纹状体、皮质和丘脑之间神经环路的影响, 在此环路中, 对皮质中神经元振荡的同步检测是时间信息表征的神经基础. 纹状体上的中型棘神经元(medium spiny neurons, MSNs)可以对皮质振荡模式的同步性活动进行探测. 时距加工开始时, 中脑腹侧盖膜区释放多巴胺提示计时开始, 使皮质振荡同步化, 同时从中脑黑质致密部释放的多巴胺会重置背侧纹状体上的突触联结强度, 时距加工结束时, 再次释放多巴胺, 改变 MSNs 的突触连接, 形成时距的神经表征. 在此过程中, 多巴胺

在时间感知中发挥了重要作用。多巴胺能神经元有两种放电方式。一种是缓慢的基础性放电(tonic firing), 另一种是爆发性的时相性放电(phasic firing)^[92]。其中, 多巴胺能神经元的时相性放电在时间加工的过程中起到“发令枪”的作用。

根据该模型, 情绪刺激能够改变中脑多巴胺能神经元在呈现刺激后时相性放电的潜伏期, 较早的多巴胺能放电导致时间估计的增加。或者, 情绪事件或线索导致的短暂多巴胺释放增多可能暂时增加了皮层振荡的频率, 导致与情绪反应有关的时间估计的增加^[93-94]。情绪对时间知觉的调节作用, 可能是与情绪相关的脑区经过特定通路的突触传入调节中脑纹状体多巴胺能的时相性放电来实现。例如, 抑制多巴胺的释放会减弱情绪对时间知觉的扭曲效应。Matthews 等^[95]将去甲肾上腺素和多巴胺重摄取抑制剂(NDRI)诺米芬辛局部注射于前部边缘皮层, 发现诺米芬辛减弱了诱发焦虑的负性刺激对时间加工的损害作用, 说明多巴胺等神经递质在情绪调节时间知觉过程中起到不可或缺的作用。最近发表在《科学》(Science)上的一项研究用更直接的证据支持了多巴胺在调节时间知觉方面的重要作用。该研究借助光遗传学技术, 通过特殊蛋白发出荧光的强弱来间接测量多巴胺能神经元的活动强弱, 并在另一项实验中将兴奋性和抑制性的光遗传蛋白表达在多巴胺能神经元中, 使其能够通过外在光刺激实现对神经元的直接的精准调控, 结果表明多巴胺能神经元的活动增强和减弱会分别导致小鼠对间隔时距的低估和高估^[96]。虽然该结果与以往对多巴胺作用的研究结论不太一致, 但有趣的是, 该发现可以从神经生物学的角度解释为何愉快的时光总是过得飞快, 即多巴胺的增加导致人们主观时钟转速减慢, 从而对客观的时距低估^[97]。总体来说, 目前对情绪调节时间知觉的神经生物学机制的认识主要是来自非人类动物实验的数据, 结果尚不能直接用于解释人类的时间知觉, 未来还需要做更多进一步的研究。

4.2 情绪调节时间知觉的脑机制

4.2.1 情绪调节时间知觉的 fMRI 研究

随着脑成像研究的深入, 越来越多的证据倾向于支持时间信息加工是多个脑区神经网络整合的结果。已有研究发现背外侧前额叶、基底神经节、前辅助运动区、前扣带回、双侧岛叶、壳核、右侧额下回和小脑区域是参与时间加工的重要脑区^[98-99]。由于目前对于情绪调节时间知觉脑机制的研究还很

少, 是否存在某些脑区特异性地参与情绪对时间知觉的调节尚不明确。Pfeuty 等^[100]发现相比对中性面孔, 对负性情绪面孔的时距加工时只有右侧额下回显著激活, 并且该脑区激活的强度与行为指标中对负性面孔的时距高估程度相关。这似乎说明右侧额下回与负性情绪导致的时距高估有关, 但对于这种特异性激活的原因有待更进一步的研究。根据标量计时模型, 时钟阶段的唤醒和注意、记忆阶段工作记忆与参照记忆、决策阶段的加工过程都能影响对时间的感知。因此, 情绪刺激可能通过作用于注意、工作记忆、决策等相关脑区从而影响时间知觉。

Meck 和 Macdonald^[101]采用需分配注意的双任务时距估计方法, 将听觉刺激的呈现时距嵌套进视觉刺激的呈现时距之中, 并在听觉刺激呈现结束时分别匹配食物或足部电击(恐惧刺激)。结果发现, 在匹配食物的条件下, 控制组和杏仁核损伤组大鼠都能同时估计两种信号的时距, 而在出现恐惧刺激的情况下, 杏仁核损伤的大鼠依然能够同时估计两种信号的时距, 而控制组大鼠只能估计一种信号的时距。这表明杏仁核对于出现恐惧性刺激时的选择性注意起到关键作用, 同时, 背外侧前额叶受损的大鼠不论匹配正性还是恐惧刺激都不能同时估计时距而只能进行序列计时, 说明前额叶主要负责注意资源的分配。这些结果都说明情绪刺激可能通过影响注意相关的脑区调节时间知觉。

情绪刺激导致的时间知觉扭曲与记忆也存在内在关联。Dirnberger 等^[102]让被试比较先后呈现两张图片的时距, 其中的负性图片的时距被高估, 在随后的再认测验中, 发现被高估时距的图片有更好的记忆成绩。脑成像结果显示, 在对负性刺激进行时间加工时额上回显著激活, 并且发现高估负性刺激的时距时, 杏仁核、脑岛和壳核存在特异性激活, 进一步分析发现脑岛和壳核的激活程度与负性刺激的记忆成绩呈正相关。这说明威胁性情境导致的时距高估可能在一定程度上由边缘系统和相互连接的内侧皮质区域的活动增强所致。

Tipples 等^[103]通过功能磁共振成像技术发现, 在情绪面孔的时间二分任务中(时距从 400~1 600 ms), 相比中性面孔, 愤怒、高兴面孔的时距被高估。在呈现 700 ms 时距时判断反应时最长, 与此同时右侧辅助运动区、右侧额下回和前岛叶出现显著激活。反应时最长说明被试在此时做决定最困难, 进而说明情绪面孔可能通过调节以上区域的神经激活影响时间决策过程。总体来看, 脑区之间结

构和功能联结可能构成了情绪调节时间知觉的脑网络基础。

已有元分析研究发现,对于不同长度的时距,时间任务激活的脑区是有差异的,亚秒级时距任务更容易激活皮质下网络,如基底神经节和小脑,而超秒级时距任务更有可能激活皮层结构,如辅助运动区和前额叶皮质^[99]。对于情绪如何影响不同尺度的时间知觉,有研究者提出生理唤醒在4秒以内起主导作用,而注意则会在较长的时间内起主导效应,两者共同作用导致时间的高估或低估^[7, 104]。但这种观点尚缺乏神经机制方面实验证据的支持,尚需未来进一步的研究。

4.2.2 情绪调节时间知觉的 ERPs 研究

由于时间信息加工的独特性,更高时间分辨率的事件相关电位技术可以为解释情绪调节时间知觉的加工进程提供有效手段。一些 ERPs 研究发现注意在情绪调节时间知觉的效应中起到重要作用。例如, Tamm 等^[49]考察了不同效价的情绪图片调节时距估计过程中的脑电变化。结果发现,正性图片比负性图片诱发了更大波幅的早期后部负波(early posterior negativity, EPN),而 EPN 被认为与自动化的注意捕获有关,表明正性的色情图片比令人反感的负性图片更能激活早期注意机制。该研究结果支持情绪对时间知觉的调节中注意起到了重要的作用,尤其对于较长的时距注意的作用就更加明显。此外,有研究认为关联负波(contingent negative variation, CNV)是与时间知觉过程相关的 ERPs 成分, CNV 的波幅可能反映了时间信息的累加过程,波幅越大时距估计越长^[105]。Gan 等^[106]采用 ERPs 技术考察了面孔的情绪对时间加工的影响,结果发现估计情绪面孔呈现时间的条件下所诱发的 CNV 的波幅比中性面孔条件更小。研究者认为 CNV 波幅反映的是参与时间加工的神经元的激活水平,而激活水平可能与分配给时间加工的注意资源有关。因此,该研究支持情绪导致时间低估是分配给时间加工的注意资源减少所致。此外, Zhang 等^[107]发现精神分裂症病人相对正常被试会低估情绪面孔和中性面孔的呈现时距,而这在 CNV 波幅上也有所体现,表现为比正常组被试总体上更小的 CNV 波幅。

目前该领域的脑电研究多数集中在注意相关成分的探索上,而对于其他可能影响情绪调节时间知觉效应的加工阶段,如与记忆和决策阶段,是否可以找到相应的脑电指标或证据尚不明确。另外,对 CNV 成分和时间知觉的关系也一直存在争议。近

年来,除了被作为时间累加的脑电指标, CNV 也被认为与反应准备和时间知觉中的比较决策过程有关^[108-110]。但在情绪调节时间知觉的研究中尚缺乏足够的证据来揭示 CNV 成分与时间决策的是否存在关联。未来研究需要创新研究手段和范式,找到相应的脑电指标来分离不同因素和阶段在情绪调节时间知觉中的作用。

5 总结与展望

近年来,情绪如何调节时间知觉这一问题引起了生理学、心理学、认知神经科学研究者们的广泛关注。然而,该领域仍有诸多问题尚需澄清。未来的研究需要从以下几个方面进一步探讨。

首先,从情绪调节时间知觉的作用方式上,体验性情绪和预期性情绪可能存在不同的调节时间知觉的机制。体验性情绪对时间知觉的调节,由于情绪体验和计时过程在时间上是同步进行,情绪对于时间知觉的调节可能更多发生在时钟阶段。预期性情绪对时间知觉调节,由于情绪刺激与计时过程存在时间上的分离,因此情绪刺激可能不一定只影响时钟阶段,也可以影响记忆阶段。目前对体验性情绪调节时间知觉的研究较多,但对预期性情绪通过何种过程调节时间知觉还鲜有研究。另外,在已有的研究中,有关两者影响时间知觉的结果也不尽一致^[26, 111]。未来的研究需从行为和认知神经机制的角度探索预期性情绪如何调节时间知觉以及其与体验性情绪的异同。

其次,与情绪相关的注意、唤醒和效价对时间知觉的动态调节作用值得深入研究。Lake、Labar 和 Meck^[7]指出,注意、唤醒和效价对时间知觉的调节并不是单独起作用的。从情绪刺激出现开始,唤醒和注意就在不同的时间进程上相互作用共同影响时间扭曲的程度和方向。对于体验性情绪,一些研究认为生理唤醒在情绪刺激出现的早期起主要作用,之后随着时距的延长,生理唤醒的作用逐渐减弱,注意的作用逐渐增强^[10, 18]。另外,效价和注意之间也存在内在关联,对人类生存有重大意义的刺激会被优先注意^[49]。因此,主观时间的扭曲是注意、唤醒和效价等共同作用的结果。对于预期性情绪,被试的唤醒度也可能受到情绪预期的调节,但其强度的变化和时间进程尚不明确;预期可以自上而下地对注意进行调节,注意的作用在时间上可能比情绪唤醒发生的更早;同时,对正性和负性情绪结果的预期可能会导致不同的注意资源分配和唤醒

度的改变进而影响时间加工。因此, 对于预期性情绪调节时间知觉过程中, 注意、唤醒和效价之间的动态交互关系的研究就显得尤为重要。

再次, 情绪调节时间知觉的神经机制还有待进一步探讨。尽管对于时间知觉神经生理机制的研究取得了一些成果, 但对于情绪调节时间知觉的特异性机制还不清楚。很多发现都是建立在神经生理学和药理学研究的基础上, 就像有的研究者指出的: 对于情绪调节时间知觉的机制“神经生理学的研究与心理学研究之间存在着—道鸿沟”^[112]。如何填补这道鸿沟, 需要后来者既要谨慎地看待来自动物实验的结果避免盲目套用于人, 又要重视情绪调节时间的神经生理基础, 以免使心理学研究成为游离于神经生物学基础之外的纯认知探讨。未来研究可以借助多种技术手段, 从微观层面探讨情绪变化对皮层振荡频率和纹状体活动的影响, 从宏观层面揭示与情绪相关的脑网络如何调节时间知觉, 并将神经振荡的生物学机制和大脑功能网络的研究成果统合起来。

最后, 以往情绪调节时间知觉的研究更多关注标量计时模型中的时钟阶段如何受到情绪的影响, 而对于情绪在记忆阶段以及决策阶段中的潜在作用涉及较少。如何更有效地分离时钟、记忆和决策各个阶段将有助于深化对该问题的认识。对于记忆阶段, 目前的研究主要通过延迟匹配程序^[113], 考察经过不同时距延迟之后的比较刺激与记忆中的标准刺激相比呈现出的主观时距扭曲特点, 以此说明工作记忆中储存的时间信息完整程度对时间估计的影响。未来的研究应进一步关注情绪刺激如何影响记忆阶段, 揭示工作记忆和参照记忆在情绪调节时间知觉过程中的具体作用机制。可以考虑对一些记忆功能受损的病人(如遗忘症、阿尔茨海默病患者等)进行研究, 其时间知觉受情绪刺激调节的特征将有助于我们对该问题更深入的理解。另外, 时间知觉的决策阶段是否也受到情绪的直接影响以及是如何影响的, 也是未来研究需要继续探讨的问题。

参 考 文 献

- [1] 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
- [2] Allman M J, Teki S, Griffiths T D, *et al*. Properties of the internal clock: first-and second-order principles of subjective time. *Annual Review of Psychology*, 2014, **65**: 743–771
- [3] Wittmann M. The inner sense of time: how the brain creates a representation of duration. *Nature Reviews Neuroscience*, 2013, **14**(3): 217–223
- [4] Lake J I. Recent advances in understanding emotion-driven temporal distortions. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2016, **8**: 214–219
- [5] Miceli M, Castelfranchi C. *Expectancy and emotion*. Oxford: Oxford University Press, 2014: 184–199
- [6] Droit-Volet S, Mermillod M, Cocenas-Silva R, *et al*. The effect of expectancy of a threatening event on time perception in human adults. *Emotion*, 2010, **10**(6): 908–914
- [7] Lake J I, Labar K S, Meck W H. Emotional modulation of interval timing and time perception. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2016, **64**: 403–420
- [8] Droit-Volet S, Meck W H. How emotions colour our perception of time. *Trends Cogn Sci*, 2007, **11**(12): 504–513
- [9] Gil S, Niedenthal P M, Droit-Volet S. Anger and time perception in children. *Emotion*, 2007, **7**(1): 219–225
- [10] Angrilli A, Cherubini P, Pavese A, *et al*. The influence of affective factors on time perception. *Perception & Psychophysics*, 1997, **59**(6): 972–982
- [11] Gil S, Droit-Volet S. Emotional time distortions: The fundamental role of arousal. *Cognition & Emotion*, 2012, **26**(5): 847–862
- [12] Schlösser T, Dunning D, Fetchenhauer D. What a feeling: the role of immediate and anticipated emotions in risky decisions. *Journal of Behavioral Decision Making*, 2013, **26**(1): 13–30
- [13] Mellers B, Schwartz A, Ritov I. Emotion-based choice. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1999, **128**(3): 332–345
- [14] Holmes E A, Mathews A. Mental imagery in emotion and emotional disorders. *Clinical Psychology Review*, 2010, **30** (3): 349–362
- [15] Chiupka C A, Moscovitch D A, Bielak T. *In vivo* activation of anticipatory vs. post-event autobiographical images and memories in social anxiety. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 2012, **31**(8): 783–809
- [16] Tipples J. When time stands still: fear-specific modulation of temporal bias due to threat. *Emotion*, 2011, **11**(1): 74–80
- [17] Droit-Volet S, Brunot S, Niedenthal P. Perception of the duration of emotional events. *Cognition and Emotion*, 2004, **18**(6): 849–858
- [18] Noulhiane M, Mella N, Samson S, *et al*. How emotional auditory stimuli modulate time perception. *Emotion*, 2007, **7**(4): 697–704
- [19] Ogden R S, Moore D, Redfern L, *et al*. Stroke me for longer this touch feels too short: the effect of pleasant touch on temporal perception. *Consciousness and Cognition*, 2015, **36**: 306–313
- [20] Langer J, Wapner S, Werner H. The effect of danger upon the experience of time. *The American Journal of Psychology*, 1961, **74**(1): 94–97
- [21] Droit-Volet S, Fayolle S L, Gil S. Emotion and time perception: effects of film-induced mood. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2011, **5**: 33
- [22] Eberhardt L V, Huckauf A, Kliegl K M. Effects of neutral and fearful mood on duration estimation of neutral and fearful face stimuli. *Timing & Time Perception*, 2016, **4**(1): 30–47

- [23] Yoshie M, Haggard P. Negative emotional outcomes attenuate sense of agency over voluntary actions. *Curr Biol*, 2013, **23**(20): 2028–2032
- [24] Hare R D. The estimation of short temporal intervals terminated by shock. *Journal of Clinical Psychology*, 1963, **19**(3): 378–380
- [25] Schiff W, Thayer S. Cognitive and affective factors in temporal behavior anticipated or experienced pleasant and unpleasant sensory events. *Perceptual and Motor Skills*, 1968, **26**(3): 799–808
- [26] Lake J I, Meck W H, Labar K S. Discriminative fear learners are resilient to temporal distortions during threat anticipation. *Timing & Time Perception*, 2016, **4**(1): 63–78
- [27] 李爱梅, 赵丹, 熊冠星, 等. 等待是一种折磨? 等待时间知觉及其导致的非理性决策行为. *心理科学进展*, 2014, **22**(11): 1679–1690
Li A M, Zhao D, Xiong G X, *et al.* *Advances in Psychological Science*, 2014, **22**(11): 1679–1690
- [28] Lang P J, Bradley M M, Cuthbert B N. International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings. NIMH Center for the Study of Emotion and Attention, 1997: 39–58
- [29] Bradley M M, Codispoti M, Cuthbert B N, *et al.* Emotion and motivation I : defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 2001, **1**(3): 276–298
- [30] Ledoux J. Rethinking the emotional brain. *Neuron*, 2012, **73**(4): 653–676
- [31] Treisman M. Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the " internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied*, 1963, **77**(13): 1–31
- [32] Macdonald C J, Meck W H. Differential effects of clozapine and haloperidol on interval timing in the supraseconds range. *Psychopharmacology*, 2005, **182**(2): 232–244
- [33] Wearden J H, Penton-Voak I S. Feeling the heat: body temperature and the rate of subjective time, revisited. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1995, **48**(2): 129–141
- [34] Campbell L A, Bryant R A. How time flies: a study of novice skydivers. *Behaviour Research and Therapy*, 2007, **45**(6): 1389–1392
- [35] Fayolle S, Gil S, Droit-Volet S. Fear and time: fear speeds up the internal clock. *Behav Processes*, 2015, **120**: 135–140
- [36] Mella N, Conty L, Pouthas V. The role of physiological arousal in time perception: psychophysiological evidence from an emotion regulation paradigm. *Brain and Cognition*, 2011, **75**(2): 182–187
- [37] Li W O, Yuen K S L. The perception of time while perceiving dynamic emotional faces. *Frontiers in Psychology*, 2015, **6**: 1248
- [38] Van Vokinburg H, Balsam P. Effects of emotional valence and arousal on time perception. *Timing & Time Perception*, 2014, **2**(3): 360–378
- [39] Schwarz M A, Winkler I, Sedlmeier P. The heart beat does not make us tick: the impacts of heart rate and arousal on time perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 2013, **75**(1): 182–193
- [40] Droit-Volet S, Fayolle S, Lamotte M, *et al.* Time, emotion and the embodiment of timing. *Timing & Time Perception*, 2013, **1**(1): 99–126
- [41] Yamada Y, Kawabe T. Emotion colors time perception unconsciously. *Consciousness and Cognition*, 2011, **20**(4): 1835–1841
- [42] Smith S D, Mciver T A, Di Nella M S J, *et al.* The effects of valence and arousal on the emotional modulation of time perception: evidence for multiple stages of processing. *Emotion*, 2011, **11**(6): 1305–1313
- [43] Nicol J R, Tanner J, Clarke K. Perceived duration of emotional events: evidence for a positivity effect in older adults. *Experimental Aging Research*, 2013, **39**(5): 565–578
- [44] Tipples J. Negative emotionality influences the effects of emotion on time perception. *Emotion*, 2008, **8**(1): 127–131
- [45] Block R A, George E J, Reed M A. A watched pot sometimes boils: a study of duration experience. *Acta Psychologica*, 1980, **46**(2): 81–94
- [46] Matthews W J, Meck W H. Temporal cognition: connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin*, 2016, **142**(8): 865–907
- [47] Coull J T, Vidal F, Nazarian B, *et al.* Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation. *Science*, 2004, **303**(5663): 1506–1508
- [48] Yiend J. The effects of emotion on attention: A review of attentional processing of emotional information. *Cognition and Emotion*, 2010, **24**(1): 3–47
- [49] Tamm M, Uusberg A, Allik J, *et al.* Emotional modulation of attention affects time perception: evidence from event-related potentials. *Acta Psychologica*, 2014, **149**: 148–156
- [50] Lui M A, Penney T B, Schirmer A. Emotion effects on timing: attention versus pacemaker accounts. *Plos One*, 2011, **6**(7): e21829
- [51] Gil S, Rousset S, Droit-Volet S. How liked and disliked foods affect time perception. *Emotion*, 2009, **9**(4): 457–463
- [52] Droit-Volet S. What emotions tell us about time. Subjective time: The philosophy, psychology, and neuroscience of temporality. Cambridge: MIT Press, 2014: 477–506
- [53] Stevens J S, Hamann S. Sex differences in brain activation to emotional stimuli: a meta-analysis of neuroimaging studies. *Neuropsychologia*, 2012, **50**(7): 1578–1593
- [54] Collignon O, Girard S, Gosselin F, *et al.* Women process multisensory emotion expressions more efficiently than men. *Neuropsychologia*, 2010, **48**(1): 220–225
- [55] Droit-Volet S, Gil S. The emotional body and time perception. *Cognition and Emotion*, 2016, **30**(4): 687–699
- [56] Grondin S, Laflamme V, Bienvenue P, *et al.* Sex effect in the temporal perception of faces expressing anger and shame. *International Journal of Comparative Psychology*, 2015, **28**(1), 1–11
- [57] Schirmer A, Ng T, Escoffier N, *et al.* Emotional voices distort time: behavioral and neural correlates. *Timing & Time Perception*, 2016, **4**(1): 79–98
- [58] Zhang M, Zhang L, Yu Y, *et al.* Women overestimate temporal duration: evidence from Chinese emotional words. *Frontiers in*

- Psychology, 2017, **8**: 4
- [59] Hallett Q, Droit-Volet S. High levels of time contraction in young children in dual tasks are related to their limited attention capacities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2017, **161**: 148-160
- [60] Droit-Volet S, Fayolle S, Gil S. Emotion and time perception in children and adults: the effect of task difficulty. *Timing & Time Perception*, 2016, **4**(1): 7-29
- [61] Droit-Volet S. Time perception in children: A neurodevelopmental approach. *Neuropsychologia*, 2013, **51**(2): 220-234
- [62] Zélandi P S, Droit-Volet S. Cognitive abilities explaining age-related changes in time perception of short and long durations. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2011, **109**(2): 143-157
- [63] Reed A E, Chan L, Mikels J A. Meta-analysis of the age-related positivity effect: age differences in preferences for positive over negative information. *Psychology and Aging*, **29**(1): 1-15
- [64] 曹亢, 宣宾, 王玲玲. 情绪影响时间知觉的性别差异. *中国校医*, 2010, (4): 249-250
- Cao K, Xuan B, Wang L L. *Chinese Journal of School Doctor*, 2010, (4): 249-250
- [65] 吴蔚, 孔克勤. 认知科学对人格与情绪关系的研究. *心理科学*, 2002, **25**(4): 450-452
- Wu W, Kong K Q. *Psychological Science*, 2002, **25**(4): 450-452
- [66] Buetti S, Lleras A. Perceiving control over aversive and fearful events can alter how we experience those events: an investigation of time perception in spider-fearful individuals. *Frontiers in Psychology*, 2012, **3**: 337
- [67] Bar-Haim Y, Kerem A, Lamy D, *et al.* When time slows down: The influence of threat on time perception in anxiety. *Cognition and Emotion*, 2010, **24**(2): 255-263
- [68] Tipples J. Rapid temporal accumulation in spider fear: evidence from hierarchical drift diffusion modelling. *Emotion*, 2015, **15**(6): 742-751
- [69] Yoo J-Y, Lee J-H. The effects of valence and arousal on time perception in individuals with social anxiety. *Frontiers in Psychology*, 2015, **6**: 1208
- [70] Mioni G, Stablum F, Prunetti E, *et al.* Time perception in anxious and depressed patients: a comparison between time reproduction and time production tasks. *Journal of Affective Disorders*, 2016, **196**: 154-163
- [71] Ryu V, Kook S, Lee S J, *et al.* Effects of emotional stimuli on time perception in manic and euthymic patients with bipolar disorder. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 2015, **56**: 39-45
- [72] Gallagher S. Time, emotion, and depression. *Emotion Review*, 2012, **4**(2): 127-132
- [73] Blewett A. Abnormal subjective time experience in depression. *The British Journal of Psychiatry*, 1992, **161**(2): 195-200
- [74] Droit-Volet S. Time perception, emotions and mood disorders. *Journal of Physiology-Paris*, 2013, **107**(4): 255-264
- [75] Msetfi R M, Murphy R A, Kornbrot D E. The effect of mild depression on time discrimination. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2012, **65**(4): 632-645
- [76] Rogers M A, Kasai K, Koji M, *et al.* Executive and prefrontal dysfunction in unipolar depression: a review of neuropsychological and imaging evidence. *Neuroscience Research*, 2004, **50**(1): 1-11
- [77] Gibbon J, Church R M, Meck W H. Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1984, **423** (1): 52-77
- [78] Church R M. A tribute to John Gibbon. *Behavioural Processes*, 2002, **57**(2): 261-274
- [79] Pomares F B, Creac'h C, Faillenot I, *et al.* How a clock can change your pain? The illusion of duration and pain perception. *PAIN®*, 2011, **152**(1): 230-234
- [80] Ryan G, Del Mar Pàmies M, Valverde M. WWW= wait, wait, wait: emotional reactions to waiting on the internet. *Journal of Electronic Commerce Research*, 2015, **16**(4): 261-275
- [81] Schweickert R, Fortin C, Sung K. Concurrent visual search and time reproduction with cross-talk. *Journal of Mathematical Psychology*, 2007, **51**(2): 99-121
- [82] Fortin C, Rousseau R, Bourque P, *et al.* Time estimation and concurrent nontemporal processing: specific interference from short-term-memory demands. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 1993, **53**(5): 536-548
- [83] Lindström B R, Bohlin G. Emotion processing facilitates working memory performance. *Cognition & Emotion*, 2011, **25**(7): 1196-1204
- [84] Kensinger E A, Corkin S. Effect of negative emotional content on working memory and long-term memory. *Emotion*, 2003, **3** (4): 378-393
- [85] Bausenhardt K M, Dyjas O, Ulrich R. Temporal reproductions are influenced by an internal reference: explaining the Vierordt effect. *Acta Psychologica*, 2014, **147**: 60-67
- [86] Ogden R S, Wearden J, Jones L A. The remembrance of times past: interference in temporal reference memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2008, **34**(6): 1524-1544
- [87] Mioni G, Grondin S, Meligrana L, *et al.* Effects of happy and sad facial expressions on the perception of time in Parkinson's disease patients with mild cognitive impairment. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 2017, 1-16
- [88] Mioni G, Meligrana L, Grondin S, *et al.* Effects of emotional facial expression on time perception in patients with Parkinson's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 2016, **22**(9): 890-899
- [89] Pastor M, Artieda J, Jahanshahi M, *et al.* Time estimation and reproduction is abnormal in Parkinson's disease. *Brain*, 1992, **115**(1): 211-225
- [90] Meck W H, Penney T B, Pouthas V. Cortico-striatal representation of time in animals and humans. *Current Opinion in Neurobiology*, 2008, **18**(2): 145-152
- [91] H.Meck W, Charamalapani. Neuroimaging of interval timing. *Cognitive Brain Research*, 2004, **21**(2): 133-137
- [92] Grace A A, Floresco S B, Goto Y, *et al.* Regulation of firing of

- dopaminergic neurons and control of goal-directed behaviors. *Trends in Neurosciences*, 2007, **30**(5): 220–227
- [93] Darvas M, Fadok J P, Palmiter R D. Requirement of dopamine signaling in the amygdala and striatum for learning and maintenance of a conditioned avoidance response. *Learning & Memory*, 2011, **18**(3): 136–143
- [94] Cheng R-K, Tipples J, Narayanan N S, *et al.* Clock speed as a window into dopaminergic control of emotion and time perception. *Timing & Time Perception*, 2016, **4**(1): 99–122
- [95] Matthews A R, He O H, Buhusi M, *et al.* Dissociation of the role of the prelimbic cortex in interval timing and resource allocation: beneficial effect of norepinephrine and dopamine reuptake inhibitor nomifensine on anxiety-inducing distraction. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2012, **6**: 111
- [96] Soares S, Atallah B V, Paton J J. Midbrain dopamine neurons control judgment of time. *Science*, 2016, **354**(6317): 1273–1277
- [97] Simen P, Matell M. Why does time seem to fly when we're having fun? *Science*, 2016, **354**(6317): 1231–1232
- [98] Coull J T, Cheng R-K, Meck W H. Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, 2011, **36**(1): 3–25
- [99] Wiener M, Turkeltaub P, Coslett H B. The image of time: a voxel-wise meta-analysis. *Neuroimage*, 2010, **49**(2): 1728–1740
- [100] Pfeuty M, Dilharreguy B, Gerlier L, *et al.* fMRI identifies the right inferior frontal cortex as the brain region where time interval processing is altered by negative emotional arousal. *Hum Brain Mapp*, 2015, **36**(3): 981–995
- [101] Meck W H, Macdonald C J. Amygdala inactivation reverses fear's ability to impair divided attention and make time stand still. *Behavioral Neuroscience*, 2007, **121**(4): 707–720
- [102] Dimberger G, Hesselmann G, Roiser J P, *et al.* Give it time: neural evidence for distorted time perception and enhanced memory encoding in emotional situations. *Neuro Image*, 2012, **63** (1): 591–599
- [103] Tipples J, Brattan V, Johnston P. Facial emotion modulates the neural mechanisms responsible for short interval time perception. *Brain Topography*, 2015, **28**(1): 104–112
- [104] 马谐, 陶云, 胡文钦. 时距知觉中的情绪效应. *心理科学进展*, 2009, **17**(1): 29–36
- Ma X, Tao Y, Hu W Q. *Advances in Psychological Science*, 2009, **17**(1): 29–36
- [105] 张志杰, 尹华站, 黄希庭. 时间知觉和关联负变化. *心理科学进展*, 2007, **15**(2): 308–312
- Zhang Z J, Yin H Z, Huang X T. *Advances in Psychological Science*, 2007, **15**(2): 308–312
- [106] Gan T, Wang N, Zhang Z, *et al.* Emotional influences on time perception: evidence from event-related potentials. *Neuroreport*, 2009, **20**(9): 839–843
- [107] Zhang D, Zhao Y, Liu Y, *et al.* Perception of the duration of emotional faces in schizophrenic patients. *Sci Rep*, 2016, **6**: 22280
- [108] Van Rijn H, Kononowicz T W, Meck W H, *et al.* Contingent negative variation and its relation to time estimation: a theoretical evaluation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2011, **5**: 91
- [109] Paul I, Wearden J, Bannier D, *et al.* Making decisions about time: event-related potentials and judgements about the equality of durations. *Biological Psychology*, 2011, **88**(1): 94–103
- [110] Ng K K, Tobin S, Penney T B. Temporal accumulation and decision processes in the duration bisection task revealed by contingent negative variation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 2011, **5**: 77
- [111] Ogden R S, Moore D, Redfern L, *et al.* The effect of pain and the anticipation of pain on temporal perception: a role for attention and arousal. *Cogn Emot*, 2015, **29**(5): 910–922
- [112] 王宁, 王锦琰, 罗非. 情绪对时间知觉的影响及其神经生理学机制. *生理学报*, 2016, **68**(4): 464–474
- Wang N, Wang J Y, Luo F. *Acta Physiologica Sinica*, 2016, **68**(4): 464–474
- [113] Wearden J, Parry A, Stamp L. Is subjective shortening in human memory unique to time representations? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section B*, 2002, **55**(1): 1–25

The Mode of Action and Cognitive Neural Mechanisms in Emotional Modulation of Interval Timing*

CUI Qian^{1,3)}, ZHAO Ke^{2,3)}, FU Xiao-Lan^{1,3)**}

⁽¹⁾ State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

⁽²⁾ Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

⁽³⁾ Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Humans' perception of time has been observed to be distorted by emotions. Subjective distortion of time is typically modulated through experienced emotions and anticipated emotions. In this review, we distinguished the effects of experienced emotions and anticipated emotions on timing from the perspective of the ways that emotions take effect and cognitive mechanisms. According to the scalar expectancy theory, we proposed a new cognitive model to explain how emotions modulate the time perception in different time processing stages. Finally, we summarized the evidence of neurophysiology basis and brain mechanisms about emotional modulation of interval timing. Future researches are advised to further investigate and extend our understanding on the roles of anticipated emotions in driving emotion-induced temporal distortions, to find out the interactions of attention, arousal and valence, and to explore the neuropsychological mechanisms of emotional temporal distortions.

Key words emotion, time perception, mode of action, scalar expectancy model, neural mechanism

DOI: 10.16476/j.pibb.2017.0446

* This work was supported by grants from The National Natural Science Foundation of China (61375009, 31400876), The National Science Foundation of China and the German Research Foundation(NSFC 61621136008/DFG TRR-169).

**Corresponding author.

Tel: 86-10-64873518, E-mail: fuxl@psych.ac.cn

Received: December 6, 2017 Accepted: January 17, 2018