

情绪生理机制研究的外周与中枢神经系统整合模型*

刘 飞 蔡厚德

(南京师范大学教科院脑与行为实验室, 南京 210097)

摘 要 阐明人类情绪的生理机制是心理学家和神经科学家所面临的巨大挑战。以往研究倾向于分别考察情绪的外周反应模式和脑机制。近年来, 随着情绪电生理学和认知神经科学的发展, 许多研究者从外周与中枢神经系统相互作用的角度, 提出了一些解释情绪生理机制的整合模型。其中, 以情绪环路模型和神经内脏整合模型为典型代表。前者强调由外周到中枢的自下而上的加工方式, 试图说明情绪经验形成的机制; 后者则采取由中枢到外周的自上而下的加工方式, 试图阐明情绪调控的机制。今后的研究有必要借鉴这两个模型, 并结合近期有关情绪信息加工神经机制的新成果, 以便构建能够更为全面解释人类情绪的生理模型。

关键词 人类情绪; 生理机制; 情绪环路模型; 神经内脏整合模型

分类号 B845

1 引言

美国心理学的奠基人 James (1894) 开创了情绪生理机制研究的先河。他认为, 人们的情绪体验来源于机体的外周生理反应, 提示不同性质的情绪经验可能会伴随特异性的外周生理活动 (Davidson, Jackson, & Kalin, 2000)。采用心率、指温和血压等生理指标的研究显示, 人类的一些基本情绪(快乐、悲伤、愤怒、恐惧和厌恶等)伴随着特定的外周生理改变(Ekman et al., 1983; Sinha et al., 1992)。近期采用心率变异性(heart rate variability, HRV)等指标的研究也表明, 不同的基本情绪存在特异的自主神经活动模式(李建平, 张平, 代景华, 2006; Rainville, Bechara, Naqvi, & Damasio, 2006)。这些证据似乎在一定程度上支持了 James 的观点。

然而, 美国生理学家 Cannon (1931) 则认为, 真正决定情绪性质的是中枢脑区。近期的神经功能成像研究显示, 在体验不同情绪期间皮层与皮层下脑区往往伴有特异性的激活或失活, 提示不同性质的情绪感受可能具有特定的中枢回路 (Britton et al., 2006; Damasio, Grabowski, & Bechara, 2000; George et al., 1995; Paradiso et al., 1997)。研究者(Damasio et al., 2000)推测, 不同脑

区活动的特异性改变表明它们在情绪加工中可能具有不同的作用, 所有这些神经结构的模式可能构成了一个有关机体内部状态的多维度活动图, 这可能是人们情绪意识状态产生的生理基础。

需要指出的是, 尽管人类的一些基本情绪伴随着特异性的外周自主改变, 但并不意味着这些源自外周的自主反应就一定是情绪体验的唯一或主要来源, 它们之间的因果关联还亟待探明; 虽然成像研究显示一些脑区参与了情绪活动, 但它们在决定情绪经验方面的功能意义还需阐明。近年来, 随着情绪电生理学和认知神经科学的发展, 许多研究者开始尝试从整合的角度把情绪的外周反应与脑活动机制有机结合起来, 提出了一些系统化、层次化的情绪生理整合模型。其中, 情绪环路模型(emotion circuit model) (Bechara, 2004; Bechara & Damasio, 2005; Damasio, 1994, 1998; Rudrauf et al., 2009)和神经内脏整合模型(neurovisceral integration model) (Hagemann, Waldstein, & Thayer, 2003; Lane, Reiman, & Thayer, 2000; Thayer & Lane, 2000, 2007, 2009; Thayer & Ruiz-Padial, 2002, 2006)就是典型代表。前者强调由外周至中枢的自下而上的加工方式, 试图解释情绪经验形成的机制; 后者则采取由中枢至外周的自上而下的加工方式, 以说明情绪调节的神经过程。这两个整合模型从外周与中枢神

收稿日期: 2009-06-17

* 江苏省基础心理学重点学科资助项目。

通讯作者: 蔡厚德, E-mail: caihoude@163.com

经系统功能整合的角度,为系统考察情绪生理机制提供了基本框架。今后的研究有必要借鉴这两个模型,并结合近期有关情绪信息加工神经机制的新成果,以构建一个可以更为全面解释情绪机制的生理模型。

2 情绪环路模型

一般认为,情绪刺激引起的主观感受是人们情绪反应的主要成分,情绪与情绪感受是一种包含与被包含的关系(Alexandrov & Sams, 2005)。然而, Damasio (1994, 1998)假设,人们的情绪感受主要由情绪与感知结合而成,这两种心理成分分别由不同的神经回路负责。因此,情绪是情绪感受的独立成分,是由特定对象或情景触发的躯体反应和中枢活动变化的集合。这种变化可以分为内脏活动、腺体反应和骨骼肌运动。前两者一般无法被直接觉知,主要由下丘脑与脑干的一些核团调节和控制;后者可以进入意识范畴,主要由纹状体和中脑导水管周围灰质(PAG)负责。

据此, Damasio (1998), Bechara (2004), Bechara 等人(2005)和 Rudrauf 等人(2009)提出了

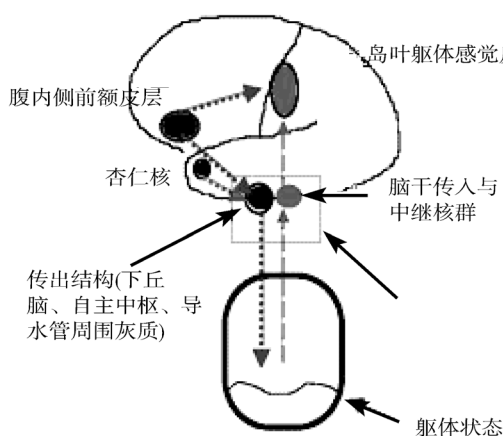


图 1 身体环路(Bechara, et al., 2005)

上述观点得到了相关研究证据的支持。例如, Bechara (2004)发现, 内脏、腺体和骨骼肌等躯体状态的变化可以通过脊髓、迷走神经和神经内分泌等通路反馈到中枢, 从而影响个体的主观感受和决策行为, 其中迷走神经是主要通路。一项采用脑磁图(MEG)的研究也发现, 情绪图片刺激出现后的 500ms 内就可以诱发心率改变, 几乎同时也会引起躯体感觉皮层的激活, 提示情绪活动中

情绪环路模型,认为情绪感受主要基于内脏、腺体和骨骼肌等的身体反应在脑干、岛叶和躯体感觉皮层等脑区的映射和表征,它们最终在腹内侧前额皮层、扣带回皮层、杏仁核和下丘脑等脑区的参与下,形成情绪感受的主要方面。根据是否包括躯体状态,可以将这种加工情绪的神经环路分为身体环路(body loop)(见图 1)和似身体环路(as if body loop)(见图 2)(Bechara et al., 2005)。在身体环路中,腹内侧前额皮层和杏仁核能够将刺激物的情绪信息通过脑干的传出结构传至躯体,引起内脏、腺体和骨骼肌等躯体状态的变化。接着,这些躯体信号可以映射到岛叶、躯体感觉皮层等脑区,由此产生了人们的情绪感受。但是,似身体环路主要依靠个体过去的经验或情景想象等心理表征,由此触发中枢脑区的躯体状态表征的激活,即在躯体状态实际上并未发生变化的情况下产生了相应的情绪感受。与身体环路相比,这种神经机制并不涉及实际的躯体状态,岛叶和躯体感觉皮层接收的信息直接来自腹内侧前额皮层和杏仁核等脑区。

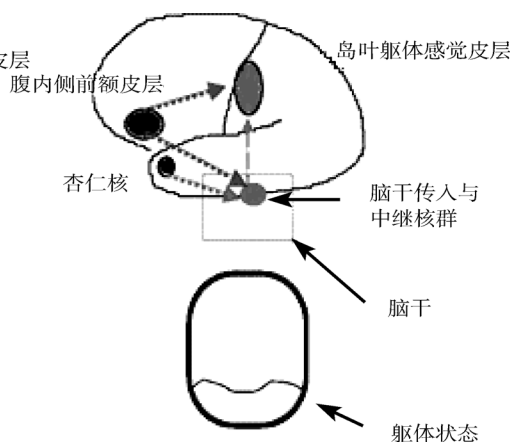


图 2 似身体环路(Bechara, et al., 2005)

来自躯体的传入信息可以在很短时间内传至感觉皮层,参与对情绪感受的加工(Rudrauf et al, 2009)。另外,Vianna, Naqvi, Bechara 和 Tranel (2009)让被试进行不同基本情绪(快乐、恐惧、厌恶、悲伤和愤怒)的自传体回忆任务,同时记录皮电反应和胃动血流图(electrogastrogram),以检查交感神经系统和胃肠系统的活动状态。结果表明,交感系统和胃肠系统的活动水平与被试对情绪

唤醒度的评价呈正相关,提示不同性质的情绪感受可能伴随相应的身体状态变化。有趣的是,交感神经的活动水平与被试对情绪事件回忆的生动性水平不相关,胃肠系统的活动水平则与之呈负相关,即胃肠活动水平较高时,自传体回忆的生动性水平较低;胃肠活动水平较低时,自传体回忆的生动性水平较高。研究者指出,生动性水平反映了中枢神经系统在情绪感受产生时的激活水平。据此,他们推测,交感神经系统与胃肠系统所代表的躯体信号在中枢神经系统高度参与情绪活动时可能对情绪感受的产生不太起作用;而在中枢神经系统激活水平较低时,躯体信号可能对情绪感受的作用较大。这提示,人们在经验或再经验情绪感受时,“身体环路”与“似身体环路”可能存在着分离。

3 神经内脏整合模型

与情绪环路模型不同,神经内脏整合模型强调情绪反应的适应性功能,认为情绪是个体应对复杂环境事件所做的反应,可以为目标定向行为准备充分的能源,以适应不断变化的外部环境需求(Hagemann, et al., 2003; Thayer et al., 2007)。据此, Thayer 等人(2000, 2009)假设,人类复杂情绪反应的神经基础主要依赖中枢自主网络(central autonomic network, CAN),因为它可以调控适应性的内脏活动、神经内分泌和行为反应。CAN 主要包括眶额皮层、腹内侧前额皮层、扣带回皮层、岛叶、杏仁核中央核、下丘脑、导水管周围灰质、臂旁核、孤束核(NTS)、疑核、延髓腹外侧区、延髓腹内侧区和延髓被盖区(medullary tegmental field)等脑区(见图 3),它们相互间连接成一个动

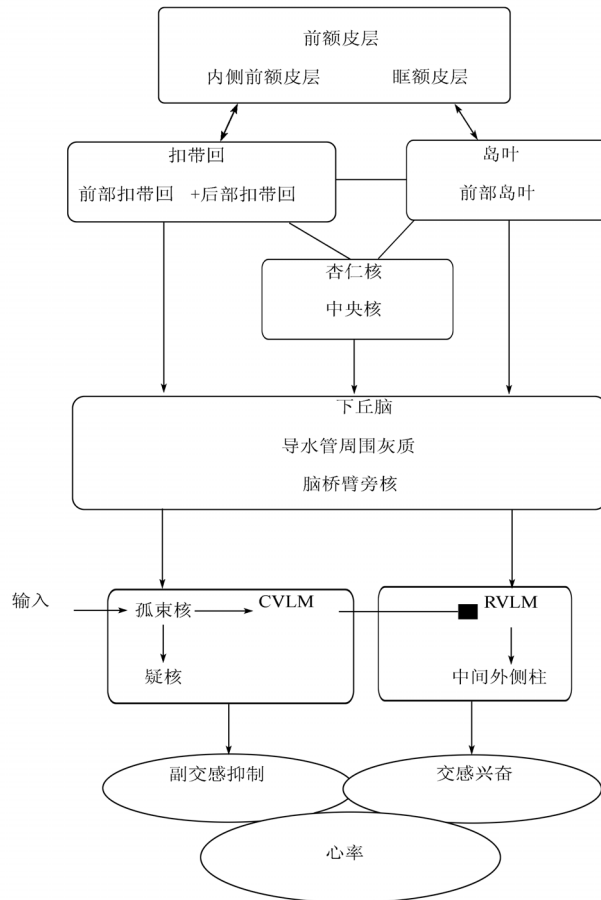


图3 前额皮层控制心率的综合示意图(Thayer et al., 2009)

注: CVLM 指延髓尾端腹外侧区(caudal ventrolateral medullary); RVLM 指延髓头端腹外侧区(rostral ventrolateral medullary)。

态活动的系统,通过整合情绪刺激的中枢活动和自主反应,以保证机体能够适应快速变化的环境(Hagemann et al., 2003)。可以看出,尽管CAN与前述的情绪环路在脑区结构上存在重叠,都涉及与情绪活动有关的皮层与皮层下结构,但情绪环路只包含了一个“中枢—外周—中枢”的环状回路,重视外周躯体状态在决定情绪感受中的作用,而CAN则强调情绪活动中皮层与皮层下中枢所组成的多层次神经网络对外周自主神经功能(心率)的调控机制,更为关注情绪的环境适应性功能。

神经内脏整合模型认为,个体在安静状态下前额皮层对皮层下脑区和自主反应施加抑制性影响。当个体面临威胁性情绪刺激时,前额叶的活动水平降低,使得皮层下交感兴奋环路(sympathoexcitatory circuits)所受的抑制逐渐解除,引起交感活动增强和副交感(迷走)活动减弱,从而出现有利于个体战斗-逃跑(fight-flight)行为的腺体和内脏反应。一般情况下,机体的能源供应在自主神经系统的调节下会保持正常的动态平衡。然而,当能源需求持续超出了个体可以承受的范围时,就会产生交感过度增强而副交感过度减弱的自主失衡现象,引发个体的焦虑和抑郁等复合情绪。

支持上述假设的证据主要来自神经生化和功能成像研究。前者发现,抑制效应主要通过约束核的 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)神经元实现(Thayer et al., 2006)。GABA是抑制性神经递质,如果将其通路阻断,会导致高血压和窦性心动过速等自主失衡反应。人类的功能成像研究表明,心率变异性的高频(HF)指标的水平降低程度与眶额皮层、腹内侧前额皮层和前扣带回皮层等脑区的活动减弱程度呈正相关,提示副交感(迷走)神经张力的波动变化受中枢脑区,特别是前额皮层的抑制性调控(Gianaros, Van Der Veen, & Jennings, 2004; Lane, McRae, Reiman, Ahern, & Thayer, 2007; Lane, Weidenbacher, Fort, Thayer, & Allen, 2008; Nugent, Bain, Thayer, & Drevets, 2007; Nugent, Bain, Sollers, Thayer, & Drevets, 2008)。

4 评价与展望

自James有关情绪生理理论问世以来,人类情绪生理机制的研究经历了100多年的历史。其间,有关情绪活动的外周反应与中枢机制一直

是关注的焦点。近期,研究者们开始强调情绪活动中外周与中枢神经系统的相互关系问题。

Damasio等人基于情绪与情绪感受相互独立假设提出的情绪环路模型认为,在大脑皮层、皮层下结构与躯体反应状态之间存在一个称为“身体环路”的功能回路,负责加工各种情绪信息和调控身体反应。其中,腹内侧前额皮层和杏仁核加工与处理来自环境中的情绪性刺激,并进一步控制下丘脑和脑干等结构产生外周自主反应和躯体行为。重要的是,这些反映躯体状态的信号可以通过传入神经投射至岛叶和躯体感觉皮层,在那里产生相关的情绪感受。但是,这种反映躯体状态的“身体环路”也可能以“似身体环路”的形式,即在实际上不出现躯体信号改变时由经验回忆或想象来激活中枢脑区的躯体状态表征。Thayer等人基于CAN提出的神经内脏整合模型主要关注情绪的功能意义和适应价值。这一模型以HRV作为评价情绪外周自主反应的指标,强调前额皮层可以通过对皮层下结构实施抑制,来减弱交感兴奋和增强迷走功能,以保证个体在情境需要做出情绪反应时能灵活有效地组织外周反应。如果前额叶的抑制调控能力减弱,不仅会引起心率增加,还会导致HRV的下降,提示皮层下脑区存在交感神经功能持续激活,而迷走神经功能低下。最终,由于交感神经过度激活,不仅会耗竭机体的可用资源,还会导致焦虑和抑郁等病理性情绪的产生。可见,情绪环路模型主要重视外周躯体状态在决定情绪经验中的作用,采取了由外周至中枢的自下而上的加工方式;而神经内脏整合模型则强调前额皮层对皮层下自主功能的抑制性调控在维持情绪正常适应功能中的作用,采取了由中枢至外周的自上而下的加工方式。这两个模型从外周与中枢神经系统的功能整合角度,阐释了情绪经验与情绪调节的生理机制。

今后的研究有必要在借鉴这两个理论模型的基础上,结合感觉与情绪信息传入的“双通路”加工机制,并引入认知及动机与情绪评价等因素的影响,从它们的动态相互作用中揭示情绪经验形成与情绪调控的机制。例如,恐惧性刺激信息是通过两条相互分离的通路到达杏仁核的(Phelps & LeDoux, 2005)(见图4)。其中,“低”路(“low” road)可以来自丘脑的感觉信号直接送

至杏仁核。杏仁核在初略评价了刺激的情绪意义后,便可率先激活并启动自主、行为和内分泌反应。情绪环路模型认为,正是这些外周信号向岛叶和躯体感觉皮层的投射形成了情绪感受的基础。与“低”路不同,“高”路(“high” road)则可以将来自丘脑的感觉信号投射到感觉和联络皮层。大脑皮层基于对刺激的认知加工(外侧前额皮层)和动机与情绪意义评价(腹内侧前额皮层、眶额皮层和前扣带回皮层),进一步调节杏仁核的情绪反应。神经内脏整合模型正是强调了前额皮层可以

调节杏仁核的活动,以便实施对自主功能的抑制性影响。但是,杏仁核也可以通过激活基底前脑的乙酰胆碱通路,以提高皮层神经元对情绪性刺激的警觉水平(Phelps & LeDoux, 2005)。可见,杏仁核作为情绪信息加工的皮层下关键结构之一,它所启动的情绪性身体反应会受到自下而上加工(感觉)与自上而下加工(认知及动机与情绪评价)的双重调节,人们的情绪经验是在它们的动态相互作用中形成与改变的,情绪调控也是在这一过程中实现的。

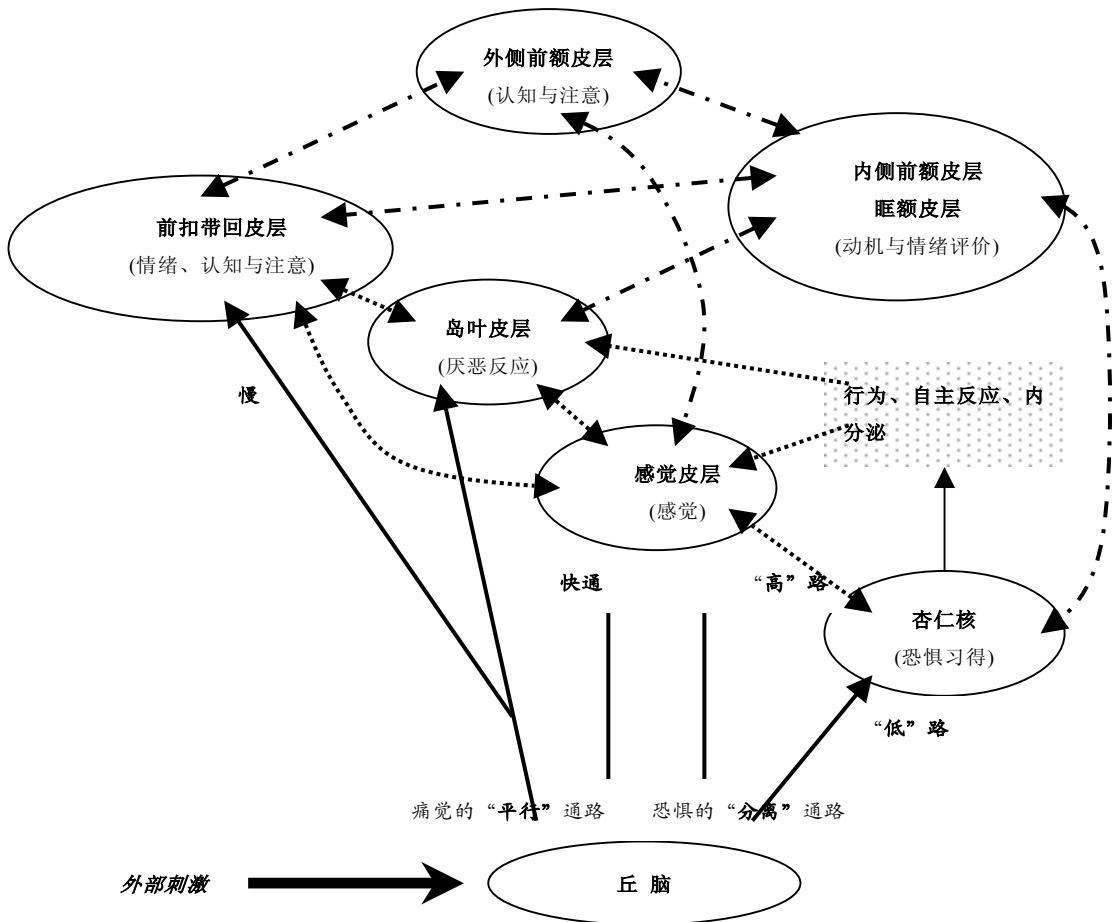
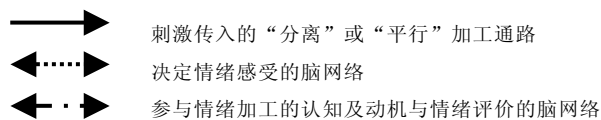


图4 情绪加工的脑功能网络构想图



痛觉信息的加工机制也为说明这种分离机制提供了范例。大量研究证据(罗非, 王锦琰, 2006; 王锦琰, 罗非, 韩济生, 2003; Auvray, Myin, & Spence, 2010; Rainville, Carrier, Hofbauer, Bushnell, & Duncan, 1999; Riley, Wade, Robinson, & Price, 2000)显示, 在脑内存在着两条“平行”上传的通路, 分别传递痛的感觉和情绪信息(见图4)。其中, 一条由脊髓背角深层广动力神经元出发, 经过丘脑外侧核群投射到躯体感觉皮层, 可能传导对伤害性刺激的快速而精确的感觉信息; 另一条由脊髓背角浅层痛觉特异性神经元出发, 经由丘脑中线核群及板内核群投射到前扣带回皮层和岛叶皮层, 可能传递伤害性刺激的缓慢而持久的情绪反应成分。这两条通路的相互作用共同决定了痛觉的主观不愉快感觉。

综上可知, 人类情绪的活动可能是一个涉及多种心理成分和多层次结构系统相互作用的脑功能网络(见图4)。首先, 刺激传入的“分离”或“平行”处理通路可以建立人与外部环境刺激的信息沟通, 在感觉信息通过丘脑投射至感觉皮层的同时, 情绪信息可以由此传送到杏仁核、前扣带回皮层和岛叶皮层等结构。其中, 杏仁核可以启动快速的唤醒与行为反应, 而前扣带回皮层和岛叶皮层的痛苦与厌恶反应可能更加缓慢持久。随后, 外部刺激和反映情绪性身体状态的内部信号作用于由感觉皮层和这三个脑结构组成的神经网络, 使人们可以初步感受到一些基本(原发)的情绪经验。最后, 背外侧前额皮层与前扣带回皮层的相互作用可以协调认知与注意机制, 使人们能够产生明确的情绪意识体验; 同时, 腹内侧前额皮层、眶额皮层和前扣带回皮层还可以通过评价刺激的动机与情绪意义, 以便进一步调控身体的反应和情绪行为, 甚至改变人们的情绪体验。只有这样, 人类的情绪才能够不断适应复杂多变的环境变化。

参考文献

李建平, 张平, 代景华. (2006). 五种基本情绪心脏自主神经传出活动模式. *中国行为医学科学*, 15, 57-58.

罗非, 王锦琰. (2006). 伤害性躯体感觉的中枢网络动态编码过程. *心理科学进展*, 14, 517-521.

王锦琰, 罗非, 韩济生. (2003). 内、外侧痛觉系统-伤害性信息处理的并行通路. *中国神经科学杂志*, 19, 416-419.

Alexandrov, Y. I., & Sams, M. E. (2005). Emotion and consciousness: Ends of a continuum. *Cognitive Brain*

Research, 25, 387-405.

Auvray, M., Myin, E., & Spence, C. (2010). The sensory-discriminative and affective-motivational aspects of pain. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 214-223.

Bechara, A. (2004). The role of emotion in decision-making: Evidence from neurological patients with orbitofrontal damage. *Brain and Cognition*, 55, 30-40.

Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52, 336-372.

Britton, J. C., Luan-Phan, K., Taylor, S. F., Welsh, R. C., Berridge, K. C., & Liberzon, I. (2006). Neural correlates of social and nonsocial emotions: An fMRI study. *NeuroImage*, 31, 397-409.

Cannon, W. B. (1931). Again the James-Lange and the thalamic theories of emotion. *Psychol. Rev.*, 38, 281-295.

Damasio, A. R., Grabowski, T. J., & Bechara, A. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3, 1049-1056.

Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Putnam.

Damasio, A. R. (1998). Emotion in the perspective of an integrated nervous system. *Brain Research Reviews*, 26, 83-86.

Davidson, R. J., Jackson, D. C., & Kalin, N. H. (2000). Emotion, plasticity, context, and regulations: perspectives from affective neuroscience. *Psychological Bulletin*, 126, 890-909.

Ekman, P., Levenson, & Friesen, W. V. (1983). Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. *Science*, 221, 1208-1210.

George, M. S., Ketter, T. A., Parekh, P. I., Horwitz, B., Herscovitch, P., Post, R. M. (1995). Brain activity during transient sadness and happiness in healthy women. *American Journal of Psychiatry*, 152, 341-351.

Gianaros, P. J., Van Der Veen, F. M., Jennings, J. R. (2004). Regional cerebral blood flow correlates with heart period and high-frequency heart period variability during working-memory tasks: implications for the cortical and subcortical regulation of cardiac autonomic activity. *Psychophysiology*, 41, 521-530.

Hagemann, D., Waldstein, S. R., & Thayer, J. F. (2003). Central and autonomic nervous system integration in emotion. *Brain and Cognition*, 52, 79-87.

James, W. (1894). The physical bases of emotion. *Psychological Review*, 101, 205-210.

Lane, R. D., Reiman, E. M., & Thayer, J. F. (2000). Activity in medial prefrontal cortex correlates with vagal component of heart rate variability during emotion. *Psychosomatic Medicine*, 62, 1286.

Lane, R. D., McRae, K., Reiman, E. M., Ahern, G. L., &

- Thayer, J. F. (2007). Neural correlates of vagal tone during emotion. *Psychosomatic Medicine*, 69, A-8.
- Lane, R. D., Weidenbacher, H., Fort, C. L., Thayer, J. F., & Allen, J. J. B. (2008). Subgenual anterior cingulate (BA25) activity covaries with changes in cardiac vagal tone during affective set shifting in healthy adults. *Psychosomatic Medicine*, 70, A-42.
- Nugent, A. C., Bain, E. E., Thayer, J. F., & Drevets, W. C. (2007). Anatomical correlates of autonomic control during a motor task. *Psychosomatic Medicine*, 69, A-74.
- Nugent, A. C., Bain, E. E., Sollers, J. J., Thayer, J. F., & Drevets, W. C. (2008). Alterations in neural correlates of autonomic control in females with major depressive disorder. *Psychosomatic Medicine*, 70, A-99.
- Paradiso, S., Robinson, R. G., Andreasen, N. C., Downhill, J. E., Davidson, R. J., Kirchner, P. T., et al. (1997). Emotional activation of limbic circuitry in elderly normal subjects in a PET study. *American Journal of Psychiatry*, 154, 384-389.
- Phelps, E. A., Ledoux, J. E. (2005). Contributions of the amygdale to emotion processing: from animal models to human behavior. *Neuron*, 48, 175-187.
- Rainville, P., Bechara, A., Naqvi, N., & Damasio, A. R. (2006). Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity. *International Journal of Psychophysiology*, 61, 5-18.
- Rainville, P., Carrier, B., Hofbauer, R. K., Bushnell, M. C., & Duncan, G. H. (1999). Dissociation of sensory and affective dimensions of pain using hypotic modulation. *Pain*, 82, 159-171.
- Riley, J. L., Wade, J. B., Robinson, M. E., & Price, D. D. (2000). The stages of pain processing across the adult lifespan. *The Journal of Pain*, 1, 162-170.
- Rudrauf, D., Lachaux, J. P., Damasio, A., Baillet, S., Hugueville, L., Martinerie, J., et al. (2009). Enter feelings: Somatosensory responses following early stages of visual induction of emotion. *International Journal of Psychophysiology*, 1-11.
- Sinha, R., Lavallo, W. R., & Parsons, O. A. (1992). Cardiovascular differentiation of emotions. *Psychosomatic Medicine*, 54, 422-435.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61, 201-216.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2007). The role of vagal function in the risk for cardiovascular disease and mortality. *Biological Psychology*, 74, 224-242.
- Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33, 81-88.
- Thayer, J. F., & Ruiz-Padial, E. (2002). Neurovisceral integration in emotion and health. *International Congress Series*, 1241, 321-327.
- Thayer, J. F., & Ruiz-Padial, E. (2006). Neurovisceral integration, emotions and health: An update. *International Congress Series*, 1287, 122-127.
- Vianna, E. P. M., Naqvi, N., Bechara, A., & Tranel, D. (2009). Does vivid emotional imagery depend on body signals? *International Journal of Psychophysiology*, 72, 46-50.

Integration Models of Peripheral and Central Nervous System in Research on Physiological Mechanisms of Emotions

LIU Fei; CAI Hou-De

(Lab of Brain and Behavior, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: To clarify the physiological mechanism of human emotions is a great challenge for psychologists and neuroscientists. Previous studies trended to separately investigate the peripheral response patterns and brain mechanisms of emotions. With the development of emotional electrophysiology and cognitive neuroscience, many researchers have recently proposed several integration models of physiological mechanism of emotions from perspectives of interaction between peripheral and central nervous system. The typical examples are emotion circuit model and neurovisceral integration model. The former emphasized a processing way from peripheral to central (bottom-up) to try to explain the mechanism of the formation of emotion experience, and the latter a processing way from central to peripheral (top-down) trying to elucidate the mechanism of emotion regulation. Future research should build a more comprehensive physiological model of human emotions by drawing on these two models and combining with the recent new research results about the neural mechanisms of emotional information processing.

Key words: human emotions; physiological mechanism; emotion circuit model; neurovisceral integration model