

情绪加工的年龄差异及其神经机制

付思文

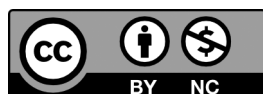
上海师范大学教育学院，上海

摘要 | 已有研究表明，情绪加工存在年龄差异。随着认知神经科学技术的发展，情绪加工存在年龄差异其背后的神经机制成为了研究的热点。本文综述了近年来该领域的研究成果，从情绪识别、情绪记忆、情绪调节等方面系统阐述了相关研究。情绪加工的年龄差异除了体现在脑功能上还具有重要的生理基础，与杏仁核、纹状体、多巴胺能系统、去甲肾上腺素能系统的年龄差异有关。

关键词 | 情绪；情绪加工；年龄差异；神经机制

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 引言

大量的研究表明，情绪加工存在年龄差异，最早对该问题进行实证研究的是上个世纪八九十年代的 Lewis^[1] 等人。他们以 2—5 岁的学龄前儿童和成年人作为被试，探究不同年龄阶段的群体在摄像机前表达 6 种不同情绪（快乐、惊讶、愤怒、恐惧、悲伤和厌恶）的差异性^[1]。随后，关于情绪加工的年龄差异被大量的研究所证实^[2-5]。这种年龄差异在情绪识别、情绪记忆、情绪理解、情绪调节等各个方面都有所体现^[6-8]。特别是近年来心理学领域认知神经科学的兴起，越来越多的研究者运用神经成像技术探究情绪加工的年龄差异及其神经机制，使人们对情绪加工的年龄差异有了更加深入的了解。

虽然传统的实证研究探讨了情绪加工年龄差异的机制，但由于情绪过程和情绪加工的复杂性，情绪加工年龄差异的实质和机制尚存争议。情绪加工年龄差异的神经机制主要存在两种理论解释，一种是解剖保存假说（anatomical preservation hypothesis），另一种是功能代偿假说（functional compensation hypothesis）。尽管两种理论假说尚存争议，但究其本质而言两者并不矛盾。解剖保存假说认为与年龄相关的解剖学退化在介导情绪加工的大脑区域中不那么明显，与情绪加工或奖赏刺激反应有关的杏仁核、腹侧纹状体和内侧前额叶皮层在健康的老年人中保持着相对完整性^[9-11]。而功能代偿假说认为尽管某些

大脑区域的老年人活动性较年轻人弱,而其他大脑区域(例如外侧前额叶皮层)却往往随着年龄的增长而增强^[12, 13]。总体而言,支持功能代偿假说的研究相对较少,还需要更直接的研究结果予以证实。

认知神经科学研究手段极大促进了情绪加工机制研究的深化,也是探讨情绪加工年龄差异的实质的新的途径。十多年来,研究者对情绪加工年龄差异的神经机制进行了研究,取得了丰富的成果。本文综合以往的行为实验、ERP以及fMRI等认知神经科学实验,主要分两个部分去探究情绪加工的年龄差异及其神经机制:1)通过对已有行为及认知神经基础研究的分析,从情绪识别、情绪记忆、情绪调节以及其他过程四个方面阐述情绪加工的年龄差异及相应的神经机制;2)从脑—生理基础方面陈述与情绪加工有关的大脑结构或自主神经系统等方面的年龄差异。

2 情绪加工年龄差异的神经机制的证据

随着事件相关电位(ERPs)及功能性磁共振成像(fMRI)等神经成像技术的广泛应用,对情绪加工的年龄差异及其认知神经机制进行深入探讨的研究越来越多。情绪加工是指对有可能唤醒情绪体验的情绪刺激的感知或者评价,包括情绪识别、情绪记忆、情绪调节、情绪决策等^[14]。经过对以往研究的系统整理,情绪加工年龄差异的神经机制方面的证据主要集中于情绪识别、情绪记忆、情绪调节及其他过程四个方面。

2.1 情绪识别

情绪识别(emotion recognition)主要包括对面孔表情的识别和语调表情的识别。早期大量的研究表明情绪识别过程存在年龄差异。与中性刺激相比,情绪刺激更容易被年轻人感知和处理^[15],而老年人对情绪刺激的反应保持相对稳定^[4]。但是,当对情绪刺激进行正负性分类时,相对于年轻人老年人感知负面刺激的难度更大,但对正面刺激的感知受到的损害较小,这种现象被称为情绪识别的积极效应^[16]。老年人情绪识别的积极效应被大量的行为研究所证实^[17-19]。

随着认知神经技术不断发展,近年来出现了很多神经成像研究,在认知神经科学领域为上述的行为实验结果提供了支持。Idika等人^[20]较早地使用功能性神经成像技术发现:与年轻人相比,老年人在观看负性情绪面孔时杏仁核活动性较低;后期St. Jacques等人^[21]发现老年人对主观评价为中性的负性刺激做出反应时杏仁核的活动性同样降低。除杏仁核外,情绪识别过程中存在年龄差异可能与海马的体积大小有关,有研究者利用结构磁共振成像(MRI)探究不同年龄的人群在准确识别面部情绪时,额叶和颞叶的脑结构体积与反应时间的关系。结果发现在老年人中较大的海马体积与更快地识别面部情绪有关,而在年轻人中这种关系并不存在^[22]。

除年轻人和老年人在情绪识别过程中存在年龄差异外,儿童和成年人情绪识别同样存在年龄差异并存在神经机制方面的证据。Karim和Perlman^[23]的一项研究探究了儿童和成年人在情绪识别上的年龄差异及其神经基础,结果发现儿童与成年人情绪识别的准确性无显著差异。但与成年人相比,儿童在观看负面剪辑时,皮层下和视觉区域表现出更大的激活,而在观看正面剪辑时,皮层下和前额叶区域表现出更大的激活,这可能是与神经系统参与降低儿童对情绪刺激的行为反应有关。另外,来自其他研究的证据表明,青少年和成人之间在情绪识别时脑区活动存在显著差异,并且这种差异具有情绪分化性,在颞

上沟、腹外侧前额叶皮层和颞中回,成年人对恐惧和快乐面孔增强的反应呈u型反转,而青少年却表现出相反的模式^[24]。

2.2 情绪记忆

在认知领域,情绪记忆(emotional memory)指对包含情绪特征的刺激的记忆。大量的行为研究表明,相对于中性材料的记忆,人们对情绪材料的记忆更加准确且持久^[25, 26],这种现象被称为情绪记忆的增强效应(emotionally enhanced memory, EEM)。除情绪识别外,情绪记忆加工过程同样存在显著的年龄差异,老年人群体在情绪记忆中通常会表现出积极效应^[27],但这种积极效应与老年人可分配的认知资源有关^[28]。

来自神经成像的证据表明,情绪记忆加工过程与杏仁核、海马、边缘皮层以及内皮层密切相关^[29],随着神经成像技术的不断成熟发展,愈来愈多的研究者开始探索情绪记忆年龄差异的神经基础^[30, 31]。有研究表明与年龄相关的有效连通性变化可能是老年人编码正性情绪记忆能力相对更强的原因之一,该研究使用fMRI比较年轻人和老年人在进行情绪编码时的情绪记忆网络区域之间的连接性,结果发现年龄对负性信息编码过程中所涉及区域间的连通性没有影响,但在正性信息编码过程中确实存在年龄差异。老年人在杏仁核和腹内侧前额叶皮层对海马自上而下的影响中具有更强的正连接,而在年轻人中,这些相同区域对海马的影响却恰恰相反^[30]。那么,老年人情绪记忆积极效应是否具有年龄上限呢?Ruthig, Poltavski 和 Petros^[31]以60—75岁的年轻老年人和80岁以上的年老老年人作为被试,运用脑电图(EEG)探究效价在年龄和情绪工作记忆之间的调节作用,以确定积极效应随年龄增长的变化。结果表明,年老老年人的积极效应同年轻老年人一样不需要额外的认知努力,也不可能随着年龄的增长而减弱。

2.3 情绪调节

情绪调节(emotion regulation)是指个体试图通过改变特定的情绪体验进行情绪表达或情绪管理的过程^[32]。大量的研究表明,情绪调节过程存在显著的年龄差异^[33-35]。随着年龄的增长,老年人身体健康和认知能力会下降,但调节情绪的能力保持稳定或显著提高,与年轻人相比,他们处理正性刺激的能力要比处理负性刺激的能力强^[36],这可能与老年人比年轻人能够更有效地利用注意力来减少负面情绪有关^[35]。

随着认知神经科学技术的不断发展,几项功能性神经成像实验为上述结果提供了支持:已有研究表明,在处理积极的情绪刺激时,老年人倾向于过度活动额叶控制区域^[37]。有理论认为,这种偏向于正向刺激信息的转变及对额叶区域的加强控制,反映了通过利用“对正向刺激的强化阐述和强化调节”来增加老年人的积极效应^[16]。也有研究者认为情绪调节的年龄差异可能与年轻人和老年人对情绪刺激进行再评估(Reappraisal)时大脑活动的不同有关,在年轻人中这种认知评估策略倾向于激活前额叶皮层的背侧、外侧及后顶叶,但通常不会引起腹内侧前额叶皮层的活动^[34],老年人在重新评估以减少负面情绪图片所带来的影响时,左腹外侧前额叶皮层激活的次数少于年轻人^[38, 39]。但这种年龄差异更多集中于年轻人与老年人之间,近期一项fMRI研究表明,从7岁开始,情绪调节能力就已基本形成,儿童(6—11岁)、青少年(12—17岁)和成年人在进行情绪调节时的大脑活动并未出现

明显的年龄差异^[40]。

2.4 其他过程

在情绪加工研究中,除上述过程存在年龄差异外,有研究表明在情绪理解及情绪易感性方面存在年龄差异。Pons^[41]等人招募4岁到11岁之间的儿童接受测试,探究情绪理解和年龄之间的关系。结果发现随着年龄的增长,儿童在情绪理解和语言能力方面都有明显的提高,在每个年龄组中,情绪理解和语言能力存在明显的个体差异,年龄和语言能力共同解释了72%的情绪理解差异;其中20%的差异仅由年龄解释,27%仅由语言能力解释。除情绪理解外,青少年和成年人在情绪易感性方面同样存在年龄差异,一项ERP研究结果表明青少年在接受不同效价的负性刺激时,均表现明显的情绪效应,然而成年人在theta和beta频带上没有表现出情绪效应。说明青少年对负性情绪刺激更为敏感,这可能是与青春前期额叶控制系统的发育不完善有关^[42]。

总体而言,探究情绪加工老化效应的研究相对较多,探究儿童及青少年情绪加工的研究相对较少,研究者对老年人情绪加工的探讨主要集中于情绪识别、情绪记忆、情绪调节等加工过程中的积极效应及其在功能上的体现;对儿童或青少年情绪加工的探讨主要集中于情绪识别、情绪理解情绪易感性等发展的阶段性以及在神经活动上的体现。以往研究者对情绪加工年龄差异的神经机制的探讨大多使用fMRI、ERP等神经成像技术,尽管这些神经成像技术为情绪加工的年龄差异提供了有利的证据,但这些神经活动与情绪加工过程之间存在因果关系的解释力是有限的,还需要能够进一步提供因果关系的的技术的支持。

3 情绪加工年龄差异的脑—生理基础

以上研究表明,情绪加工神经机制的年龄差异体现为功能性差异,这些功能性差异来自于不同年龄阶段的群体脑—生理基础上的不同。随着年龄的增长,老年人的部分生理结构或功能系统几乎没有出现退化现象,这可能是老年人出现积极效应的原因之一。综合而言,与情绪加工有关的脑—生理基础主要体现在以下两个方面:

3.1 脑结构

情绪加工所涉及的脑部组织和脑区主要有杏仁核(The Amygdala)、纹状体(The Striatum)、前扣带皮层(The Anterior Cingulate Cortex, ACC)和前额叶皮层(The Prefrontal Cortex, PFC)。其中杏仁核在皮层下区域,属于边缘系统的一部分,在情绪调节、情绪识别等情绪加工过程中起着至关重要的作用^[43, 44]。有研究发现杏仁核的静息状态功能连接(resting-state Functional Connectivities, rsFC)的终生发展可能是情绪调节出现年龄差异的神经基础,这项研究使用fMRI技术探究了132名被试(19—55岁)杏仁核rsFC的年龄差异,发现小脑杏仁核rsFC与年龄呈正相关,杏仁核的内在连接是在大脑的特定区域从青年到中年进化而来的,并可能为未来的研究提供信息,即年龄相关的情绪调节和杏仁核回路的不适应发展是情绪障碍的病因学标记^[45]。

纹状体同样是皮层下的区域,在情绪调节以及对奖赏刺激做出反应等方面发挥重要作用^[46, 47]。纹状体回路中与年龄相关的差异可以提供对个体行为改变和精神障碍脆弱性背后的神经机制的深入了解。

有研究者^[48]利用静息状态内在功能连接 (intrinsic functional connectivity, iFC) 成像技术对年龄在 9—44 岁的健康个体进行了纹状体腹侧 / 背侧双重功能模型的研究。广泛地说, 背侧纹状体 (dorsal striatum, DS) 与额叶和顶叶皮质相连, 参与认知过程; 腹侧纹状体 (ventral striatum, VS) 与内侧眼窝前额皮质和前扣带皮质相连, 对情感评价和动机起作用。该研究结果显示, 与年龄相关的变化模式在腹侧纹状体和背侧纹状体的 iFCs 上存在差异。与后扣带皮层相连的背侧纹状体的 iFC 在 25 岁中期后趋于稳定, 而与前岛叶和背侧前扣带皮层相连的腹侧纹状体的 iFC 在成年中期持续下降。

3.2 多巴胺能系统与去甲肾上腺素能系统

多巴胺 (Dopamine) 和去甲肾上腺素 (Norepinephrine) 作为神经递质在情绪处理中起着关键作用, 并且已经被确认显示出与年龄相关的显著变化。这两种神经递质所处的神经系统具有相似的结构和相互作用的认知效应但是扮演不同的角色。与年轻人相比, 衰老会明显影响多巴胺能系统^[49]。多巴胺系统功能的 PET 标记显示了多巴胺神经元和多巴胺转运体密度降低与老年人执行功能之间的关联^[50]。与多巴胺能系统功能相关的基因与工作记忆和执行功能的个体差异在晚年比早年关联更紧密, 表明多巴胺功能的老年性下降使遗传变异更具影响力^[51-54]。

蓝斑 (locus coeruleus, LC) 是脑干中的一个核, 是大脑去甲肾上腺素的主要来源, 当兴奋度增加时, 可以为大脑注入去甲肾上腺素。关于 LC 与年龄相关的结构变化的文献是多种多样的。例如早期的一项纵向研究^[55]表明 LC 神经元的计数在 60 年期间减少了 40%, 而在另一项研究^[56]中, 使用不同的方法, 年轻人和老年人的 LC 神经元计数或大小没有差异。LC 结构和去甲肾上腺素水平的年龄差异与认知功能有关, LC 中的神经元密度与死亡前几年认知能力下降的相关性比腹侧节段区、实质性黑质或中缝背核的神经元完整性强, 这可能是情绪识别的认知过程出现年龄差异的原因之一。

综上所述, 情绪加工脑—生理基础上的年龄差异主要是边缘系统及部分激素的官能系统的不同。老年人与情绪加工有关的脑结构上的变化体现为功能上的差异性, 因而对情绪加工脑—生理基础方面的年龄差异的深入探讨对于老年人情绪处理障碍的诊断与治疗具有重要意义。

4 总结与展望

综合而言, 情绪加工的年龄差异主要表现为: (1) 老年人在情绪识别、情绪记忆、情绪调节过程中均表现出积极效应。(2) 在情绪识别过程中, 相对于年轻人老年人在早期的注意力水平上表现出积极性偏差。(3) 情绪记忆的积极效应与老年人可分配的认知资源有关, 高认知负荷下积极效应并不明显。(4) 功能性神经成像的研究表明, 老年人情绪记忆积极效应无年龄上限。(5) 情绪调节能力从 7 岁时就基本形成, 该过程的年龄差异主要集中于年轻人与老年人之间。上述情绪加工过程年龄差异的存在, 可能与大脑及其组织在功能及结构上的差异有关, 也可能是由于参与情绪加工过程的激素官能系统 (多巴胺能系统、去甲肾上腺素系统等) 存在年龄差异。

认知神经科学技术的应用为研究情绪加工年龄差异的神经机制提供了有效的手段, 也取得了丰硕的成果。但是关于情绪加工的年龄差异及其神经机制仍然存在许多尚未解决的问题。首先, 就研究方法而言, 神经成像技术推进了这一研究主题的进展, 但是对因果关系的解释是非常有限的。而另一种研究方

法—经颅磁刺激 (Transcranial Magnetic Stimulation, TMS) 恰可弥补不足之处。TMS 是一种神经生理技术, 它利用磁场在大脑中产生感应电流, 使其安全地通过头皮和头骨。在经颅磁刺激中, 根据所使用的参数, 如脉冲的频率和模式, 可以使被试大脑皮层内部去极化或超极化^[57, 58]。另外, TMS 可在给定时间内给予多个脉冲的序列到达目标皮层区域, 称为重复经颅磁刺激 (rTMS)。也就是说在一段较长的时间内, TMS 可以增加或减少给定区域的活动水平。有部分研究者使用这种特殊的 TMS 技术来暂时破坏指定区域的皮层活动, 这样就可以检查大脑皮层的一个局部区域是否参与了特定的认知功能^[59]。在探究情绪加工的年龄差异时, 使用这种方法可以帮助回答情绪加工年龄差异的神经活动的因果性质的问题, 在未来的研究中可适当予以采用。

参考文献

- [1] Lewis M, Sullivan M W, Vasen A. Making faces: Age and emotion differences in the posing of emotional expressions [J]. *Developmental Psychology*, 1987, 23 (5): 690–697.
- [2] Bucher A, Voss A, Spaniol J, et al. Age differences in emotion perception in a multiple target setting: An eye-tracking study [J]. *Emotion*, 2019, 20 (8): 1423–1434.
- [3] Mather M, Carstensen L L. Aging and motivated cognition: The positivity effect in attention and memory [J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, 9 (10): 496–502.
- [4] Murphy N A, Isaacowitz D M. Preferences for emotional information in older and younger adults: A meta-analysis of memory and attention tasks [J]. *Psychology and Aging*, 2008, 23 (2): 263–286.
- [5] Weierich M, Kensinger E, Munnell A, et al. Older and wiser? An affective science perspective on age-related challenges in financial decision making [J]. *Social Cognitive & Affective Neuroscience*, 2011, 6: 195–206.
- [6] Fischer H. Age-related differences in brain regions supporting successful encoding of emotional faces [J]. *Cortex*, 2010, 46: 490–497.
- [7] Franklin R G, Zebrowitz L A. Age Differences In Emotion Recognition: Task Demands Or Perceptual Dedifferentiation [J]. *Experimental Aging Research*, 2017, 43 (5): 453–466.
- [8] Ross P, de Gelder B, Crabbe F, et al. Emotion modulation of the body-selective areas in the developing brain [J]. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2019, 38.
- [9] Brabec J, Rulseh A, Hoyt B, et al. Volumetry of the human amygdala – an anatomical study [J]. *Psychiatry Research*, 2010, 182 (1): 67–72.
- [10] Mohr P N, Li S C, Heekeren H R. Neuroeconomics and aging: Neuromodulation of economic decision making in old age [J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2009, 34: 6878–6888.
- [11] Salat D H, Kaye J A, Janowsky J S. Selective preservation and degeneration within the prefrontal cortex in aging and Alzheimer disease [J]. *Archives of Neurology*, 2001, 58 (9): 1403–1408.
- [12] Tessitore A, Hariri A R, Fera F, et al. Functional changes in the activity of brain regions underlying emotion processing in the elderly [J]. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 2005, 139 (1): 9–18.
- [13] Dennis N A, Cabeza R. Neuroimaging of healthy cognitive aging [M]. *The handbook of aging and cognition*. Mahwah, Erlbaum N J. 2008, 1–54.
- [14] Kemp A H, Silberstein R B, Arm strong S M, et al. Gender differences in the cortical electrophysiological processing of visual emotional stimuli [J]. *NeuroImage*, 2004, 16: 632–646.

- [15] Kensinger E A. Remembering emotional experiences: The contribution of valence and arousal [J] . *Reviews of Neuroscience*, 2004, 15 (4) : 241–251.
- [16] Mather M, Carstensen L L. Aging and motivated cognition: The positivity effect in attention and memory [J] . *Trends in Cognitive Sciences*, 2005, 9 (10) : 496–502.
- [17] Gross J J, Carstensen L L, Pasupathi M, et al. Emotion and aging: Experience, expression, and control [J] . *Psychology and Aging*, 1997, 12 (4) : 590–599.
- [18] Kennedy B L, Huang R, Mather M. Age differences in emotion-induced blindness: Positivity effects in early attention [J] . *Emotion*, 2020, 20 (7) : 1266–1278.
- [19] Laukka P, Juslin P N. Similar patterns of age-related differences in emotion recognition from speech and music [J] . *Motivation and Emotion*, 2007, 31 (3) : 182–191.
- [20] Idika T, Okada T, Murata T, et al. Agerelated differences in the medial temporal lobe responses to emotional faces as revealed by fMRI [J] . *Hippocampus*, 2002, 12 (3) : 352–362.
- [21] St Jacques P L, Bessette-Symons B, Cabeza R. Functional neuroimaging studies of aging and emotion: fronto amygdalar differences during emotional perception and episodic memory [J] . *Journal of the International Neuropsychological Society*, 2009, 15 (6) : 819–825.
- [22] Szymkowicz S M, Persson J, Lin T, et al. Hippocampal Brain Volume Is Associated with Faster Facial Emotion Identification in Older Adults: Preliminary Results [J] . *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2016, 8.
- [23] Karim H T, Perlman S B. Neurodevelopmental maturation as a function of irritable temperament [J] . *Human Brain Mapping*, 2017, 38 (10) : 5307–5321.
- [24] Wiggins J L, Adleman N E, Kim P, et al. Developmental differences in the neural mechanisms of facial emotion labeling [J] . *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2015, 11 (1) : 172–181.
- [25] Kensinger E A. and Corkin S. Memory enhancement for emotional words: Are emotional words more vividly remembered than neutral words [J] . *Memory & Cognition*, 2003, 31 (8) : 1169–1180.
- [26] 毛新瑞, 徐慧芳, 郭春彦. 双加工再认提取中的情绪记忆增强效应 [J] . *心理学报*, 2015, 47 (9) : 1111–1123.
- [27] Reed A E, Carstensen L L. The Theory Behind the Age-Related Positivity Effect [J] . *Frontiers in Psychology*, 2012, 3.
- [28] 孙小然, 徐从文, 蒋京川. 认知负荷与老年人情绪记忆的积极效应 [J] . *中国心理卫生杂志*, 2019, 33 (4) : 284–288.
- [29] Li X, Chen S, Zhu J, et al. Effect of emotional enhancement of memory on recollection process in young adults: the influence factors and neural mechanisms [J] . *Brain Imaging and Behavior*, 2020, 14: 119–129.
- [30] Addis D R, Leclerc C M, Muscatell K A, et al. There are age-related changes in neural connectivity during the encoding of positive, but not negative, information [J] . *Cortex*, 2010, 46 (4) : 425–433.
- [31] Ruthig J C, Poltavski D P, Petros T. Examining Positivity Effect and Working Memory in Young-Old and Very Old Adults Using EEG-Derived Cognitive State Metrics [J] . *Research on Aging*, 2019, 41 (10) : 1014–1035.
- [32] Gross J. The emerging field of emotion regulation: An integrative review. *Review of General Psychology*, 1998, 2 (3) : 271–299.
- [33] Allard E S, Kensinger E A. Age-related differences in neural recruitment during the use of cognitive reappraisal and selective attention as emotion regulation strategies [J] . *Frontiers in Psychology*, 2014, 5.

- [34] Buhle J T, Silvers J A, Wager T D, et al. Cognitive Reappraisal of Emotion: A Meta-Analysis of Human Neuroimaging Studies [J] . *Cerebral Cortex*, 2013, 24 (11) : 2981-2990.
- [35] Wirth M, Kunzmann U. Age differences in regulating negative emotions via attentional deployment [J] . *Psychology and aging*, 2018, 33 (3) : 384-398.
- [36] Nashiro K, Sakaki M, Mather M. Age Differences in Brain Activity during Emotion Processing: Reflections of Age-Related Decline or Increased Emotion Regulation [J] . *Gerontology*, 2012, 58 (2) : 156-163.
- [37] Leclerc C M, Kensinger E A. Effects of age on detection of emotional information [J] . *Psychology Aging*, 2008, 23 (1) : 209-215.
- [38] Opitz P C, Rauch L C, Terry D P, et al. Prefrontal mediation of age differences in cognitive reappraisal [J] . *Neurobiology of Aging*, 2012, 33 (4) : 645-655.
- [39] Winecoff A, LaBar K S, Madden D J, et al. Cognitive and neural contributors to emotion regulation in aging [J] . *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2010, 6 (2) : 165-176.
- [40] Ross P, de Gelder B, Crabbe F, et al. Emotion modulation of the body-selective areas in the developing brain [J] . *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2019, 38.
- [41] Pons F, Lawson J, Harris P L, et al. Individual differences in children's emotion understanding: Effects of age and language [J] . *Scandinavian Journal of Psychology*, 2003, 44 (4) : 347-353.
- [42] Meng X, Liu W, Zhang L, et al. EEG Oscillation Evidences of Enhanced Susceptibility to Emotional Stimuli during Adolescence [J] . *Frontiers in Psychology*, 2016, 7.
- [43] Adolphs R. What does the amygdala contribute to social cognition [J] . *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2010, 1191: 42-61.
- [44] Sergerie K, Chochol C, Armony J L. The role of the amygdala in emotional processing: A quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies [J] . *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2008, 32 (4) : 811-830.
- [45] Xiao T, Zhang S, Lee L E, et al. Exploring Age-Related Changes in Resting State Functional Connectivity of the Amygdala: From Young to Middle Adulthood [J] . *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2018, 10.
- [46] Peters J, Buchel C. Episodic future thinking reduces reward delay discounting through an enhancement of prefrontal medio-temporal interactions [J] . *Neuron*, 2010, 66 (1) : 138-148.
- [47] Rosen H J, Levenson R W. The emotional brain: Combining insights from patients and basic science [J] . *Neurocase*, 2009, 15 (3) : 173-181.
- [48] Porter J N, Roy A K, Benson B, et al. Age-related changes in the intrinsic functional connectivity of the human ventral vs. dorsal striatum from childhood to middle age [J] . *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2015, 11: 83-95.
- [49] Li S-C, Rieckmann. Neuromodulation and aging: implications of aging neuronal gain control on cognition [J] . *Current opinion in neurobiology*, 2014, 29: 148-158.
- [50] Bäckman L, Lindenberger U, Li S-C, et al. Linking cognitive aging to alterations in dopamine neurotransmitter functioning: Recent data and future avenues [J] . *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2010, 34 (5) : 670-677.
- [51] Colzato, Lorenza S, van den Wildenberg, et al. The genetic impact (C957T-DRD2) on inhibitory control is magnified by aging [J] . *Neuropsychologia*, 2013, 51 (7) : 1377-1381.
- [52] Li S-C, Papenberg G, Nagel I E, et al. Aging magnifies the effects of dopamine transporter and D2 receptor

- genes on backward serial memory [J]. *Neurobiology of Aging*, 2013, 34 (1) : 358. e1–358. e10.
- [53] Nagel I E. Human aging magnifies genetic effects on executive functioning and working memory [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2008, 2.
- [54] Störmer V S, Passow S, Biesenack J, et al. Dopaminergic and cholinergic modulations of visual–spatial attention and working memory: Insights from molecular genetic research and implications for adult cognitive development [J]. *Developmental Psychology*, 2012, 48 (3) : 875–889.
- [55] Vijayashankar N, Brody H. A Quantitative Study of the Pigmented Neurons in the Nuclei Locus Coeruleus and Subcoeruleus in Man as Related to Aging [J]. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 1979, 38 (5) : 490–497.
- [56] Mouton P R, Pakkenberg B, Gundersen H J G, et al. Absolute number and size of pigmented locus coeruleus neurons in young and aged individuals [J]. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 1994, 7 (3) : 185–190
- [57] Hallett M. Transcranial magnetic stimulation and the human brain [J]. *Nature*, 2000, 406 (6792) : 147–150.
- [58] Schutter D J, Van Honk J, Panksepp J. Introducing transcranial magnetic stimulation (TMS) and its property of causal inference in investigating brain function relationships [J]. *Synthese*, 2004, 141 (2) : 155–173.
- [59] Robertson E M, Théoret H, Pascual-Leone A. Studies in Cognition: The Problems Solved and Created by Transcranial Magnetic Stimulation [J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2003, 15 (7) : 948–960.

Age Differences and Neural Mechanisms of Emotional Processing

Fu Siwen

Shanghai Normal University, Shanghai

Abstract: Previous studies have shown that there are age differences in emotional processing. With the development of cognitive neuroscience, the neural mechanism behind age differences in emotional processing has become a hot topic of research. In this paper, the recent research achievements in this field are reviewed, and the related researches are systematically described from the aspects of emotion recognition, emotion memory and emotion regulation. In addition to brain function, age differences in emotional processing also have an important physiological basis, which is related to age differences in amygdala, striatum, dopaminergic system and norepinephrine system.

Key words: Emotions; Emotional processing; Age difference; Neural mechanisms