

# 内隐情绪调节的认知神经机制\*

高可翔 汤煜尧 张岳瑶 张丹丹

(四川师范大学脑与心理科学研究院, 成都 610066)

**摘要** 内隐情绪调节是个体在无意识监督或不具有明确的情绪调节意图下改变情绪的过程。与外显情绪调节相比,内隐情绪调节对前额叶执行控制系统的依赖度更低。本文在已有的内隐情绪调节二分类基础上,提出了新的三分类理论框架,将内隐情绪调节分为:自动化、任务附加型、内隐目标驱动三个内隐情绪调节种类。其中,自动化内隐调节以恐惧消退为代表,依赖腹内侧前额叶直接调控杏仁核;任务附加型调节发生在情绪标签、情绪 Stroop 等任务中,外侧前额叶通过认知控制系统,在任务执行过程中附带地调节情绪;内隐目标驱动型调节则通过启动或内隐训练,激活内隐情绪调节目标追求,既可借助腹内侧前额叶实现自动化调节,又可在一定条件下调用外侧前额叶的认知控制功能实现受控情绪调节。神经调控研究证实,腹内侧前额叶是内隐情绪调节的关键性因果脑区,其功能增强有望改善抑郁和焦虑患者的内隐情绪调节能力。本文提出的三分类理论框架突出了内隐情绪调节的多样化机制,拓展了情绪调节理论的动态性理解,同时也为情绪障碍患者的临床干预提供了有潜力的新途径。

**关键词** 情绪调节,内隐情绪调节,抑郁,焦虑,神经调控

**分类号** B842; B845

## 1 引言

情绪调节是指个体影响自己拥有什么情绪、什么时候发生情绪、如何体验与表达情绪的过程(Gross, 2015)。成功的情绪调节是维持身心健康以及良好人际关系的基础(Aldao et al., 2010; Gross & John, 2003)。在临床实践中,持续受到负性情绪困扰且无法有效调节情绪,被认为是抑郁和焦虑等情绪障碍患者的主要特征(Joormann & Stanton, 2016; Liu & Thompson, 2017)。以往大部分研究关注外显性的情绪调节(explicit emotion regulation; Gao et al., 2022; Konrad et al., 2025; Lincoln et al., 2022)——由明确的想要改变情绪的目标导致的情绪调节过程。在实际生活中,情绪持续存在并不断波动,但无论是有意识地发起还是主动维持情绪调节,都依赖自上而下的认知控制机制,持续进行这类情绪调节会造成认知资源的大量消耗

(Ferri et al., 2016; Li et al., 2023, 2024; Li et al., 2025; Pruessner et al., 2020; Tang et al., 2025),进而导致机体处于疲劳状态。事实上,多数情况下情绪的改变不以主观意愿和努力为导向,而是以更具适应性的方式进行,这其实就是内隐情绪调节(implicit emotion regulation)在发挥重要作用。不同于外显情绪调节,内隐情绪调节是不伴随明确情绪调节目标的一大类改变情绪的方法,其发生不易被察觉、执行过程隐蔽,且其认知神经机制尚不明确。

大量研究证实,内隐情绪调节能有效调节负性情绪体验及相关的生理反应和行为表现,并在情绪障碍的临床干预中有重要的作用(见元分析: Dalton et al., 2025)。与需要意识监管和付出意志努力的外显、主动情绪调节相比,内隐情绪调节可避免意识监管和认知资源损耗带来的不良反应,因此在某些情况下具有优势。例如在不习惯认知重评的个体中,内隐认知重评的效果更好(Gao et al., 2024; Williams et al., 2009);个体在愤怒时追求情绪的发生和表达,这与下调情绪的目标相悖,此时内隐情绪调节可避免情绪调节目标

收稿日期: 2025-04-24

\* 国家自然科学基金面上项目(32271102)支持。

通信作者: 张丹丹, E-mail: zhangdd05@gmail.com

与个体主观意志的冲突, 更易实现情绪调节的执行, 达成降低愤怒情绪的目标 (Mauss et al., 2007b); 在风险决策和数学学习等复杂任务中, 需要认知监管的情绪调节会影响当下任务的表现, 产生不适宜的行为后果, 而内隐情绪调节在有效调节情绪的同时可以较少影响进行中的任务 (Yang et al., 2015; Yuan et al., 2019; Zhu et al., 2022); 在调节高强度负性情绪时, 内隐情绪调节相比外显情绪调节可以更有效地下调负性情绪主观报告和 相关脑电指标 (Zhang, Li, et al., 2023); 对抑郁和焦虑等精神疾病患者而言, 认知控制资源的受损限制了外显情绪调节特别是认知重评的实施, 但内隐情绪调节功能在很大程度上仍然保留 (Dalton et al., 2025; Li et al., 2023; 莫李澄 等, 2021; Yuan et al., 2022; 张丹丹, 李思瑾, 2024)。例如, 内隐启动 (priming) 的认知重评策略可以帮助抑郁症患者下调消极情绪相关的晚期正成分 (late positive potential, LPP; Yuan et al., 2022), 也可以使焦虑被试的情绪评分更积极 (Gao et al., 2024)。

综上, 考察内隐情绪调节的认知神经机制可深化情绪调节理论, 并为临床情绪障碍患者的治疗提供指导。本文首先提出内隐情绪调节的三分类, 并以此为框架介绍内隐情绪调节的脑成像和神经调控研究发现, 最后阐述内隐情绪调节对临床治疗情绪障碍的应用前景。

## 2 内隐情绪调节的三分类

从认知机制上看, 内隐情绪调节涉及多种无意识的认知过程, 其中既包括完全自动化的调节方式, 也包括通过自上而下认知控制实现的调节方式。Gyurak 等 (2011) 提出的“双过程框架”, 首次将情绪调节分为两类 (外显和内隐), 认为内隐情绪调节由情绪刺激自动启动, 无需意识监管, 执行过程不被觉知, 这强调了内隐情绪调节相比于外显情绪调节具有自动进行的特点。Braunstein 等 (2017) 在此基础上增加了“情绪调节目标”维度, 提出“多维框架 (multi-level framework)”, 认为情绪调节是一个实现情绪调控目标的过程, 因此情绪调节目标的“外显”和“内隐”, 以及情绪调节执行过程的“受控”和“自动化”是两个正交的维度 (图 1A), 而内隐与外显情绪调节的主要区别在于前者无明确的调节目标。此外, 还有部分文献对情绪调节分类框架进行了相关论述 (Koole & Rothermund, 2011; Koole et al., 2015; Mauss et al., 2007a)。多维框架首次将内隐情绪调节细分为“内隐自动化”和“内隐受控”两个子类。其中, 内隐自动化的情绪调节不涉及主动调控, 情绪变化伴随情绪学习/价值更新的过程而发生, 经典的例子为恐惧消退 (fear extinction)。内隐受控的情绪调节则需要主动控制的参与, 经典的例子为情绪 Stroop, 任务本身并不要求个体调节情绪, 但由于任务中

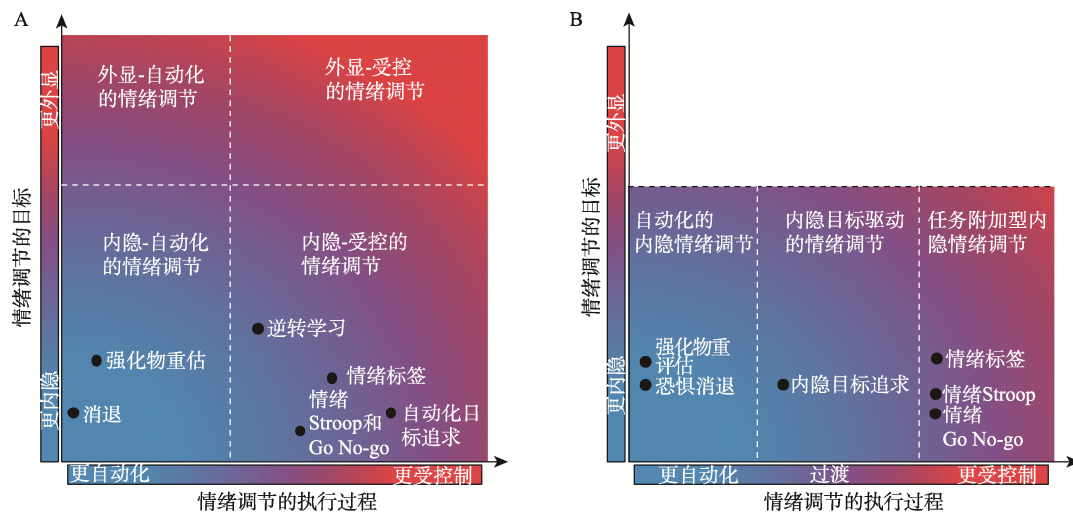


图 1 内隐情绪调节的分类。A. 本图改编自情绪调节领域著名学者 Gross 提出的情绪调节多维框架, 它将内隐情绪调节分为“内隐自动化的情绪调节”和“内隐受控的情绪调节”两类 (Braunstein et al., 2017)。B. 本文提出的内隐情绪调节三分类框架, 包括“自动化的内隐情绪调节”, “任务附加型内隐情绪调节”和“内隐目标驱动的情绪调节”三类。

使用了具有情绪信息的材料,使这些任务的执行可以附带情绪改变。

尽管多维框架(Braunstein et al., 2017)加深了我们对情绪调节、特别是内隐情绪调节的理解,但其对情绪调节的划分是静态的,缺乏对动态变化的考量。实际上,目标和过程维度均存在动态的变化。在目标维度,情绪调节的目标可以通过启动的方式从外显转为内隐。在过程维度,认知控制的介入程度会因情境改变和个体的主动调整而动态变化。例如执行意图(implementation intentions)这种情绪调节方式,它指在预先计划好“何时”、“如何”实现某种情绪调节目标后,个体形成“如果……就……”的执行模式,当条件满足时即自动执行以实现情绪调节目标(Gallo & Gollwitzer, 2007; Gallo et al., 2009; Webb et al., 2012),这一过程就是从受控过程到自动化过程的转变。此外,外部反馈或情境线索的变化还会导致某些习惯性执行的自动化过程向受控过程转变(Hikosaka & Isoda, 2010)。

因此,我们认为非常有必要在多维框架对内隐情绪调节二分类的基础上,将执行过程维度具有动态变化特征的内隐情绪调节单独划分为一类,本文称之为“内隐目标驱动的情绪调节”。这其中最典型的例子是内隐目标追求,后者常以启动(priming)的方式内隐地诱发情绪调节目标,实现无意识的情绪调节。

如图1B所示,本文依据调节过程的受控程度,将内隐情绪调节划分为:自动化内隐情绪调节(自动化为主),任务附加型内隐情绪调节(受控为主),和内隐目标驱动的情绪调节(可动态变化)。

### 3 内隐情绪调节的脑成像研究发现

多个情绪调节神经模型(Dixon et al., 2017; Etkin et al., 2015; Ochsner et al., 2012; Phillips et al., 2008; Rive et al., 2013; Silvers & Moreira, 2019; Smith & Lane, 2015)指出,情绪调节通过调控脑区对情绪生成脑区(杏仁核等)进行调控实现(莫李澄等, 2024a, 2024b)。调控脑区由认知控制脑区和自动化调节脑区组成。其中认知控制脑区包括辅助运动区,前辅助运动区和额顶控制网络,这后者又包括背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)、腹外侧前额叶(ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)和顶叶皮层。而自动化

调节脑区则包含腹侧前扣带回皮层(ventral anterior cingulate cortex)、腹内侧前额叶(ventral medial prefrontal cortex, VMPFC),海马(hippocampus)及海马旁回(para hippocampal gyrus)等区域。不同内隐情绪调节过程对认知控制的依赖程度存在差异(Braunstein et al., 2017),提示其所涉及的调节机制与神经通路的多样性。本节结合脑成像研究,探讨不同内隐情绪调节类型的认知神经机制。

#### 3.1 自动化的内隐情绪调节

自动化的内隐情绪调节不依赖明确的调节意图启动、不涉及主动的加工过程,情绪改变通常在经验学习和价值更新过程中发生(Braunstein et al., 2017; Etkin et al., 2015)。其特点和优势在于以不消耗认知资源的方式作用于情绪过程,无需调用注意和前额叶认知控制资源,从而减少了与客观情境或主观意志之间的潜在冲突,情绪调节发生得更“自然”,调节过程具有高度的适应性与稳定性,并能产生持久的调节效果。但缺点是缺乏意识监管,难以进行外部操纵,当此类内隐情绪调节发生障碍时,难以被识别和干预。

最为典型的例子就是恐惧消退,它指通过反复呈现习得的条件性恐惧刺激(conditioned stimulus, CS),但不再伴随电击、噪声等无条件刺激(unconditioned stimulus, US),使原有条件性恐惧反应逐步削弱甚至消除(Dunsmoor et al., 2015; Maren & Holmes, 2016; Zabik et al., 2023)。在此过程中,个体未对情绪进行有意识的操控,但他们对条件化刺激的情绪反应却被改变了(Velasco et al., 2019)。其认知机制是:当个体多次在安全环境中接触原先引发恐惧的线索而未遭遇任何伤害时,最初习得的“恐惧”联结会逐步减弱,取而代之形成新的安全记忆,从而在后续遇到同样线索时情绪反应显著降低。恐惧消退具有典型的抑制性学习特点。不同于直接消除原有记忆痕迹,消退更多被认为是形成了一个与最初恐惧记忆竞争的新记忆,个体学习到原先预测威胁的线索在当前情境下不再伴随危险。因此,消退后的CS-“安全”联结会与原有的CS-US恐惧联结并存,并在适当条件下抑制恐惧反应的表达(Kalisch et al., 2006)。这一抑制性过程处于内隐水平,无需意识参与。

除了恐惧消退,强化物重评估(reinforcer reevaluation)也属于自动化的内隐情绪调节。该过程通过改变刺激所关联结果的价值,从而间接改

变情绪反应。常见实验范式包括结果贬值(reinforcer devaluation)与结果夸大(reinforcer inflation)。在结果贬值实验中,个体先建立刺激-结果关联(如CS-食物),随后通过降低结果的情感价值(如引发厌恶或饱腹)来削弱对原刺激的反应。在结果夸大中,则通过提升结果显著性(如加大电击强度、增大奖励)来增强情绪反应。尽管个体并未主动调节情绪,但其对刺激的反应却因结果价值的更新而发生改变(Bouton, 2024; Morrison & Salzman, 2010)。因此,恐惧消退与强化物重评估作为自动化内隐情绪调节的两个典型,分别代表了负性情绪反应的“去条件化”和情绪价值的“重新编码”。这种通过反复施加刺激以达到对情绪性刺激的习惯化/适应的调节机制是跨物种存在的,具有高度适应性,是暴露疗法等临床干预的核心原理(Herrmann et al., 2017)。

从脑成像研究来看,自动化内隐情绪调节机制涉及多个关键脑区的协同作用,包括杏仁核、海马和VMPFC。首先,杏仁核在情绪表征的存储和情绪表达中起关键作用,例如在恐惧和强化物初始评估中存储CS与其他刺激的联结,并通过向下投射至脑干,驱动生理反应(Braunstein et al., 2017)。在恐惧消退过程中,杏仁核同样参与新的安全联结的学习(Li et al., 2011)。而VMPFC负责调控杏仁核活动并更新刺激的情绪价值(Motzkin et al., 2015; Roy et al., 2012)。不少研究发现VMPFC的活动会伴随恐惧消退而增生(Cremers et al., 2021; Gottfried & Dolan, 2004; Phelps et al., 2004; Wik et al., 1997)。例如,VMPFC在恐惧消退记忆的巩固和提取过程中发挥着重要作用,成功的恐惧消退后,当个体再次接触原先的威胁线索时,VMPFC的激活能促进对消退记忆(即安全记忆)的提取,从而抑制杏仁核的恐惧反应,降低个体的恐惧体验,且VMPFC的激活水平与杏仁核的反应强度呈负相关(Bukalo et al., 2015; Sotres-Bayon & Quirk, 2010)。与杏仁核不同,海马主要提供情境相关信息以调节情绪反应。例如在恐惧消退过程中,它编码消退发生的环境背景,从而使得对安全记忆的检索具有情境依赖性(Brown et al., 2025; Goode & Maren, 2019; Lonsdorf et al., 2014)。当个体处于与消退学习相同的情境时,海马激活能促进VMPFC对安全记忆网络的调用,成功抑制杏仁核启动恐惧反应;

但如果情境改变,海马对原情境的编码不再匹配,消退记忆的提取受阻,杏仁核对恐惧记忆的表达将再次占据上风,导致恐惧反应恢复(Kalisch et al., 2006)。实证研究支持了上述脑区间的互动模型:在消退回忆测试中,VMPFC与海马通常表现出正相关的同步激活,且这种网络激活水平越高,个体的恐惧抑制效果越好。相反,在恐惧恢复时则观察到杏仁核和海马活动增强并伴随VMPFC的活性减弱(Zabik et al., 2023)。

总之,自动化内隐情绪调节无需意识介入,也不依赖认知控制资源投入,而是通过反复的环境暴露,自发地改变情绪反应的情绪调节过程。在此过程中,个体并未主动调控情绪,但其情绪反应却得以有效抑制并长期维持,这凸显出该类调节形式在适应性、稳定性与能耗效率上的优势。从进化角度来看,这一机制是情绪系统在无意识层面由经验驱动的精微调控能力。因此,自动化内隐情绪调节不仅是一种低成本的调节方式,更可能代表情绪系统内源性调节能力的基本形态,对理解情绪调节的进化基础与设计临床干预方案具有理论价值。

### 3.2 任务附加型内隐情绪调节

与自动化调节相反,任务附加型内隐情绪调节需要依赖认知控制,此过程中情绪调节的实施并非出于特定的调节目标,而是在执行其他任务(如认知抑制、冲突监测或判断性操作)的过程中,通过激活自上而下的认知控制无意识地产生情绪反应的改变。这种“附带性的情绪调节”过程,其核心并不是有目的的调节情绪,而是情绪调节作为任务执行过程的副产品,展示出明显的任务依赖性和功能导向特征(Lieberman et al., 2007)。

典型的任务附加型内隐情绪调节出现在情绪标签(affective labeling)、情绪 Stroop 以及情绪 Go/No-go 任务中。在这些范式中,个体的目标和任务不是主动调节情绪,而是完成诸如快速反应、语义判断或抑制无关刺激等认知任务。例如,情绪标签任务要求被试针对当前呈现的负性图片内容,从两个词中选择一个更适合的词,也就是给当前经历的情绪打一个标签。在这些范式中,任务所携带或伴随的情绪性反应与任务目标无关,但会干扰任务表现(例如干扰语义加工或抑制控制),此时被任务激活的自上而下的前额叶认知控制系统,会对这些进行附带性调节。这种调

节既不是出于个体有意识的调节意图,也不以改变情绪为直接目标,而是在保证任务顺利完成的同时,通过自动压制或屏蔽干扰性情绪信息,实现一种资源优化的适应性调节过程。从适应性视角来看,当情绪刺激干扰认知任务时,调节过程作为一种隐性资源管理策略被动激活,从而实现情绪输入的快速过滤和功能性压制,其本质在于维持认知系统的稳定性和高效性,而非直接改变情绪状态。

脑成像研究发现,在情绪 Stroop 和情绪 Go/No-go 等范式中,个体需专注于任务本身(例如忽略情绪词汇并命名表情,或在看到恐惧面孔时做出按键反应),尽管任务目标并不涉及情绪调节意图,但却在任务执行中激活了 DLPFC、VLPFC 等认知控制相关脑区,这些脑区在完成认知任务的同时还附带调节了情绪反应脑区(Ochsner & Gross, 2005)。此外,语义判断类范式中也体现出类似的内隐情绪调节效应。例如,情绪标签任务要求个体在面对情绪面孔时选择合适的语义标签(如“恐惧”),尽管该任务不涉及显性的情绪调节目标,但标签选择过程本身已激活了 VLPFC 等认知控制脑区,因此可以有效抑制情绪反应,降低杏仁核活动和主观负性情绪体验(Burklund et al., 2015; Cohen & Lieberman, 2010; Kerns et al., 2004; Payer et al., 2012; Townsend et al., 2013)。因此,外侧前额叶对此类内隐情绪调节具有重要作用。

总之,当认知任务中包含与任务目标无关的情绪干扰信息时,任务本身激活的前额叶认知控制网络会以附带性的方式调节情绪反应。这一过程既确保了任务本身的顺利完成,同时又通过抑制杏仁核等情绪产生脑区的活动,有效改变了情绪反应。该内隐调控机制强调了情绪系统在服务更高阶认知目标时所展现出的资源优化与功能性抑制特征。

### 3.3 内隐目标驱动的情绪调节

与前两种明确的自动或受控的情绪调节不同,内隐目标驱动的情绪调节展现出从依赖认知控制到自动化执行之间动态切换的潜力。涉及到的认知机制主要是内隐目标的实现过程,当情绪调节目标被内隐植入/激发后,便可在无意识状态下影响后续对情绪刺激的加工方式,促使情绪反应朝向目标一致的方向转变,这一现象即被称为内隐

目标追求<sup>1</sup>。在目标维度,内隐目标驱动的情绪调节与外显受控情绪调节的区别在于,调节目标由外显转为内隐(Gyurak et al., 2011; Mauss et al., 2007b)。在过程维度,目标驱动的内隐情绪调节的发起和执行不依赖即时的有意识决策,无需持续调用认知资源,因此产生较少的认知负荷,同时又可通过控制情景等方式操纵其发生,与完全自动化的过程存在一定区别(Braunstein et al., 2017)。

最常见的内隐目标驱动方式是通过启动,激活情绪调节目标,诱发内隐目标追求过程。例如通过句子整理任务或词汇匹配任务,要求被试将一组打乱顺序的词组装为通顺的句子或从两个备选词中选择一个目标词的近义词,在这一过程中,个体在不具备明显调节意图的前提下,被动接触和加工与调节相关的语义线索(如“保持冷静”或“积极面对”),自动激活相应的调节目标,诱发后续的情绪调节。此外,内隐目标驱动的情绪调节可以在情绪产生的早期发挥作用。例如,在情绪刺激呈现之前短暂地启动调节相关线索,被试在情绪加工早期阶段即表现出神经反应的改变,例如,与面孔情绪加工相关的 N170 成分幅度明显增强(Liu et al., 2018),或与早期注意相关的 P1 成分幅度降低(高可翔等, 2023)。这些证据表明,内隐目标的启动在情绪反应完全形成前即已开始调节过程。

内隐目标驱动的情绪调节能在缺乏明显意图的前提下,根据被启动的调节目标,以低认知负荷的方式实现对情绪反应的调整。系列脑成像研究表明,这一过程既表现为情绪加工脑区的广泛抑制,也伴随调控相关脑区的选择性激活。例如,Zhang 等(2020)采用情绪调节语义启动范式考察社会性习得恐惧,发现在内隐调节条件下,杏仁核等情绪加工脑区的激活显著降低,而 DLPFC 和背侧前扣带回等执行控制脑区则未出现明显激活增强,表明内隐调节此时无需依赖高认知成本的执行控制实现。此外,Xie 等(2019)采用情绪调节词汇的阈下呈现范式发现,即使在仅 33 或 50 ms 的内隐启动条件下,情绪抑制词也能降低个体对负性刺激的情绪反应,且此时 DLPFC 与 VLPFC

<sup>1</sup> 注:早期研究并未将情绪调节目标和执行过程区分开,故有时又称为自动化目标追求(automatic goal pursuit; Custers & Aarts, 2010),本文已规范定义,称之为内隐目标追求。

的激活显著低于外显调节条件,表明内隐调节无需显著消耗认知资源即可实现有效调节。Wyczesany等(2021)则发现,当个体在无意识状态下被诱发出自我控制或重评目标后,负性情绪刺激引起的视觉皮层、杏仁核等情绪加工脑区的激活显著降低,表明情绪反应被有效抑制,同时,DLPFC等认知调控区域的活动增强,提示内隐目标也能通过认知控制通路实现对情绪的下调。而Wang等(2017)采用前置描述范式,在每张负性图片呈现前,会提前呈现一个以积极视角重新解释图片内容的语句,从而在无显性调节指令的前提下,内隐地诱发个体对即将呈现的负性信息进行认知重评。结果同样发现与负性描述条件相比,内隐情绪调节条件下DLPFC等调控脑区激活,伴随杏仁核激活减弱及前额叶和边缘系统间的负性功能连接增强,印证了内隐目标也可动员自上而下的调控通路以实现情绪调节。类似的,Zhang等(2021)使用前后掩蔽技术,仅以20 ms的时长呈现情绪调节目标词。结果发现,DLPFC激活增强,且激活水平与调节效果呈正相关,同时,在进行急性锻炼增强了DLPFC的激活之后,再次重复上述任务,内隐情绪调节的效果进一步增强。这种现象反映出内隐调节机制能根据外部环境和认知资源的动态变化灵活调整其调控策略,从而在不同情境下以最低成本实现最佳的情绪调节效果。

我们认为,内隐目标驱动的情绪调节是介于经典的“认知控制”与“自动化反应”二元划分(Braunstein et al., 2017)之间的情绪调节模式。该机制体现了情绪调节系统在进化过程中达成的一种适应性平衡优化——在资源有限的环境条件下,既能维持个体对情绪刺激的灵活应对,又能避免因持续占用认知资源而带来的高成本,并对外部情境和内部资源状态变化具有高度敏感性。这种兼具“目的性”与“自适应性”的动态运作模式不仅扩展了我们对情绪调节理论的传统认识,也揭示了人类情绪系统在复杂生态情境中长期适应压力环境、快速有效管理情绪反应的核心进化优势。

本节系统梳理了内隐情绪调节的认知神经机制,明确了自动化、任务附加型和目标驱动三种内隐调节所涉及的关键脑区和神经通路。最极端的,自动化的内隐情绪调节直接由VMPFC调控杏仁核,几乎不依赖外侧前额叶的认知控制功能,

相反,任务附加型情绪调节由外侧前额叶直接调控(Etkin et al., 2015)。介于这两类调节之间,内隐目标驱动的情绪调节可能同时涉及两类调控机制,并可能存在尚未被发掘的协调或切换机制。最近的一项外显情绪调节研究表明,受控的情绪调节首先激活DLPFC和VLPFC,然后由这两个脑区调用VMPFC,VMPFC随后调节杏仁核和其他情绪脑区的活动(He et al., 2023)。因此,我们认为VMPFC可能是内隐情绪调节的关键脑区,它通过不同的认知过程和神经通路分别参与上述三类内隐情绪调节和外显情绪调节。除了本节提及的脑成像证据,还有神经调控证据也支持我们的观点。

## 4 内隐情绪调节的神经调控研究发现

尽管脑成像研究深入阐明了内隐情绪调节所伴随的脑神经网络的活动模式,但如何揭示哪些脑区在内隐情绪调节发挥了因果作用?如何在临床中有效利用这些机制,例如通过调控相关脑区活动改善患者的情绪症状,是亟需探索的方向。

### 4.1 内隐情绪调节的因果脑区

自动化内隐情绪调节领域:已有研究通过经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)和经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)等无创神经调控技术考察了VMPFC在自动化内隐情绪调节中的核心作用。例如,有研究者联合使用fMRI和tDCS,发现激活VMPFC之后,tDCS组在观看负性视频时的负性情绪强度比tDCS对照组明显降低(Abend et al., 2019)。类似的,另一项研究用最后通牒游戏诱发愤怒情绪,发现激活VMPFC后,被试前脑岛等情绪体验脑区的活动显著降低,同时对不公平提议的接受率升高,主观愤怒感和攻击行为减少(Gilam et al., 2018)。同时,采用阳极tDCS或高频重复TMS激活VMPFC,能显著促进恐惧消退(Lei et al., 2024; Marković et al., 2021)。例如,Van't Wout等(2016, 2017)以及Vicario等(2020)采用阳极tDCS激活VMPFC,在健康被试和PTSD患者中均观察到恐惧消退的增强。Herrmann等(2017)对VMPFC施加高频重复TMS(10 Hz)以激活该脑区,然后通过虚拟现实技术采用暴露疗法治疗恐高症。结果发现,与TMS对照组相比,TMS组暴露疗法的效果得到了显著提高。此外,啮齿类动

物的研究同样表明,激活 VMPFC 的功能同源区域(亚区缘下皮层, *infralimbic cortex*)能促进恐惧消退(Marković et al., 2021)。除了将 VMPFC 作为内隐情绪调节的直接靶点,也有研究尝试调控与 VMPFC 存在功能连接的外侧皮层区域,从而在 VMPFC 产生基于连接的间接调控效果,进而调节杏仁核等的情绪反应。例如, Raij 等(2018)在条件性恐惧消退期间,使用 300 ms 在线 TMS (20 Hz) 激活左侧额叶皮层的特定区域,后者在先前研究中被证实与 VMPFC 存在显著功能连接,结果发现与对照组相比, TMS 组的恐惧消退效果增强。

**任务附加型内隐情绪调节领域:** 神经调控研究发现,即使无外显情绪调节目标,认知控制脑区的激活也能因果性提高情绪调节效果。例如, Cao 等(2018)采用连续 theta 节律 (continuous theta-burst stimulation, cTBS) 激活被试的右侧前额叶皮层,发现被试在情绪 Go/No-Go 任务中对积极情绪面孔的 alpha 功率显著下降。由于 alpha 频段通常是皮层抑制的指标,该结果表明被试的积极情绪增强<sup>2</sup>。Berpohl 等(2005, 2006)利用低频重复性 TMS 抑制 DLPFC,发现该操作干扰了情绪 Go/No-Go 任务中的行为控制表现,特别是在情绪信息和任务目标需要快速切换的条件下更为明显。近期, Lapate 等(2024)对外侧前额叶施加 cTBS,抑制该脑区的认知控制功能,发现任务附加型内隐情绪调节的效果减弱,负性情绪线索对 No-Go 任务的干扰显著增强。

**内隐目标驱动型情绪调节领域:** 神经调控研究分别关注了自动化情绪调节脑区和认知控制脑区。华艳等(2020)发现,通过阴极 tDCS 抑制左侧眶额叶后,在点探测任务中,由视觉掩蔽启动(启动词呈现 20 ms)情绪控制,内隐目标驱动引起的相关注意回避效应显著减弱,表明眶额叶对该过程的注意分配有因果作用。另有研究利用 tDCS 激活 VMPFC,发现句子整理任务启动的内隐重评效应显著提高,负性情绪反应明显下降(高可翔等, 2023; Gao et al., 2024)。类似的, Zhang, Chen 等(2023)采用 tDCS 激活右侧 DLPFC 与 VLPFC 后,发现由词汇匹配任务诱发的内隐目标驱动型情绪调节对负性情绪(主观评分和电生理指标)的调节效果显著增强。

由已有的神经调控研究可知, VMPFC 至少是两类内隐情绪调节的因果性脑区: 在自动化内隐调节中,它可以下调杏仁核的情绪反应; 在内隐目标驱动型调节中, VMPFC 兴奋性增强可显著提升内隐重评的效果。尽管在任务附加型内隐调节中,尚无神经调控研究直接考察 VMPFC 的作用,但已有证据表明,通过刺激外侧前额叶可通过功能连接间接调控 VMPFC (Lynch et al., 2022; Oathes et al., 2021; Raij et al., 2018; Sydnor et al., 2022), 且 VMPFC 在(同样高度依赖认知控制)的外显情绪调节中也发挥重要作用(Diekhof et al., 2011), 因此未来研究可以进一步考察 VMPFC 在受控内隐情绪调节中的作用。

#### 4.2 神经调控技术面临的挑战

尽管我们发现 VMPFC 对内隐情绪调节具有核心作用, 但将 VMPFC 作为无创脑刺激的治疗靶点却存在一定的解剖学和技术上的限制。首先 VMPFC 的解剖学位置为有效调控该脑区带来了挑战(Lopez-Persem et al., 2019; Mackey & Petrides, 2014)。VMPFC 位于大脑的较深处。由于脑组织对电流的衰减效应, 无创脑刺激技术对该脑区的调控效果总体来讲比较微弱(Drakaki et al., 2022; Saturnino et al., 2021)。同时由于施加无创脑刺激时也很难避免对浅层的外侧脑区施加(甚至更强的)电磁刺激, 因此也带来了脑区定位的聚焦性问题, 降低了由实验发现推断 VMPFC 因果性的力度。多通道的直流电刺激技术以及时域干涉技术可能是一种有前途的方法。前者通过对每对电极点通路上的电流强度进行分流, 提高了安全性的同时还可以提高电刺激的聚焦性。例如前文提到的 Zhang, Chen 等(2023), 即采用了多通道 tDCS 技术, 激活了右侧 DLPFC 与 VLPFC 区域, 发现了内隐目标驱动型情绪调节效果的增强; 同时上文提及的 Gao 等(2024)也使用聚焦优化的多通道 tDCS 激活了高特质焦虑个体的 VMPFC, 并提高了内隐情绪调节效果。此外, Sergiou 等(2022)通过使用小环形电极对 VMPFC 进行高精度 tDCS 激活, 将阳极电极放置在 VMPFC 上, 5 个返回电极在周围排列成一圈。结果发现该操作可以显著减少有物质依赖的暴力罪犯的暴力行为。目前尚未发现时域干涉技术在情绪调节研究中的应用。

总的来说, 神经调控技术在内隐情绪调节的干预研究中展现出可观的应用前景。但已有的神

<sup>2</sup> 注: cTBS 通常抑制皮层, 但该研究解读为激活皮层。

经调控技术主要针对外侧前额叶等皮层表面区域(Qiu et al., 2023)。未来的研究可以优化刺激深度和靶向精度(除了电刺激, 超声刺激也是新兴的有效技术), 进一步明确内隐情绪调节的认知神经机制, 并为临床实践提供有效的治疗方案。

## 5 内隐情绪调节对治疗抑郁和焦虑的启示

抑郁和焦虑作为两种最常见的情绪障碍, 以情绪调节异常为主要特征之一(Gross & Jazaieri, 2014; Zilverstand et al., 2017)。抑郁症患者长期沉浸在消极情绪中, 表现出快感缺失(Joormann & Stanton, 2016; Liu & Thompson, 2017); 焦虑症患者则长期处于高度的负性情绪唤醒状态, 并表现出对压力的过度敏感(Elwood et al., 2012)。抑郁和焦虑症患者难以通过外显情绪调节, 特别是认知重评下调负性情绪体验(Heller et al., 2009; Urry et al., 2009)。造成这些患者外显情绪调节困难的主要原因在于, 他们不但认知资源和执行控制功能受到了损害, 而且他们的情绪调节神经环路受损、情绪调节脑区功能连接异常(Park et al., 2019)。

因此我们认为本文提出的三类内隐情绪调节可能对抑郁和焦虑人群具有优势。首先, 自动化的内隐调节过程不需要意识参与即可降低情绪反应, 这对于缓解焦虑症患者的过度恐惧和过高生理唤醒非常有利, 同样的, 此类自动化过程也可在不占用前额叶认知资源的情况下缓解抑郁症患者的消极情绪。其次, 任务附加型的内隐调节在个体执行其他认知任务时附带发生, 这适合认知资源受限、调节动机不足的抑郁个体调节情绪。我们可以设计合理的任务情境, 间接激活情绪调节网络, 实现在无意图条件下的情绪改善。最后, 我们还可以通过无意识地激活积极的情绪调节目标(例如潜移默化地启动“积极重评”), 使难以主动执行的情绪调节策略以内隐的方式进行。

### 5.1 内隐情绪调节对抑郁的启示

抑郁症状(特别是持久的消极思维)会大量占用认知资源, 削弱患者的执行功能、记忆和注意力(Joormann & Quinn, 2014; Quinn et al., 2018; Rock et al., 2014; Snyder, 2013; Vilgis et al., 2015)。抑郁症患者在外显下调负性情绪期间表现出外侧前额叶激活不足, 而杏仁核过度激活(Joormann & Stanton, 2016; Liu & Thompson,

2017)。外侧前额叶的激活降低提示认知控制能力的缺陷, 杏仁核的过激活则反映了外显情绪调节的失败(Zilverstand et al., 2017)。值得关注的是, 有研究同时考察了抑郁症患者使用内隐和外显情绪调节应对挫折情绪的效果, 发现相比于健康被试, 患者使用外显认知重评(通过指导语要求被试以更积极的角度解释当前情境)改善负性情绪的能力显著降低; 而使用词汇匹配任务诱发患者的内隐认知重评, 该内隐目标驱动的情绪调节效果则与健康被试无明显差异(Yuan et al., 2022)。因此, 内隐情绪调节为抑郁症的治疗提供了新的思路: 较少消耗认知控制资源和较少依赖认知控制功能的内隐情绪调节类型(Mauss, et al., 2007a; Yang et al., 2015; Yuan et al., 2019), 在认知资源有限的抑郁患者中可能会发挥重要作用。

### 5.2 内隐情绪调节对焦虑的启示

焦虑个体长期的过度警觉会导致自上而下控制能力的受损以及认知资源的不足。控制能力的缺陷使得患者难以顺利实施诸如认知重评等耗费认知资源的外显情绪调节(Calhoon & Tye, 2015; Ironside et al., 2019; Kenwood et al., 2022; Pruessner et al., 2020; Troy et al., 2018)。同时, 焦虑障碍患者表现出与情绪反应有关的边缘系统过度敏感和前额叶调控脑区功能减弱的双重特征(Brandl et al., 2022; Brändle et al., 2020; Calhoon & Tye, 2015; Hiser & Koenigs, 2018)。高特质焦虑个体在执行情绪 Go/No-go 任务时, 情绪状态难以迅速恢复, 表明焦虑可能削弱了认知控制对情绪的抑制和内隐性调节(Liu et al., 2018)。Wang 等(2021)发现, 惊恐障碍患者在观看负性图片前, 如接受积极暗示(植入内隐情绪调节的目标), 并不能像健康对照组那样有效减弱主观负性情绪和杏仁核活动, 这种内隐情绪调节的失效与 DLPFC 和 VLPFC 激活不足呈正相关。同样地, 广泛性焦虑患者在使用同样范式诱发的内隐目标追求过程中也显示出眶额叶等前额叶的激活减弱(Wang et al., 2024)。这些结果提示, 焦虑障碍影响了执行控制脑区的正常运作, 使患者即便在内隐层面也难以调节情绪反应。

我们认为, 上述证据并不能否认内隐情绪调节的价值, 而是强调了针对焦虑症的治疗应进一步根据患者脑神经和功能的损伤探索和细化对策。在大多数情况下, 焦虑症患者的内隐情绪调

节功能仍可发挥作用。例如,通过内隐暴露逐渐让患者无意识地接触恐惧刺激(例如在不触发强烈主观恐惧的前提下呈现相关线索),可以减少患者的回避行为,达到类似脱敏暴露疗法的效果(Oyarzún et al., 2019)。类似的,上文提及的 Gao 等(2024)的研究发现,在通过句子整理任务启动的内隐认知重评目标追求中,高特质焦虑个体可以有效使用该内隐情绪调节方式降低负面情绪,且此过程较少依赖前额叶认知控制系统。因此未来研究应关注不同焦虑症患者内隐情绪调节功能受损的具体机制,并据此制定有针对性的干预策略。

综上所述,内隐情绪调节因其低认知资源依赖性和高度适应性,在抑郁和焦虑等资源受限人群的治疗中展现出了巨大潜力。一方面,神经调控技术可以直接针对内隐调节的关键脑区(VMPFC等)进行靶向干预,提高调控脑区对杏仁核等情绪生成脑区的调节能力。另一方面,我们可以借助内隐训练范式,内化情绪调节目标,加强患者的内隐调节技能(Hopp et al., 2011; Zhang, Li, et al., 2023)。可以预见,随着对内隐情绪调节机制及其临床应用的进一步探索,以内隐情绪调节为导向的干预策略将为抑郁和焦虑的临床治疗提供全新的思路和契机。

## 6 总结与展望

综上所述,内隐情绪调节作为情绪调节的重要形式,呈现出多样化的认知神经机制,对抑郁和焦虑等情绪障碍患者的治疗具有潜在的重要价值。相较于具有明显调节意图和需要主动努力的外显情绪调节,内隐情绪调节具有更高的自动性和更低的认知负荷。我们认为,内隐情绪调节代表了情绪系统的一种适应性优化,体现出人类在进化过程中形成的“自然而流畅的”情绪管理能力,即使在意识未介入的情况下,情绪反应也能被适当地调整,从而避免了持续高强度认知控制的高耗能,随时维护机体的情绪稳定和功能效率。本文的主要理论贡献是,我们提出了内隐情绪调节的三分类框架,首次定义了内隐目标驱动的情绪调节种类。这种内隐情绪调节方式对认知控制的依赖更加灵活,体现了情绪调节过程的动态调整能力。需要指出的是,内隐情绪调节也有局限性:由于其过程缺乏意识参与,个体难以主动察觉和

即时调整内隐过程,当内隐调节机制本身出现缺陷或偏差(例如消极偏向的自动思维)时,纠正和干预也相对困难。因此在使用或训练过程中,我们应权衡内隐情绪调节的优势和局限性,并将其视为对外显情绪调节的有益补充,共同帮助我们提高情绪调节能力、维持心理健康。

未来,内隐情绪调节领域还有若干值得深入探讨的方向。首先,理论层面还需进一步揭示情绪调节在调节目标和执行过程两个维度上的动态变化规律。例如,控制其中一个维度不变,改变另一个维度,情绪调节的认知神经机制将会发生怎样的变化?能否产生新的临床干预方法?同一维度中极端的两类调节方式之间存在竞争还是协同的关系?同一维度中,不同类调节方式的切换是如何发生的,能否操纵?同一脑区在不同的情绪调节类型中是否发挥相同的作用?例如,在外显受控和任务附带型内隐情绪调节中,外侧前额叶的作用是否相同?

其次,鉴于内隐情绪调节过程快速且涉及多脑区,采用多模态脑成像手段将是重要方向。例如,可以结合 fMRI 与脑电同步记录,以同时获得高空间分辨率和高时间分辨率的数据,从而动态描绘内隐调节的神经机制。此外,应更多地将神经调控技术融入研究范式,选择性改变特定脑区的兴奋性(例如增强 VMPFC 或抑制 DLPFC 的活动),观察对内隐调节效果的影响,可直接检验这些区域在内隐情绪调节中的因果性作用。

再者,以发展的眼光探索内隐情绪调节的适用范围。现有研究多集中于健康成人,而不同人群和特殊群体的内隐情绪调节特征尚未明了。因此,未来应考虑在更广泛的人群中检验内隐情绪调节的作用。例如,在青少年群体中考察内隐调节对青春期情绪波动的作用,揭示不同发育阶段的大脑如何运用内隐情绪调节改善情绪;又如,在老年群体中探讨内隐情绪调节是否可作为补偿认知老化的一种情绪调节方式,帮助和引导老年人维持积极情绪。

最后,针对临床群体开发更加简单易行、适合不同患者的情绪调节治疗方案。未来可探索个性化的神经调控治疗方案,例如依据患者的脑成像特征来定位并靶向调控特定脑区(例如针对低 VMPFC 功能的患者实施个性化脑调控以增强其内隐情绪调节能力)。与此同时,开发专门的内隐

情绪调节训练范式也是值得努力的方向。如何通过短期练习使某些情绪调节策略高效内化为自动反应?同时,临床研究还应关注本综述提及的抑郁和焦虑之外的广泛群体,包括创伤后应激障碍、双相情感障碍、自闭谱系障碍等,探索患者的内隐情绪调节功能是否存在特殊模式或缺陷,并据此助力临床治疗的优化。

## 参考文献

- 高可翔,张岳瑶,李思瑾,袁加锦,李红,张丹丹.(2023).腹内侧面额叶在内隐认知重评中的因果作用. *心理学报*, 55(2), 210–223.
- 华艳,李明霞,王巧婷,冯彩霞,张晶.(2020).左侧眶额皮层在自动情绪调节下注意选择中的作用:来自经颅直流电刺激的证据. *心理学报*, 52(9), 1048–1056.
- 莫李澄,郭田友,张岳瑶,徐锋,张丹丹.(2021).激活右腹外侧前额叶提高抑郁症患者对社会疼痛的情绪调节能力:一项TMS研究. *心理学报*, 53(5), 494–504
- 莫李澄,李思瑾,张丹丹.(2024b).社会疼痛情绪调节的神经机制. *心理科学*, 47(3), 530–537.
- 莫李澄,李宜伟,张丹丹.(2024a).社会疼痛情绪调节的认知神经机制:现状及展望. *应用心理学*, 30(1), 33–43.
- 张丹丹,李思瑾.(2024).情绪调节的神经环路及其在情绪障碍人群中的表现. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 47(3), 285–293.
- Abend, R., Sar-el, R., Gonen, T., Jalon, I., Vaisvaser, S., Bar-Haim, Y., & Hendler, T. (2019). Modulating emotional experience using electrical stimulation of the medial-prefrontal cortex: A preliminary tDCS-fMRI study. *Neuromodulation*, 22(8), 884–893. <https://doi.org/10.1111/ner.12787>
- Aldao, A., Nolen-Hoeksema, S., & Schweizer, S. (2010). Emotion-regulation strategies across psychopathology: A meta-analytic review. *Clinical Psychology Review*, 30(2), 217–237. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.004>
- Bermpohl, F., Fregni, F., Boggio, P. S., Thut, G., Northoff, G., Otachi, P. T., ... Pascual-Leone, A. (2005). Left prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation impairs performance in affective go/no-go task. *Neuroreport*, 16(6), 615–619. <https://doi.org/10.1097/00001756-200504250-00020>
- Bermpohl, F., Fregni, F., Boggio, P. S., Thut, G., Northoff, G., Otachi, P. T. M., ... Pascual-Leone, A. (2006). Effect of low-frequency transcranial magnetic stimulation on an affective go/no-go task in patients with major depression: Role of stimulation site and depression severity. *Psychiatry Research*, 141(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2005.07.018>
- Bouton, M. E. (2024). Habit and persistence. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 121(1), 88–96. <https://doi.org/10.1002/jeab.894>
- Brandl, F., Weise, B., Mulej Bratec, S., Jassim, N., Hoffmann Ayala, D., Bertram, T., Ploner, M., & Sorg, C. (2022). Common and specific large-scale brain changes in major depressive disorder, anxiety disorders, and chronic pain: A transdiagnostic multimodal meta-analysis of structural and functional MRI studies. *Neuropsychopharmacology*, 47(5), 1071–1080. <https://doi.org/10.1038/s41386-022-01271-y>
- Brändle, F., Wu, C. M., & Schulz, E. (2020). What are we curious about? *Trends in Cognitive Sciences*, 24(9), 685–687. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.05.010>
- Braunstein, L. M., Gross, J. J., & Ochsner, K. N. (2017). Explicit and implicit emotion regulation: A multi-level framework. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(10), 1545–1557. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx096>
- Brown, E. C., Artigas, S. O., Elsner, S., Liu, L., & Park, S. Q. (2025). Utilizing rewards to dampen fear and its recovery. *Scientific Reports*, 15(1), 17671. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99758-3>
- Bukalo, O., Pinard, C. R., Silverstein, S., Brehm, C., Hartley, N. D., Whittle, N., ... Holmes, A. (2015). Prefrontal inputs to the amygdala instruct fear extinction memory formation. *Science Advances*, 1(6), e1500251. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500251>
- Burklund, L. J., Craske, M. G., Taylor, S. E., & Lieberman, M. D. (2015). Altered emotion regulation capacity in social phobia as a function of comorbidity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(2), 199–208. <https://doi.org/10.1093/scan/nsu058>
- Calhoun, G. G., & Tye, K. M. (2015). Resolving the neural circuits of anxiety. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1394–1404. <https://doi.org/10.1038/nn.4101>
- Cao, D., Li, Y., Niznikiewicz, M. A., Tang, Y., & Wang, J. (2018). The theta burst transcranial magnetic stimulation over the right PFC affects electroencephalogram oscillation during emotional processing. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 82, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2017.12.005>
- Cohen, J. R., & Lieberman, M. D. (2010). The common neural basis of exerting self-control in multiple domains. In R. Hassin et al. (Eds.) *Self control in society, mind, and brain* (pp. 141–162). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195391381.003.0008>
- Cremers, H., Keedy, S., & Coccaro, E. (2021). The development of an fMRI protocol to investigate vmPFC network functioning underlying the generalization of behavioral control. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 307, 111197. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.111197>
- Custers, R., & Aarts, H. (2010). The unconscious will: How the pursuit of goals operates outside of conscious awareness. *Science*, 329(5987), 47–50. <https://doi.org/10.1126/science.1188595>
- Dalton, S. D. P., Cooper, H., Jennings, B., & Cheeta, S. (2025). The empirical status of implicit emotion regulation in mood and anxiety disorders: A meta-analytic review. *Journal of Affective Disorders*, 380, 256–269. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2025.03.118>

- Diekhof, E. K., Geier, K., Falkai, P., & Gruber, O. (2011). Fear is only as deep as the mind allows: A coordinate-based meta-analysis of neuroimaging studies on the regulation of negative affect. *NeuroImage*, *58*(1), 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.073>
- Dixon, M. L., Thiruchselvam, R., Todd, R., & Christoff, K. (2017). Emotion and the prefrontal cortex: An integrative review. *Psychological Bulletin*, *143*(10), 1033–1081. <https://doi.org/10.1037/bul0000096>
- Drakaki, M., Mathiesen, C., Siebner, H. R., Madsen, K., & Thielscher, A. (2022). Database of 25 validated coil models for electric field simulations for TMS. *Brain Stimulation*, *15*(3), 697–706. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.04.017>
- Dunsmoor, J. E., Niv, Y., Daw, N., & Phelps, E. A. (2015). Rethinking extinction. *Neuron*, *88*(1), 47–63. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.028>
- Elwood, L. S., Wolitzky-Taylor, K., & Olatunji, B. O. (2012). Measurement of anxious traits: A contemporary review and synthesis. *Anxiety, Stress and Coping*, *25*(6), 647–666. <https://doi.org/10.1080/10615806.2011.582949>
- Etkin, A., Büchel, C., & Gross, J. J. (2015). The neural bases of emotion regulation. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(11), 693–700. <https://doi.org/10.1038/nrn4044>
- Ferri, J., Schmidt, J., Hajcak, G., & Canli, T. (2016). Emotion regulation and amygdala-precuneus connectivity: Focusing on attentional deployment. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *16*(6), 991–1002. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0447-y>
- Gallo, I. S., & Gollwitzer, P. M. (2007). Implementation intentions: Control of fear despite cognitive load. *Psicothema*, *19*(2), 280–285.
- Gallo, I. S., Keil, A., McCulloch, K. C., Rockstroh, B., & Gollwitzer, P. M. (2009). Strategic automation of emotion regulation. *Journal of Personality and Social Psychology*, *96*(1), 11–31. <https://doi.org/10.1037/a0013460>
- Gao, K., Wong, A. B., Li, S., Zhang, Y., & Zhang, D. (2024). The ventromedial prefrontal cortex plays an important role in implicit emotion regulation: A focality-optimized multichannel tDCS study in anxiety individuals. *Human Brain Mapping*, *45*(13), e26812. <https://doi.org/10.1002/hbm.26812>
- Gao, W., Yan, X., & Yuan, J. (2022). Neural correlations between cognitive deficits and emotion regulation strategies: understanding emotion dysregulation in depression from the perspective of cognitive control and cognitive biases. *Psychoradiology*, *2*(3), 86–99. <https://doi.org/10.1093/psyrad/kkac014>
- Gilam, G., Abend, R., Gurevitch, G., Erdman, A., Baker, H., Ben-Zion, Z., & Hendler, T. (2018). Attenuating anger and aggression with neuromodulation of the vmPFC: A simultaneous tDCS-fMRI study. *Cortex*, *109*, 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.09.010>
- Goode, T. D., & Maren, S. (2019). Common neurocircuitry mediating drug and fear relapse in preclinical models. *Psychopharmacology*, *236*(1), 415–437. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-5024-3>
- Gottfried, J. A., & Dolan, R. J. (2004). Human orbitofrontal cortex mediates extinction learning while accessing conditioned representations of value. *Nature Neuroscience*, *7*(10), 1144–1152. <https://doi.org/10.1038/nn1314>
- Gross, J. J. (2015). The extended process model of emotion regulation: Elaborations, applications, and future directions. *Psychological Inquiry*, *26*(1), 130–137. <https://doi.org/10.1080/1047840X.2015.989751>
- Gross, J. J., & Jazaieri, H. (2014). Emotion, emotion regulation, and psychopathology: An affective science perspective. *Clinical Psychological Science*, *2*(4), 387–401. <https://doi.org/10.1177/2167702614536164>
- Gross, J. J., & John, O. P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: Implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, *85*(2), 348–362. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.2.348>
- Gyurak, A., Gross, J. J., & Etkin, A. (2011). Explicit and implicit emotion regulation: A dual-process framework. *Cognition and Emotion*, *25*(3), 400–412. <https://doi.org/10.1080/02699931003782614>
- He, Z., Li, S., Mo, L., Zheng, Z., Li, Y., Li, H., & Zhang, D. (2023). The VLPFC-engaged voluntary emotion regulation: Combined TMS-fMRI evidence for the neural circuit of cognitive reappraisal. *Journal of Neuroscience*, *43*(34), 6046–6060. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1337-22.2023>
- Heller, A. S., Johnstone, T., Shackman, A. J., Light, S. N., Peterson, M. J., Kolden, G. G., Kalin, N. H., & Davidson, R. J. (2009). Reduced capacity to sustain positive emotion in major depression reflects diminished maintenance of fronto-striatal brain activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *106*(52), 22445–22450. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910651106>
- Herrmann, M. J., Katzorke, A., Busch, Y., Gromer, D., Polak, T., Pauli, P., & Deckert, J. (2017). Medial prefrontal cortex stimulation accelerates therapy response of exposure therapy in acrophobia. *Brain Stimulation*, *10*(2), 291–297. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.11.007>
- Hikosaka, O., & Isoda, M. (2010). Switching from automatic to controlled behavior: Cortico-basal ganglia mechanisms. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(4), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.006>
- Hiser, J., & Koenigs, M. (2018). The multifaceted role of the ventromedial prefrontal cortex in emotion, decision making, social cognition, and psychopathology. *Biological Psychiatry*, *83*(8), 638–647. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2017.10.030>
- Hopp, H., Troy, A. S., & Mauss, I. B. (2011). The unconscious pursuit of emotion regulation: Implications for psychological health. *Cognition and Emotion*, *25*(3), 532–545. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.532606>
- Ironside, M., Browning, M., Ansari, T. L., Harvey, C. J., Sekyi-Djan, M. N., Bishop, S. J., Harmer, C. J., & O’Shea,

- J. (2019). Effect of prefrontal cortex stimulation on regulation of amygdala response to threat in individuals with trait anxiety: A randomized clinical trial. *JAMA Psychiatry*, *76*(1), 71–78. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2018.2172>
- Joormann, J., & Quinn, M. E. (2014). Cognitive processes and emotion regulation in depression. *Depression and Anxiety*, *31*(4), 308–315. <https://doi.org/10.1002/da.22264>
- Joormann, J., & Stanton, C. H. (2016). Examining emotion regulation in depression: A review and future directions. *Behaviour Research and Therapy*, *86*, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.07.007>
- Kalisch, R., Korenfeld, E., Stephan, K. E., Weiskopf, N., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Context-dependent human extinction memory is mediated by a ventromedial prefrontal and hippocampal network. *Journal of Neuroscience*, *26*(37), 9503–9511. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2021-06.2006>
- Kenwood, M. M., Kalin, N. H., & Barbas, H. (2022). The prefrontal cortex, pathological anxiety, and anxiety disorders. *Neuropsychopharmacology*, *47*(1), 260–275. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01109-z>
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald III, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, *303*(5660), 1023–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1089910>
- Konrad, A. C., Miu, A. C., Trautmann, S., & Kanske, P. (2025). Neural correlates and plasticity of explicit emotion regulation following the experience of trauma. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *19*, 1523035. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2025.1523035>
- Koole, S. L., & Rothermund, K. (2011). “I feel better but I don’t know why”: The psychology of implicit emotion regulation. *Cognition and Emotion*, *25*(3), 389–399. <https://doi.org/10.1080/02699931.2010.550505>
- Koole, S. L., Webb, T. L., & Sheeran, P. L. (2015). Implicit emotion regulation: Feeling better without knowing why. *Current Opinion in Psychology*, *3*, 6–10. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2014.12.027>
- Lapate, R. C., Heckner, M. K., Phan, A. T., Tambini, A., & D’Esposito, M. (2024). Information-based TMS to mid-lateral prefrontal cortex disrupts action goals during emotional processing. *Nature Communications*, *15*(1), 4294. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48015-8>
- Lei, L., Lai, C. S., Lee, T. M., & Lam, C. L. (2024). The effect of transcranial direct current and magnetic stimulation on fear extinction and return of fear: A meta-analysis and systematic review. *Journal of Affective Disorders*, *362*, 263–286. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.06.060>
- Li, J., Schiller, D., Schoenbaum, G., Phelps, E. A., & Daw, N. D. (2011). Differential roles of human striatum and amygdala in associative learning. *Nature Neuroscience*, *14*(10), 1250–1252. <https://doi.org/10.1038/nn.2904>
- Li, S., Cao, X., Li, Y., Tang, Y., Cheng, S., & Zhang, D. (2024). Enhancing ventrolateral prefrontal cortex activation mitigates social pain and modifies subsequent social attitudes: Insights from TMS and fMRI. *NeuroImage*, *292*, 120620. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2024.120620>
- Li, S., Chen, J., Gao, K., Xu, F., & Zhang, D. (2023). Excitatory brain stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex enhances voluntary distraction in depressed patients. *Psychological Medicine*, *53*(14), 6646–6655. <https://doi.org/10.1017/S0033291723000028>
- Li, Y., Li, S., Li, H., Tang, Y., & Zhang, D. (2025). fNIRS neurofeedback facilitates emotion regulation: Exploring individual differences over the ventrolateral prefrontal cortex. *NeuroImage*, *308*, 121079. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121079>
- Lieberman, M. D., Eisenberger, N. I., Crockett, M. J., Tom, S. M., Pfeifer, J. H., & Way, B. M. (2007). Putting feelings into words. *Psychological Science*, *18*(5), 421–428. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01916.x>
- Lincoln, T. M., Schulze, L., & Renneberg, B. (2022). The role of emotion regulation in the characterization, development and treatment of psychopathology. *Nature Reviews Psychology*, *1*(5), 272–286. <https://doi.org/10.1038/s44159-022-00040-4>
- Liu, B., Wang, Y., & Li, X. (2018). Implicit emotion regulation deficits in trait anxiety: An ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 382. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00382>
- Liu, D. Y., & Thompson, R. J. (2017). Selection and implementation of emotion regulation strategies in major depressive disorder: An integrative review. *Clinical Psychology Review*, *57*(10), 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2017.07.004>
- Lonsdorf, T. B., Haaker, J., & Kalisch, R. (2014). Long-term expression of human contextual fear and extinction memories involves amygdala, hippocampus and ventromedial prefrontal cortex: A reinstatement study in two independent samples. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *9*(12), 1973–1983. <https://doi.org/10.1093/scan/nsu018>
- Lopez-Perssem, A., Verhagen, L., Amiez, C., Petrides, M., & Sallet, J. (2019). The human ventromedial prefrontal cortex: Sulcal morphology and its influence on functional organization. *Journal of Neuroscience*, *39*(19), 3627–3639. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2060-18.2019>
- Lynch, C. J., Elbau, I. G., Ng, T. H., Wolk, D., Zhu, S., Ayaz, A., ... Liston, C. (2022). Automated optimization of TMS coil placement for personalized functional network engagement. *Neuron*, *110*(20), 3263–3277.e4. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.08.012>
- Mackey, S., & Petrides, M. (2014). Architecture and morphology of the human ventromedial prefrontal cortex. *European Journal of Neuroscience*, *40*(5), 2777–2796. <https://doi.org/10.1111/ejn.12654>
- Maren, S., & Holmes, A. (2016). Stress and fear extinction. *Neuropsychopharmacology*, *41*(1), 58–79. <https://doi.org/>

- 10.1038/npp.2015.180
- Marković, V., Vicario, C. M., Yavari, F., Salehinejad, M. A., & Nitsche, M. A. (2021). A systematic review on the effect of transcranial direct current and magnetic stimulation on fear memory and extinction. *Frontiers in Human Neuroscience, 15*, 655947. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.655947>
- Mauss, I. B., Bunge, S. A., & Gross, J. J. (2007a). Automatic emotion regulation. *Social and Personality Psychology Compass, 1*(1), 146–167. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2007.00005.x>
- Mauss, I. B., Cook, C. L., & Gross, J. J. (2007b). Automatic emotion regulation during anger provocation. *Journal of Experimental Social Psychology, 43*(5), 698–711. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2006.07.003>
- Morrison, S. E., & Salzman, C. D. (2010). Re-valuing the amygdala. *Current Opinion in Neurobiology, 20*(2), 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.007>
- Motzkin, J. C., Philippi, C. L., Wolf, R. C., Baskaya, M. K., & Koenigs, M. (2015). Ventromedial prefrontal cortex is critical for the regulation of amygdala activity in humans. *Biological Psychiatry, 77*(3), 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.02.014>
- Oathes, D. J., Zimmerman, J. P., Duprat, R., Japp, S. S., Scully, M., Rosenberg, B. M., ... Linn, K. A. (2021). Resting fMRI-guided TMS results in subcortical and brain network modulation indexed by interleaved TMS/fMRI. *Experimental Brain Research, 239*(4), 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06036-5>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotion. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(5), 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.03.010>
- Ochsner, K. N., Silvers, J. A., & Buhle, J. T. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: A synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1251*(1), E1–E24. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x>
- Oyarzún, J. P., Cámara, E., Kouider, S., Fuentemilla, L., & de Diego-Balaguer, R. (2019). Implicit but not explicit extinction to threat-conditioned stimulus prevents spontaneous recovery of threat-potentiated startle responses in humans. *Brain and Behavior, 9*(1), e01157. <https://doi.org/10.1002/brb3.1157>
- Park, C., Rosenblat, J. D., Lee, Y., Pan, Z., Cao, B., Iacobucci, M., & McIntyre, R. S. (2019). The neural systems of emotion regulation and abnormalities in major depressive disorder. *Behavioural Brain Research, 367*(4), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.04.002>
- Payer, D. E., Baicy, K., Lieberman, M. D., & London, E. D. (2012). Overlapping neural substrates between intentional and incidental down-regulation of negative emotions. *Emotion, 12*(2), 229–235. <https://doi.org/10.1037/a0027421>
- Phelps, E. A., Delgado, M. R., Nearing, K. I., & LeDoux, J. E. (2004). Extinction learning in humans: Role of the amygdala and vmPFC. *Neuron, 43*(6), 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.08.042>
- Phillips, M. L., Ladouceur, C., & Drevets, W. C. (2008). A neural model of voluntary and automatic emotion regulation: Implications for understanding the pathophysiology and neurodevelopment of bipolar disorder. *Molecular Psychiatry, 13*(9), 833–857. <https://doi.org/10.1038/mp.2008.65>
- Pruessner, L., Barnow, S., Holt, D. V., Joormann, J., & Schulze, K. (2020). A cognitive control framework for understanding emotion regulation flexibility. *Emotion, 20*(1), 21–29. <https://doi.org/10.1037/emo0000658>
- Qiu, X., He, Z., Cao, X., & Zhang, D. (2023). Transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation affect explicit but not implicit emotion regulation: A meta-analysis. *Behavioral and Brain Functions, 19*(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s12993-023-00217-8>
- Quinn, M. E., Stange, J. P., Jenkins, L. M., Corwin, S., DelDonno, S. R., Bessette, K. L., Welsh, R. C., & Langenecker, S. A. (2018). Cognitive control and network disruption in remitted depression: A correlate of childhood adversity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 13*(10), 1081–1090. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy077>
- Raij, T., Nummenmaa, A., Marin, M. F., Porter, D., Furtak, S., Setsompop, K., & Milad, M. R. (2018). Prefrontal cortex stimulation enhances fear extinction memory in humans. *Biological Psychiatry, 84*(2), 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2017.10.022>
- Rive, M. M., Van Rooijen, G., Veltman, D. J., Phillips, M. L., Schene, A. H., & Ruhé, H. G. (2013). Neural correlates of dysfunctional emotion regulation in major depressive disorder. A systematic review of neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 37*(10), 2529–2553. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.018>
- Rock, P. L., Roiser, J. P., Riedel, W. J., & Blackwell, A. D. (2014). Cognitive impairment in depression: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Medicine, 44*(10), 2029–2040. <https://doi.org/10.1017/S0033291713002535>
- Roy, M., Shohamy, D., & Wager, T. D. (2012). Ventromedial prefrontal-subcortical systems and the generation of affective meaning. *Trends in Cognitive Sciences, 16*(3), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.01.005>
- Saturnino, G. B., Madsen, K. H., & Thielscher, A. (2021). Optimizing the electric field strength in multiple targets for multichannel transcranial electric stimulation. *Journal of Neural Engineering, 18*(1), 014001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/abca15>
- Sergiou, C. S., Santarnecchi, E., Romanella, S. M., Wieser, M. J., Franken, I. H. A., Rassin, E. G. C., & van Dongen, J. D. M. (2022). Transcranial direct current stimulation targeting the ventromedial prefrontal cortex reduces reactive aggression and modulates electrophysiological responses in a forensic population. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging, 7*(1), 95–107.

- <https://doi.org/10.1016/j.bpsc.2021.05.007>
- Silvers, J. A., & Moreira, J. F. G. (2019). Capacity and tendency: A neuroscientific framework for the study of emotion regulation. *Neuroscience Letters*, 693, 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.09.017>
- Smith, R., & Lane, R. D. (2015). The neural basis of one's own conscious and unconscious emotional states. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 57, 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.003>
- Snyder, H. R. (2013). Major depressive disorder is associated with broad impairments on neuropsychological measures of executive function: A meta-analysis and review. *Psychological Bulletin*, 139(1), 81–132. <https://doi.org/10.1037/a0028727>
- Sotres-Bayon, F., & Quirk, G. J. (2010). Prefrontal control of fear: More than just extinction. *Current Opinion in Neurobiology*, 20(2), 231–235. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.005>
- Sydnor, V. J., Cieslak, M., Duprat, R., Deluigi, J., Flounders, M. W., Long, H., ... Oathes, D. J. (2022). Cortical-subcortical structural connections support transcranial magnetic stimulation engagement of the amygdala. *Science Advances*, 8(25), 1–14. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abn5803>
- Tang, Y., Mo, L., Peng, Z., Li, Y., & Zhang, D. (2025). Causal enhancement of cognitive reappraisal through synchronized dorsolateral and ventrolateral prefrontal cortex activity. *Emotion*. Advance online publication, 25(6), 1418–1428. <https://doi.org/10.1037/emo0001507>
- Townsend, J. D., Torrisi, S. J., Lieberman, M. D., Sugar, C. A., Bookheimer, S. Y., & Altschuler, L. L. (2013). Frontal-amygdala connectivity alterations during emotion downregulation in bipolar I disorder. *Biological Psychiatry*, 73(2), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.06.030>
- Troy, A. S., Shallcross, A. J., Brunner, A., Friedman, R., & Jones, M. C. (2018). Cognitive reappraisal and acceptance: Effects on emotion, physiology, and perceived cognitive costs. *Emotion*, 18(1), 58–74. <https://doi.org/10.1037/emo0000371>
- Urry, H. L., van Reekum, C. M., Johnstone, T., & Davidson, R. J. (2009). Individual differences in some (but not all) medial prefrontal regions reflect cognitive demand while regulating unpleasant emotion. *NeuroImage*, 47(3), 852–863. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.05.069>
- Van't Wout, M., Longo, S. M., Reddy, M. K., Philip, N. S., Bowker, M. T., & Greenberg, B. D. (2017). Transcranial direct current stimulation may modulate extinction memory in posttraumatic stress disorder. *Brain Behavior*, 7(5), e00681. <https://doi.org/10.1002/brb3.681>
- Van't Wout, M., Mariano, T. Y., Garnaat, S. L., Reddy, M. K., Rasmussen, S. A., & Greenberg, B. D. (2016). Can transcranial direct current stimulation augment extinction of conditioned fear? *Brain Stimulation*, 9(4), 529–536. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.03.004>
- Velasco, E. R., Florido, A., Milad, M. R., & Andero, R. (2019). Sex differences in fear extinction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 103 (11), 81–108. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.05.020>
- Vicario, C. M., Salehinejad, M. A., Avenanti, A., & Nitsche, M. A. (2020). Transcranial direct current stimulation (tDCS) in anxiety disorders. In B. Dell'Osso & G. Di Lorenzo (Eds.) *Non invasive brain stimulation in psychiatry and clinical neurosciences* (pp. 301–317). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43356-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43356-7_21)
- Vilgis, V., Silk, T. J., & Vance, A. (2015). Executive function and attention in children and adolescents with depressive disorders: A systematic review. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 24(4), 365–384. <https://doi.org/10.1007/s00787-015-0675-7>
- Wang, H. Y., Xu, G. Q., Ni, M. F., Zhang, C. H., Li, X. L., Chang, Y., Sun, X. P., & Zhang, B. W. (2021). Neural basis of implicit cognitive reappraisal in panic disorder: An event-related fMRI study. *Journal of Translational Medicine*, 19(1), 304. <https://doi.org/10.1186/s12967-021-02968-2>
- Wang, H. Y., Xu, G. Q., Ni, M. F., Zhang, C. H., Sun, X. P., Chang, Y., & Zhang, B. W. (2017). Neural mechanisms of implicit cognitive reappraisal: Preceding descriptions alter emotional response to unpleasant images. *Neuroscience*, 347, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.01.047>
- Wang, H. Y., You, H. L., Song, C. L., Zhou, L., Wang, S. Y., Li, X. L., Liang, Z. H., & Zhang, B. W. (2024). Shared and distinct prefrontal cortex alterations of implicit emotion regulation in depression and anxiety: An fNIRS investigation. *Journal of Affective Disorders*, 354, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.03.032>
- Webb, T. L., Miles, E., & Sheeran, P. (2012). Dealing with feeling: A meta-analysis of the effectiveness of strategies derived from the process model of emotion regulation. *Psychological Bulletin*, 138(4), 775–808. <https://doi.org/10.1037/a0027600>
- Wik, G., Elbert, T., Fredrikson, M., Hoke, M., & Ross, B. (1997). Magnetic brain imaging of extinction processes in human classical conditioning. *Neuroreport*, 8(7), 1789–1792. <https://doi.org/10.1097/00001756-199705060-00044>
- Williams, L. E., Bargh, J. A., Nocera, C. C., & Gray, J. R. (2009). The unconscious regulation of emotion: Nonconscious reappraisal goals modulate emotional reactivity. *Emotion*, 9(6), 847–854. <https://doi.org/10.1037/a0017745>
- Wyczesany, M., Adamczyk, A. K., Ligeza, T. S., Bereś, A., & Marchewka, A. (2021). Implicit induction of emotional control—A comparative fMRI investigation of self-control and reappraisal goal pursuit. *Emotion*, 21(7), 1379–1391. <https://doi.org/10.1037/emo0000852>
- Xie, Y., Hu, Z., Ma, W., Sang, B., & Wang, M. (2019). Different neural correlates of automatic emotion regulation at implicit and explicit perceptual level: A functional magnetic resonance imaging study. *I-Perception*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1177/2041669519831028>
- Yang, Q., Tang, P., Gu, R., Luo, W., & Luo, Y. (2015). Implicit emotion regulation affects outcome evaluation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(6),

- 824–831. <https://doi.org/10.1093/scan/nsu124>
- Yuan, J., Long, Q., Li, X., Deng, Z., Ma, B., Chen, S., & Yang, J. (2019). Regulatory effect of implicit acceptance during outcome evaluation: The temporal dynamics in an event-related potential study. *International Journal of Psychophysiology*, *141*(5), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.05.003>
- Yuan, J., Zhang, Y., Zhao, Y., Gao, K., Tan, S., & Zhang, D. (2022). The Emotion-regulation benefits of implicit reappraisal in clinical depression: Behavioral and electrophysiological evidence. *Neuroscience Bulletin*, *39*, 973–983. <https://doi.org/10.1007/s12264-022-00973-z>
- Zabik, N. L., Peters, C., Iadipalo, A., Marusak, H. A., & Rabinak, C. A. (2023). Comparison of behavioral and brain indices of fear renewal during a standard vs. novel immersive reality pavlovian fear extinction paradigm in healthy adults. *Behavioural Brain Research*, *437*, 114154. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114154>
- Zhang, Q., Chen, T., Liu, S., Liu, X., Zhang, Y., Yu, F., ... Zhu, C. (2023). Effects of high-definition transcranial direct current stimulation on implicit emotion regulation of social pain in healthy individuals. *Journal of Affective Disorders*, *338*, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.05.075>
- Zhang, Y., Chen, S., Deng, Z., Yang, J., & Yuan, J. (2020). Benefits of implicit regulation of instructed fear: Evidence from neuroimaging and functional connectivity. *Frontiers in Neuroscience*, *14*(4), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00201>
- Zhang, Y., Li, S., Gao, K., Li, Y., Yuan, J., & Zhang, D. (2023). Implicit, but not explicit, emotion regulation relieves unpleasant neural responses evoked by high-intensity negative images. *Neuroscience Bulletin*, *39*(8), 1278–1288. <https://doi.org/10.1007/s12264-023-01036-7>
- Zhang, Y., Shi, W., Wang, H., Liu, M., & Tang, D. (2021). The impact of acute exercise on implicit cognitive reappraisal in association with left dorsolateral prefrontal activation: A fNIRS study. *Behavioural Brain Research*, *406*(2), 113233. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113233>
- Zhu, C., Li, P., Li, Y., Jiang, Y., Liu, D., & Luo, W. (2022). Implicit emotion regulation improves arithmetic performance: An ERP study. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, *22*(3), 574–585. <https://doi.org/10.3758/s13415-021-00979-6>
- Zilverstand, A., Parvaz, M. A., & Goldstein, R. Z. (2017). Neuroimaging cognitive reappraisal in clinical populations to define neural targets for enhancing emotion regulation. A systematic review. *NeuroImage*, *151*, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.06.009>

## The cognitive and neural mechanisms of implicit emotion regulation

GAO Kexiang, TANG Yuyao, ZHANG Yueyao, ZHANG Dandan

(Institute of Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China)

**Abstract:** Implicit emotion regulation refers to the process of modifying emotional responses without conscious monitoring or deliberate intention. Compared to explicit emotion regulation, implicit emotion regulation shows less dependence on the prefrontal executive control system. Building on existing dual-classification frameworks, this paper proposes a novel tripartite classification of implicit emotion regulation: automatic, task-incident, and implicit goal-driven regulation. Automatic implicit regulation, exemplified by fear extinction, relies on the ventromedial prefrontal cortex (VMPFC) directly modulating the amygdala. Task-incident regulation occurs during tasks such as affect labeling and emotional Stroop, where lateral prefrontal regions incidentally regulate emotions through cognitive control systems during task execution. Implicit goal-driven regulation activates automatic emotion regulation goals through priming or implicit training, which can either utilize VMPFC for automatic regulation or recruit lateral prefrontal cognitive control under certain conditions. Neuromodulation studies confirm that VMPFC is a crucial causal region for implicit emotion regulation, and enhancing its function shows promise for improving implicit emotion regulation capacity in depression and anxiety patients. The proposed tripartite framework highlights the diverse mechanisms of implicit emotion regulation, extends the dynamic understanding of emotion regulation theory, and provides promising new avenues for clinical interventions in mood disorders.

**Keywords:** emotion regulation, implicit emotion regulation, depression, anxiety, neuromodulation