

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：认知重评和表达抑制情绪调节策略的脑网络分析：来自 EEG 和 ERP 的证据

作者：孙 岩 薄思雨 吕娇娇

第一轮

审稿人 1 意见：在题目、摘要中明确当前研究是基于 EEG 的静息网络研究。

回应：非常感谢并完全接受您的指导建议，为了使本研究的静息网络研究结果更加有说服力，本研究通过增加认知重评和表达抑制调节任务的脑电实验研究加以验证和拓展。近年来有研究发现静息活动可以预测行为结果，揭示大脑内在波动对响应输出的功能相关性。基于此，本研究除了采集闭眼静息 EEG 数据外，还进行一个图片观看任务的被试内设计实验。该任务实验要求被试采用四种不同的方式（观看中性、观看负性、抑制负性、重评负性）去观看情绪图片，具体细节请参考文中 2.2.2 实验刺激和任务以及 2.2.3 实验程序（见 P5-6）。从而得到每种情况下刺激材料呈现 500ms 以后出现的晚期正电位(Late Positive Potential, LPP)，LPP 是反映情绪调节效应的有效生理指标。因此，本研究在发现与两种情绪调节相关的自发脑网络基础上，进一步探讨两种情绪调节状态下的 LPP 波幅与大脑内在功能连接和节点效率之间的关系。

因此，我们将题目改为“大学生情绪调节策略的脑网络分析：来自 EEG/ERP 的证据”，并在摘要中明确说明 EEG 的静息网络和 ERP 研究，如：“采集 35 名在校大学生的静息 EEG 脑电数据，经过源定位和图论分析发现与两种情绪调节显著相关的脑区，以及脑区之间的功能连接，另外本研究也探讨了静息 EEG 的网络测量指标与图片观看任务中 LPP 成分之间的关系。”（见 P1）

意见 2：主要结果表明为脑区的激活及连接强度，但 EEG 数据空间分辨率较低，结论的可靠性存疑。

回应：非常感谢您的指导建议。由于人类大脑是一个高度整合和相互协作的复杂系统，在没有任何特定任务的静息状态下仍然存在着大量的自发活动(Van Den Heuvel et al., 2009)。探索大脑区域之间的相互整合的静息状态，为我们提供了理解功能脑网络的基础架构以及大脑区域之间传递信息的方式(Mp & Hulshoff Pol, 2010)。本研究为了揭示与认知重评和表达抑制相

关的自发功能网络的协同工作方式,采用连通性分析找到与两种情绪调节心理估量相关脑区的功能连接,分析比较两者之间的异同。功能连接指的是两个或更多空间上分离区域的信号之间的时间同步或关联(Schoffele & Gross, 2009)。因此,我们重点考察时间序列的数据。脑电图(EEG)时间序列数据与大脑皮质中动态突触后活动直接相关,可以直接测量神经元活动,具有很好的时间分辨率(Canuet et al., 2011)。因此,本研究通过静息 EEG 来探讨两种情绪调节自发脑功能活动。

具体详细的表述内容,请见文中 1.前言的第六、七、八段(见 P3-4)。

另外,本研究为了解决 EEG 数据空间分辨率低的问题,第一,我们采用标准低分辨率电磁断层成像技术(sLORETA)进行源定位分析,通过此软件可以将脑电图测到的微弱的电生理信号定位到与之对应的具有最大电流密度的大脑皮层(Pascual-Marqui et al., 2002)。它可以看做是一种非自适应的空间滤波器,对于输入的数据源默认是相互独立的,因此忽略了数据源之间相干性的影响。在没有噪声模拟的具有单一信号源的数据中,sLORETA 能够最大程度的、准确地在三维大脑皮层定位神经元电生理活动的位置。目前,s LORETA 是解决脑电溯源问题的重要方法。特别地,s LORETA 计算的三维线性分解的电流密度所用脑模型提供了一个标准脑空间,三维方向都有坐标,而且主要脑解剖结构标注的是 Brodmann 分区。目前研究脑静息态功能连接大都是在 Brodmann 分区基础上进行的。因此,通过 sLORETA 可以得到的脑电信号在大脑皮层的 Brodmann 分区的定位,更方便功能连接的分析与对比。

第二,我们仔细查阅了大量文献,发现很多文献采用静息 EEG 研究脑区之间的功能连接、拓扑网络结构,并结合 sLORETA 这种方法弥补 EEG 数据空间分辨率低的不足(Bersagliere et al.,2017; Gohar et al.,2018; Hata et al., 2016; Lutterveld et al.,2016; Milz et al., 2017; Song et al.,2015; Von Rotz et al., 2017)。

第三,为了增加结果的可靠性,我们增加了一个图片观看任务的实验(见 P5-6)。该任务实验要求被试采用四种不同的方式(观看中性、观看负性、抑制负性、重评负性)观看情绪图片,从而得到每种情况下刺激材料呈现 500ms 以后出现的晚期正电位(Late Positive Potential, LPP), LPP 是反映情绪调节效应的有效生理指标。分析 LPP 波幅与静息 EEG 的功能网络结果之间的关系,从而进一步验证静息 EEG 下与两种情绪调节相关的功能脑区的结论。

Bersagliere, A. , Pascual-Marqui, R. D. , Tarokh, L. , & Achermann, P. (2017). Mapping slow waves by eeg topography and source localization: effects of sleep deprivation. *Brain Topography*.31(2),257-269.

- Canuet, L., Ishii, R., Pascual-Marqui, R. D., Iwase, M., Kurimoto, R., & Aoki, Y., et al. (2011). Resting-state EEG source localization and functional connectivity in schizophrenia-like psychosis of epilepsy. *PLoS ONE*, 6(11), e27863.
- Gohar, A. F., Omer, S., & Asima, K. (2018). Recent trends and advances in solving the inverse problem for eeg source localization. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 1-16.
- Hata, M., Kazui, H., Tanaka, T., Ishii, R., Canuet, L., & Pascualmarqui, R. D., et al. (2016). Functional connectivity assessed by resting state eeg correlates with cognitive decline of alzheimer's disease - an eloreta study. *Clinical Neurophysiology*, 127(2), 1269-1278.
- Lutterveld, R. V., Houlihan, S. D., Pal, P., Sacchet, M. D., & Brewer, J. A. (2016). Source-space eeg neurofeedback links subjective experience with brain activity during effortless awareness meditation. *NeuroImage*, 151, 117-127.
- Milz, P., Pascual-Marqui, R. D., Achermann, P., Kochi, K., & Faber, P. L. (2017). The eeg microstate topography is predominantly determined by intracortical sources in the alpha band. *NeuroImage*, 162, 353-361.
- Mp, V. D. H., & Hulshoff Pol, H. E. (2010). Exploring the brain network: a review on resting-state fmri functional connectivity. *European Neuropsychopharmacology*, 20(8), 519-534.
- Pascual-Marqui, R. D., Esslen, M., Kochi, K., & Lehmann, D. (2002). Functional imaging with low-resolution brain electromagnetic tomography (loreta): a review. *Methods Find Exp Clin Pharmacol*, 24 Suppl C(Suppl C), 91-95.
- Schoffelen, J. M., & Gross, J. (2009). Source connectivity analysis with MEG and EEG. *Human Brain Mapping*, 30(6), 1857-1865.
- Song, J., Davey, C., Poulsen, C., Luu, P., Turovets, S., & Anderson, E., et al. (2015). Eeg source localization: sensor density and head surface coverage. *Journal of Neuroscience Methods*, 256, 9-21.
- Van Den Heuvel, M. P., Stam, C. J., Kahn, R. S., & Hulshoff Pol, H. E. (2009). Efficiency of functional brain networks and intellectual performance. *J. Neurosci*, 29, 7619-7624.
- Von Rotz, R., Kometer, M., Dornbierer, D., Gertsch, Jürg, Salomé Gachet, M., & Vollenweider, F. X., et al. (2017). Neuronal oscillations and synchronicity associated with gamma-hydroxy buty rate during resting-state in healthy male volunteers. *Psychopharmacology*, 234(13), 1957-1968.

意见 3: 研究结果缺乏新意，比如认知重评涉及更多认知与记忆的脑区。

回应: 非常感谢并完全接受您的指导建议，“认知重评涉及更多认知与记忆的脑区”这样的结论没有为该研究领域提供新的信息或证据。因此本研究在对结果进行分析讨论的时候，不再关注脑区的多少，而侧重于分析认知重评和表达抑制涉及的脑区有哪些异同，一致的脑区都有哪些并说明了什么问题，不一致的脑区有哪些并说明了什么问题。除此之外，我们还探讨与情绪调节效果指标 LPP 波幅相关的脑区，对静息 EEG 的结果进一步补充和验证。

在摘要和结论中我们对研究结果进行了修改，具体修改内容如下：“研究表明，在使用认知重评进行情绪调节时会激活前额叶皮质、前扣带回、顶叶和枕叶等多个脑区参与监管控制情绪加工过程，以便快速抑制负面信息，从而促进围绕该事件建立积极的心理框架。同时本研究也发现越习惯使用表达抑制进行情绪调节的个体，其额中回/额下回、颞叶、脑岛和海马旁回脑区之间的功能连接越强。本研究结果表明，日常生活中经常使用表达抑制这

种策略进行情绪调节的个体，可能会产生更多的情感压抑，更易造成抑郁、焦虑的状态。”

具体在讨论中对于不同情绪调节策略下相关脑区异同的分析讨论，我们已经进行了修改，具体内容请见正文 4.讨论部分（见 P12-14）。

本研究的创新性：一方面，我们收集大学生情绪调节量表分数和静息态脑电数据，采用 sLORETA 源定位和图论分析方法，从时间序列相关的角度，探究认知重评和表达抑制两种常用情绪调节策略的自发脑网络特征。

另一方面，为了提高静息结果的可靠性，在文中报告了任务实验的结果，本研究除了采集 6 分钟闭眼静息 EEG 数据外，还进行一个图片观看任务的被试内设计实验。该任务实验要求被试在四种条件（观看中性、观看负性、抑制负性、重评负性）下观看情绪图片。得到四种条件下观看情绪图片时的 LPP 波幅，LPP 是情绪调节有效的生理指标，从而进一步探讨使用不同情绪调节策略时的情绪调节效果与大脑内在的功能连接和节点效率之间的关系。虽然近年来有研究发现静息活动可以预测行为结果，揭示大脑内在波动对响应输出的功能相关性。但还没有学者在情绪调节的研究领域这样做过。如果我们对大脑自发脑网络测量值与情绪调节有效的生理指标的相关关系进行研究，发现能够表示情绪调节效果脑区的静息活动，将对个体在使用不同情绪调节策略时的调节效果有很好的预测作用，从而帮助其找到适合自己的情绪调节方式，更有效的降低消极情绪，促进身心健康发展。

意见 4：两种方式均会涉及控制脑区，它们的重叠部分应该加以重视，而不仅仅关注二者的差异。要清楚说明哪些结果与已有研究一致，一致的发现说明什么？加强什么观点？哪些结果与已有研究不一致，对这类结果要解释原因。

回应：非常感谢并完全接受专家的建议，为了使两种情绪调节策略涉及的一致和不一致脑区的解释更加突出，我们在讨论中修改了对结果的解释，不再关注两种策略涉及脑区的多少，而是对认知重评和表达抑制涉及的脑区进行归类总结，一致的脑区都有哪些，并说明了什么问题，不一致的脑区有哪些，并说明了什么问题。除此之外，我们还发现了与情绪调节效果的指标 LPP 波幅相关的脑区，对静息 EEG 的结果进一步验证。具体修改思路如下：

首先，在讨论 4.1 功能连接部分，探讨分析与 CR、ES 的问卷得分和 LPP 波幅相关的功能脑区，在最后一部分详细总结了 CR 和 ES 涉及的脑区有哪些重叠部分，与已有研究结果是否一致，说明了什么；加强了什么观点。关于讨论 4.1 功能连接的正文修改内容，具体请参考红色字体标识部分（见 P12）。

其次，对讨论 4.2 节点效率部分的解释也与 4.1 功能连接的解释相一致，在最后一部分讨

论两种情绪调节策略涉及的脑区相同的有哪些,这些一致的发现说明什么,加强了什么观点。具体正文中的修改内容,请参考 4.2 节点效率的最后一段文字标红部分(见 P13)。

最后,考虑到与情绪调节策略相关的功能连接和节点效率所涉及的脑区有较多一致性,因此对这两种分析得到的结果进行综合讨论。总结了 ES 和 CR 涉及的脑区有哪些一致的部分,有哪些不一致的结果,并对结果进行解释。由于 4.1 功能连接和 4.2 节点效率中已经详细讨论了两者的重叠部分脑区,因此在 4.3 综合启示中将重点讨论二者的差异脑区。具体正文中的修改内容,请参考 4.3 综合启示部分(见 P14)。

意见 5: 为何将 expression suppression 翻译为反应抑制,而不是表达抑制?

回应: 非常感谢您的指导建议,实在抱歉,由于疏忽,将 expression suppression 和 response regulation 的翻译混淆了,非常感谢专家的建议,悉心接受您的指导,已经将文中所有的“反应抑制”全部改成“表达抑制”。

.....

审稿人 2 意见:

本文通过收集大学情绪调节量表分数和静息态脑电数据,采用 sLORETA 源定位和图论分析方法,从时间序列相关的角度,探究认知重评和反应抑制两种常用情绪调节策略的自发脑网络特征。作者发现认知重评涉及前额叶、扣带回、颞叶、顶叶、海马旁回等脑区之间的功能连接,且与这些脑区包括枕叶、脑岛等脑区的全局效率有关。本文的研究方法结合量表评测、静息态脑电、源定位和图论分析,有一定的新颖性,但研究的问题不够明确,未有清晰的理论假设,属于探索性分析报告。建议作者增加验证性研究后再投,具体建议如下:

意见 1: 本文在前人认知重评和表达抑制 fMRI 研究结果的基础上,尝试从静息态脑电数据中分析,探讨两者的差异。总体思路还可以,但具体的研究问题和理论假设不够明确,建议进一步总结前人结果,然后凝练本文研究问题,即静息态脑电数据如何验证或拓展现有的情绪调节理论。

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议。我们在仔细查阅大量相关文献的基础上,对前人结果进行总结、凝练,提出本文的研究问题:探索认知重评和表达抑制两种常用情绪调节策略的自发脑网络特征,及与两种情绪调节策略下的 LPP 波幅之间的关系。

提出问题的依据如下:现有研究为了探索两种情绪调节策略之间差异的根源以及它们之

间思维方式的神经相关性,一部分通过重新评估或抑制情绪图像或电影片段时负面情绪的神经活动变化来探索它们之间的异同。另一部分探讨 ER 的个体差异,即重新评估和表达抑制的习惯性使用与大脑功能的关系。但还未有研究对认知重评和表达抑制两种常用的情绪调节策略的自发脑活动进行深入研究,也没有研究将静息 EEG 的网络测量指标和情绪调节认知 ERP 成分之间的关系联系在一起。有研究发现这种静息活动可以预测行为结果,揭示大脑内在波动对响应输出的功能相关性 (Barry et al., 2014; Karamacoska & Steiner, 2017)。基于此,提出本文的研究问题。具体关于问题提出依据的内容,请见正文 1.引言的第三、四、五段(见 P2-3)。

本文的研究假设:两种情绪调节都会涉及与情绪认知控制相关的脑区,但与两种情绪调节神经活动相关的功能脑区也有显著差异,这种差异与它们不同的情绪调节效果显著相关。

提出假设的依据如下:基于对以往研究结果的总结、凝练,发现认知重评和表达抑制这两种情绪调节策略的神经机制既有相似性又各具差异性。研究发现,两种策略的使用均与前额皮质系统的神经活动高度相关,包括背外侧前额叶皮层(DLPFC),前扣带皮层(dACC)和腹内侧前额叶皮层(VMPFC)(Ochsner et al., 2002, 2004; Ohira et al., 2006; Phan et al., 2005; Urry et al., 2006)。而在两种调节间不一致的是,许多功能成像研究显示腹外侧前额皮质、额下回、脑岛和杏仁核参与表达抑制(Goldin et al., 2008; Lee et al., 2008),而背内、外侧前额皮质(PFC)、腹外侧 PFC、脑岛、颞叶皮质、顶叶皮质和杏仁核参与认知重评(Buhle et al., 2014; Diekhof et al., 2011; Gross, 2015)。另外,习惯性使用认知重评(通过问卷调查)与杏仁核活动减少,表达抑制与前额叶和顶叶活动增加有关(Drabant et al., 2009)。此外,还发现认知重评的习惯性使用与 dACC 体积呈正相关(Giuliani et al., 2011a)。习惯性使用表达抑制与内侧前额叶皮质激活减少有关(Abler et al., 2010),并与脑岛体积之间发现了正相关关系(Giuliani et al., 2011b),由此可见,前额叶皮质、前扣带回、脑岛以及杏仁核等脑区在情绪调节中的重要作用。以往研究也发现,ES 一直与消极的情感和社会后果有关,包括抑郁症状(Balzarotti et al., 2016; Campbell-Sills & Barlow, 2007; Goldin et al., 2008; Gross, 2002; Hofmann et al., 2009; Hopp, Rohrmann, & Hodapp, 2012; Langner et al., 2012b),而 CR 往往会产生更有益的情感和社会后果(Gross, 2002; Gross & John, 2003; Goldin et al., 2008; Hajcak & Nieuwenhuis, 2006)。基于此,提出本文的研究假设。具体关于理论假设的依据,请见正文 1.前言的第三、四、五段(见 P2-3)。

意见 2: 本文主要从 delta (1-4Hz), theta (4-8Hz), alpha (8-13Hz), beta (13-30Hz), gamma

(30-48Hz) 五个不同频带分别分析结果，但作者在前言和方法中没有解释为何要做这样的分析，也没有提供频带分类的参考依据。

回应：非常感谢并完全接受专家的建议，根据专家的指导我们查阅了大量与情绪调节相关的静息态脑电的文献，发现在情绪调节相关研究中，相关的 EEG 信息主要在低频带编码，特别是在 theta 范围内 (Balconi et al., 2018; Ertl et al.,2013; Mengqi et al.,2016; Qian et al., 2014; van Diessen et al., 2015)，该频带的活动更能反映情绪调节的自发神经机制(Balconi et al., 2018; Bekkedal et al.,2011; Güntekin & Başar, 2014)。基于此，我们将仅选取 theta 频带的结果进行分析，这种做法将会使结果更加集中同时也更加有意义。

另外，根据许多脑电的文献中对频带划分，大多数是将 4-8Hz 的频带作为 theta 频带 (Babiloni et al.,2009; Case et al., 2017; Chmielewski et al.,2016; ; Knyazev et al., 2019; Massar et al.,2014; Machinskaya et al.,2016; van Diessen 2015; Zhang et al., 2018; Zhao et al.,2018)，因此本文也如此划分。

Babiloni, C. , Noce, G. , Pennica, A. , Onorati, P. , Capotosto, P. , & Del Percio, C. , et al. (2018). Cortical sources of resting state electroencephalographic rhythms probe brain function in naïve hiv individuals. *Clinical Neurophysiology*, 129(2), 431-441.

Babiloni, C. , Ferri, R. , Binetti, G. , Vecchio, F. , Frisoni, G. B. , & Lanuzza, B. , et al. (2009). Directionality of eeg synchronization in alzheimer's disease subjects. *Neurobiology of Aging*, 30(1), 93-102.

Balconi, M. , Grippa, E. , & Vanutelli, M. E. (2015). What hemodynamic (fnirs), electrophysiological (eeg) and autonomic integrated measures can tell us about emotional processing. *Brain and Cognition*, 95, 67-76.

Bekkedal, M.Y.V., Rossi, J., Panksepp, J. (2011). Human brain EEG indices of emotions:Delineating responses to affective vocalizations by measuring frontal theta event-related synchronization. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35, 1959-1970.

Case, M. , Shirinpour, S. , Zhang, H. , Datta, Y. H. , Nelson, S. C. , & Sadak, K. T. , et al. (2017). Increased theta band eeg power in sickle cell disease patients. *Journal of Pain Research, Volume 11*, 67-76.

Chmielewski, W. X. , Moritz Mückschel, Dippel, G. , & Beste, C. . (2016). Concurrent information affects response inhibition processes via the modulation of theta oscillations in cognitive control networks. *Brain Structure & Function*, 221(20), 1-13.

Ertl, M. , Hildebrandt, M. , Ourina, K. , Leicht, G. , & Mulert, C. . (2013). Emotion regulation by cognitive reappraisal - the role of frontal theta oscillations. *NeuroImage*, 81(11), 412-421.

Güntekin, B., Başar, E. (2014). A review of brain oscillations in perception of faces and emotional pictures, *Neuropsychologia*, 58, 33-51.

Knyazev, G., Merkulova, E., Savostyanov, A., Bocharov, A., & Saprigyn, A. (2019). Personality and EEG correlates of reactive social behavior. *Neuropsychologia*. 124,98-107.

Massar, S. A. A., Kenemans, J. L., & Schutter, D. J. L. G. (2014). Resting-state EEG theta activity and risk learning: Sensitivity to reward or punishment? *International Journal of Psychophysiology*,91, 172–177.

Machinskaya, R. I. , Rozovskaya, R. I. , Kurgansky, A. V. , & Pechenkova, E. V. . (2016). Cortical functional connectivity during the retention of affective pictures in working memory: eeg-source theta coherence analysis. *Human Physiology*, 42(3), 279-293.

- Mengqi, X. , Reza, T. , Annmarie, M. N. , Olusola, A. , K., L. P. , & Heide, K. , et al. (2016). EEG based functional connectivity reflects cognitive load during emotion regulation. *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*. IEEE.
- Qian, L. , Xi, C. , Tom, H. , Duo, X. , Frederick, C. , & James, B. R. . (2014). Theta band activity in response to emotional expressions and its relationship with gamma band activity as revealed by meg and advanced beamformer source imaging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7.
- van Diessen, E., Numan, T., van Dellen, E., van der Kooi, A.W., & Stam, C.J.. (2015). Opportunities and methodological challenges in eeg and meg resting state functional brain network research. *Clinical Neurophysiology*, 126(8), 1468-1481.
- Zhang, J. , Lau, E. Y. Y. , & Hsiao, J. H. . (2018). Sleep deprivation compromises resting-state emotional regulatory processes: an eeg study. *Journal of Sleep Research*, e12671.
- Zhao, G, Zhang, Y., & Ge, Y. (2018). Frontal EEG Asymmetry and Middle Line Power Difference in Discrete Emotions. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12.

意见 3: 本文为何选用双侧乳突且采样率降至 256Hz 为参考电极? 平均参考或零参考在全脑网络分析中是否更有优势? 建议采用零参考重新分析数据, 看结果是否有变化。

回应: 非常感谢并完全接受您的建议, 我们仔细查找了大量的相关文献, 发现不同的参考选择会影响记录的头皮电位的空间和时间特征, 导致不同的连通性和图论结果 (Qin et al., 2010)。相比其它参考方法, 平均参考和零参考可以对 EEG 数据进行无偏差或者偏差较小的分析。另外, 近几年研究发现, 使用参考电极标准技术 (REST) 的无限零参考已被越来越多地应用到 EEG 的研究中, 它比平均参考能更清楚地呈现典型的 EEG 特征 (Chella, Pizzella, Zappasodi, & Marzetti, 2016; Gaoxing et al., 2018; Marzetti, et al., 2007), REST 网络更接近皮层网络, 且更稳定 (Rellecke, Sommer, & Schacht, 2013)。这种方法不仅允许对 EEG 数据进行无偏差 (或至少偏差较小) 的分析, 而且还有助于比较从不同实验室获得的结果, 这对于跨实验室研究和临床实践是至关重要的。

为了减少参考选择对 EEG 连接分析的影响, 我们使用 REST 无限零参考对数据进行重新分析。我们使用的是用于头皮脑电图参考电极标准化技术 (REST) 的开源 MATLAB 工具箱 (<http://www.neuro.uestc.edu.cn/rest/Down.html>; Li et al., 2017)。结果发生变化, 采用零参考分析后的具体结果, 请参考正文 3.结果位置 (见 P8-11)。

关于本文采用 256Hz 采样率进行分析的原因如下:

一般情况下, 采样率的选择要考虑的基本因素是奈奎斯特定理。该定理指出, 为了精确地重建原始模拟信号中的所有信息, 必须使用信号中最大频率的至少两倍来对 EEG 进行数字化。如果选择的采样率低于此值, 则将在记录中引入低频噪声 (混叠) (Read, & Innis, 2017)。由于大多数与大脑相关的活动频率低于 100Hz, 因此应使用至少 200 Hz 的采样率来

防止混叠。在实践中，许多研究人员更喜欢使用比奈奎斯特定理所要求的更高的采样率，从而提高 EEG 信噪比。一旦满足这一考虑因素，就有多种采样率可供选择。一些常见的采样率包括 250 Hz，256 Hz，500 Hz 和 1,000 Hz。选择采样率时需要考虑的其他因素包括存储空间的大小和收益递减。对于前者，更高的采样率将产生更大的数据集，需要更多的存储空间和更多的分析时间。此外，随着采样率的增加会导致收益递减，且太高的采样率不太可能提供额外的优势。因此，最好将采样率降低到可管理的而且不会使信息丢失的范围。

另外，我们查找了大量与本研究相关变量的 EEG 文献，发现大多数与情绪相关的 EEG 文献都是将采样率降至 256Hz 进行分析(Koelstra et al., 2010; Liu et al., 2016;2018; Luangrat, Mikhail et al., 2013; Punsawad, & Wongsawat, 2013; Soleymani et al., 2012; Uusberg, Uibo, Kreegipuu, & Allik, 2013)，因此本研究也参照这些相关文献，将采样率降至 256Hz。

Chella, F. , Pizzella, V. , Zappasodi, F. , & Marzetti, L. . (2016). Impact of the reference choice on scalp eeg connectivity estimation. *Journal of Neural Engineering*, 13(3), 036016.

Gaoxing, Z. , Xiaoying, Q. , Yuzhu, L. , Wei, Z. , & Yuguo, Y. . (2018). A comparative study of standardized infinity reference and average reference for eeg of three typical brain states. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 158.

Koelstra, S. , Yazdani, A. , Soleymani, M. , Christian Mühl, Lee, J. S. , & Nijholt, A. , et al. (2010). *Single Trial Classification of EEG and Peripheral Physiological Signals for Recognition of Emotions Induced by Music Videos*. *Brain Informatics*. Springer Berlin Heidelberg.

Li, D. , Fali, L. , Qiang, L. , Xin, W. , Yongxiu, L. , & Peng, X. , et al. (2017). Matlab toolboxes for reference electrode standardization technique (rest) of scalp eeg. *Frontiers in Neuroscience*, 11.

Liu, J. , Meng, H. , Li, M. , Zhang, F. , Qin, R. , & Nandi, A. K. . (2018). Emotion detection from eeg recordings based on supervised and unsupervised dimension reduction. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, e4446.

Liu, J. , Meng, H. , Nandi, A. , & Li, M. . (2016). Emotion detection from EEG recordings. International Conference on Natural Computation. IEEE.

Lo, J. C. , Ong, J. L. , Leong, R. L. F. , Gooley, J. J. , & Chee, M. W. L. . (2016). Cognitive performance, sleepiness, and mood in partially sleep deprived adolescents: the need for sleep study. *Sleep*, 39(3), 687-698.

Luangrat, K. , Punsawad, Y. , & Wongsawat, Y. . (2013). On the development of EEG based emotion classification. Biomedical Engineering International Conference. IEEE.

Marzetti, L. , Nolte, G. , Perrucci, M. G. , Romani, G. L. , & Del, G. C. . (2007). The use of standardized infinity reference in eeg coherency studies. *Neuroimage*, 36(1), 48-63.

Mikhail, M. , Elayat, K. , Coan, J. A. , & Allen, J. J. B. . (2013). Using minimal number of electrodes for emotion detection using brain signals produced from a new elicitation technique. *International Journal of Autonomous & Adaptive Communications Systems*, 6(1), 80-97.

Qin, Y., Xu, P. & Yao, D. (2010). A comparative study of different references for EEG default mode network: The use of the infinity reference, *Clinical Neurophysiology* 121(12): 1981 – 1991.

Read, G. L., & Innis, I. J. (2017). Electroencephalography (EEG). *The International Encyclopedia of Communication Research Methods*, 2, 1–8.

Rellecke, J. , Sommer, W. , & Schacht, A. . (2013). Emotion effects on the n170: a question of reference?. *Brain Topography*, 26(1), 62-71.

- Soleymani, M. , Lichtenauer, J. , Pun, T. , & Pantic, M. . (2012). A multimodal database for affect recognition and implicit tagging. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(1), 42-55.
- Uusberg, A., Uibo, H., Kreegipuu, K., & Allik, J. (2013). EEG alpha and cortical inhibition in affective attention. *International Journal of Psychophysiology*, 89(1), 26–36.
- Viviani, & Roberto. (2014). Neural correlates of emotion regulation in the ventral prefrontal cortex and the encoding of subjective value and economic utility. *Frontiers in Psychiatry*, 5.

意见 4：在数据处理中，EEG 数据按照每 2 秒为一段进行分段的理由是什么？

回应：一方面，由于脑电信号的非平稳性质，闭眼皮层测量在分析前通常被分成 2 秒的短 EEG 数据段（Adebimpe et al., 2015; Aydin et al.,2015;Azeez et al.,2016; Babiloni et al., 2018; Cao et al.,2004; Latchoumane et al.,2007; PMeerwijk et al., 2015; Vandenbosch et al.,2019; Tye et al.,2014）。

另一方面，在许多实验研究中表明 EEG 序列仅在 2 s 的短 EEG 段中是静止稳定的（Cao et al.,2004; Gao, 2001; Latchoumane et al.,2009; Sergejew & Tsoi,1996; Schreiber, 1997）。因此，每个 trail 下 EEG 测量在进行分析之前将按照 2 s 的恒定窗口进行分段。基于此，本研究也将 EEG 数据按照 2 s 的恒定窗口进行分段。

引用的主要文献如下：

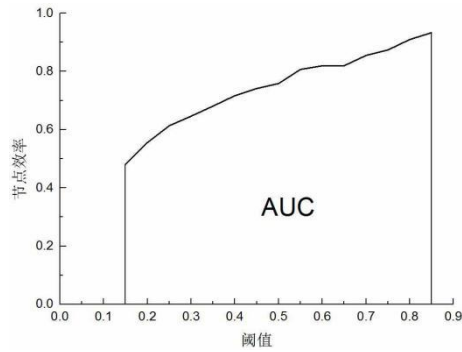
- Adebimpe, A. , Aarabi, A. , Bourel-Ponchel, E. , Mahmoudzadeh, M. , & Wallois, F. . (2015). Eeg resting state analysis of cortical sources in patients with benign epilepsy with centrotemporal spikes. *NeuroImage: Clinical*, 9, 275-282.
- Aydin, S. , Arica, N. , Ergul, E. , & Tan, O. . (2015). Classification of obsessive compulsive disorder by eeg complexity and hemispheric dependency measurements. *International Journal of Neural Systems*, 25(03), 1550010.
- Azeez, A. , Ardalan, A. , Emilie, B. P. , Mahdi, M. , & Fabrice, W. . (2016). Eeg resting state functional connectivity analysis in children with benign epilepsy with centrotemporal spikes. *Frontiers in Neuroscience*, 10.
- Babiloni, C. , Noce, G. , Pennica, A. , Onorati, P. , Capotosto, P. , & Del Percio, C. , et al. (2018). Cortical sources of resting state electroencephalographic rhythms probe brain function in na?ve hiv individuals. *Clinical Neurophysiology*, 129(2), 431-441.
- Cao, Y. , Tung, W. , & Gao, J. B. . (2004). Detecting dynamical changes in time series using the permutation entropy. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys*, 70(4 Pt 2), 046217..
- Case, M. , Shirinpour, S. , Zhang, H. , Datta, Y. H. , Nelson, S. C. , & Sadak, K. T. , et al. (2017). Increased theta band eeg power in sickle cell disease patients. *Journal of Pain Research, Volume 11*, 67-76.
- Ghaderi, A. H. , Andevvari, M. N. , & Sowman, P. F. . (2018). Evidence for a resting state network abnormality in adults who stutter. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 12.
- J. B. Gao, Detecting non stationarity and state transitions in a time series, *Phys. Rev. E. Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.* 63(6 Pt 2) (2001) 066202.
- Wackermann, J., Lehmann, D., Michel, C. M., & Strik, W. K. (1993). Adaptive segmentation of spontaneous EEG map series into spatially defined microstates, *Int. J. Psychophysiol.* 14(3), 269–283.

- Latchoumane, C. F. V. , & Jeong, J. . (2009). Quantification of brain macrostates using dynamical nonstationarity of physiological time series. *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 58(4), 1084-1093.
- Sergejew, A. A. , & Tsoi, A. C. . (1996). Markovian Analysis of EEG Signal Dynamics in Obsessive-Compulsive Disorder. *Advances in Processing and Pattern Analysis of Biological Signals*. Springer US.
- T. Schreiber, Detecting and analyzing non stationarity in a time series using nonlinear cross predictions, *Phys. Rev. Lett.* 78(5) (1997) 843–846.
- Tye, C. , Rijdsdijk, F. , & McLoughlin, Gr á nne. (2014). Genetic overlap between adhd symptoms and eeg theta power. *Brain and Cognition*, 87, 168-172.
- Vandenbosch, M. M. L. J. Z., Ent, D. van 't, Boomsma, D. I., Anokhin, A. P., & Smit, D. J. A. (2019). EEG-based age-prediction models as stable and heritable indicators of brain maturational level in children and adolescents. *Human Brain Mapping*, 2019, 1-8.
- Vohs, J. L. , Leonhardt, B. L. , Francis, M. M. , Westfall, D. , Howell, J. , & Bolbecker, A. R. , et al. (2016). A preliminary study of the association among metacognition and resting state eeg in schizophrenia. *Journal of Psychophysiology*, 30(2), 1-8.
- Wang, Y. , Lu, J. , Gu, C. , & Hu, B. . (2018). Mapping the frontal alpha asymmetry indicators of habitual emotion regulation. *Neuroreport*, 29(15), 1288-1292.

意见 5：作者采用该阈值范围下的节点效率 AUC 值作为每位被试的节点效率值，请作者解释为何选用节点效率 AUC 值，并说明其简要的计算方法，以及代表的生理学意义。

回应：本研究采用一段阈值范围下的节点效率 AUC 值作为每位被试的节点效率值，是因为以绝对阈值对每位被试的关联矩阵进行阈值处理会导致网络具有不同数量的节点（和边），这样可能会影响网络的测量结果并减少结果之间的解释（Wijk et al., 2010）。为了解决这个问题，有两种对构建的关联矩阵进行阈值处理的方法，一种方法是以最小网络密度（ D_{min} ）对构建的关联矩阵进行阈值处理，其中每个被试的所有节点的脑网络完全连接（没有网络是碎片）；而另一种方法是在一系列网络密度上对构造的关联矩阵进行阈值处理，以得到该范围内的网络拓扑测量值，即 AUC 值。

目前大多数研究为了避免选择网络稀疏性引起的偏差，往往在整个稀疏范围内整合拓扑属性测量值即 AUC 值(Achard & Bullmore, 2007; Borges et al.,2016; Jung et al.,2016; Zhang et al.,2017; Zhongxiang et al.,2017; Zhu et al.,2017)。AUC (Area under a curve)表示计算一系列阈值范围内的网络测量值曲线下的面积(Borges et al.,2016)。通过执行 AUC 分析，网络测量之间的比较对阈值处理过程不太敏感。其计算公式是： $y=f(x)$ (Wijk et al., 2010)。如下图所示，横坐标阈值即为将所有节点的总连接数的一部分固定为常数的网络密度，本研究选择 0.15-0.85 阈值，纵坐标为相应阈值下所构建的稀疏矩阵所对应的节点效率值，曲线下面积 AUC 为整个阈值范围内整合的节点效率值。



Achard, S. , & Bullmore, E. . (2007). Efficiency and cost of economical brain functional networks. *PLoS Computational Biology*, 3(2), e17.

Borges, A. M. , Kuang, J. , Milhorn, H. , & Yi, R. . (2016). An alternative approach to calculating area-under-the-curve (auc) in delay discounting research. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*.

Jung, W. H. , Chang, K. J. , & Kim, N. H. . (2016). Disrupted topological organization in the whole-brain functional network of trauma-exposed firefighters: a preliminary study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, S0925492715301438.

Wijk, B. C. M. V. , Stam, C. J. , & Daffertshofer, A. . (2010). Comparing brain networks of different size and connectivity density using graph theory. *PLOS ONE*, 5.

Zhang, J. , Zhang, Y. , Wang, L. , Sang, L. , Yang, J. , & Yan, R. , et al. (2017). Disrupted structural and functional connectivity networks in ischemic stroke patients. *Neuroscience*, S0306452217306449.

Zhongxiang, D. , Joshua, D. S. , Julian, L. , Ho, P. M. , Yu, C. , & Junhua, L. , et al. (2017). Eeg cortical connectivity analysis of working memory reveals topological reorganization in theta and alpha bands. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11.

Zhu, H. , Qiu, C. , Meng, Y. , Yuan, M. , Zhang, Y. , & Ren, Z. , et al. (2017). Altered topological properties of brain networks in social anxiety disorder: a resting-state functional mri study. *Scientific Reports*, 7, 43089.

意见 6: 因为没有明确的研究问题，因此文章对结果讨论重点不够突出，读者难以获得清晰的有价值的新信息。建议作者对结果脑区进行归类总结，发现有意义的结果，除了与前人研究结果进行比较，更重要是讨论本研究结果是否对该研究领域提供了新的信息或证据。

回应: 非常感谢并完全接受您的指导建议，为了使两种情绪调节策略涉及的一致和不一致脑区的解释更加突出，对本文的讨论部分进行了修改。修改思路：在讨论的最后一段将认知重评和表达抑制结果脑区进行归类总结，总结 ES 和 CR 涉及的脑区有哪些一致的部分，一致的脑区说明了什么；不一致的脑区有哪些结果，并对结果进行解释。修改内容请见正文 4.3 综合启示的第一、二段(见 P13-14)。

具体修改内容如下：“综上所述，本文通过研究与情绪调节相关的功能节点之间的连通性以及相关节点的网络效率，发现两种情绪调节策略涉及的脑区有很多是一致的，包括前额叶皮质、海马旁回、脑岛、颞叶和顶叶皮质。除此之外我们也发现两者之间不一致的相关脑区结果，主要表现在 CR 还与前扣带回和枕上回/枕下回显著相关。研究发现顶枕叶皮质参与

监管控制情绪加工过程,个体的认知控制功能是大脑多个皮质功能区协同整合作用的结果(Seo et al., 2013)。CR 通过重新加工情绪信息,以改变对当前情绪事件的看法从而达到调节情绪的目的,因此会涉及顶枕叶等多个皮质功能区的协同作用。事实上,有研究发现前扣带回的功能,一方面有助于促进脱离负面信息,另一方面维护与目标相关的信息,以便战略性地关注环境中的特定信息(Barch et al., 1997; MacDonald et al., 2000; Vanderhasselt et al., 2009a,b)。本研究结果表明,在使用 CR 进行情绪调节时会激活前扣带回,以便快速抑制负面信息,从而促进围绕该事件建立积极的心理框架。

另外,我们也发现 ES 与额中回/额下回、颞叶、脑岛和海马旁回之间的功能连接都显著正相关。以往核磁研究发现抑郁症患者默认网络功能联结增强(Yuan et al., 2010),默认网络包括额中回、后扣带、海马旁回、外侧颞叶等(Greicius et al., 2007),这可能与抑郁症状如认知控制能力、情绪调节能力下降等具有重要关系(Sheline, Price, Yan & Mintun, 2010)。值得注意的是,ES 一直与消极的情感和社会后果有关,包括抑郁症状(Goldin et al., 2008; Gross, 2002),CR 往往会产生更有益的情感和社会后果(Gross, 2002; Gross & John, 2003; Goldin et al., 2008)。而本研究结果表明,越习惯使用 ES 进行情绪调节的人,其额中回/额下回、颞叶、脑岛和海马旁回脑区之间的功能连接越强。这些结果都表明,长期使用 ES 进行情绪调节更易导致消极的情感后果。Gross 和 John (2003) 也发现,较高的表达抑制评分与较高的心理困扰相关。因此在日常生活中经常使用 ES 这种策略进行情绪调节的个体,可能会产生更多的情感压抑,更易造成抑郁、焦虑的状态(Balzarotti et al., 2016; Campbell-Sills & Barlow, 2007; Goldin et al., 2008; Gross, 2002; Hofmann et al., 2009; Hopp, Rohrmann, & Hodapp, 2012; Langner et al., 2012b),从而对这些默认功能脑区的同步活动产生影响。这也可以解释为什么使用 ES 的人在面对生活压力时会产生持续的消极情绪。”

意见 7: 考虑到情绪调节策略相关的功能连接和节点效率所涉及的脑区有较多一致性,建议对这两种分析得到的结果进行综合讨论。

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议,我们在讨论部分增加了 4.3 综合启示,该部分即为对情绪调节策略相关的功能连接和节点效率所涉及的一致和不一致脑区的综合讨论。

具体修改内容如下:“综上所述,本文通过研究与情绪调节相关的功能节点之间的连通性以及相关节点的网络效率,发现两种情绪调节策略涉及的脑区有很多是一致的,包括前额叶皮质、海马旁回、脑岛、颞叶和顶叶皮质。除此之外我们也发现两者之间不一致的相关脑区结果,主要表现在 CR 还与前扣带回和枕上回/枕下回显著相关。研究发现顶枕叶皮质参与

监管控制情绪加工过程,个体的认知控制功能是大脑多个皮质功能区协同整合作用的结果(Seo et al., 2013)。CR 通过重新加工情绪信息,以改变对当前情绪事件的看法从而达到调节情绪的目的,因此会涉及顶枕叶等多个皮质功能区的协同作用。事实上,有研究发现前扣带回的功能,一方面有助于促进脱离负面信息,另一方面维护与目标相关的信息,以便战略性地关注环境中的特定信息(Barch et al., 1997; MacDonald et al., 2000; Vanderhasselt et al., 2009a,b)。本研究结果表明,在使用 CR 进行情绪调节时会激活前扣带回,以便快速抑制负面信息,从而促进围绕该事件建立积极的心理框架。

另外,我们也发现 ES 与额中回/额下回、颞叶、脑岛和海马旁回之间的功能连接都显著正相关。以往核磁研究发现抑郁症患者默认网络功能联结增强(Yuan et al., 2010),默认网络包括额中回、后扣带、海马旁回、外侧颞叶等(Greicius et al., 2007),这可能与抑郁症状如认知控制能力、情绪调节能力下降等具有重要关系(Sheline, Price, Yan & Mintun, 2010)。值得注意的是,ES 一直与消极的情感和社会后果有关,包括抑郁症状(Goldin et al., 2008; Gross, 2002),CR 往往会产生更有益的情感和社会后果(Gross, 2002; Gross & John, 2003; Goldin et al., 2008)。而本研究结果表明,越习惯使用 ES 进行情绪调节的人,其额中回/额下回、颞叶、脑岛和海马旁回脑区之间的功能连接越强。这些结果都表明,长期使用 ES 进行情绪调节更易导致消极的情感后果。Gross 和 John (2003) 也发现,较高的表达抑制评分与较高的心理困扰相关。因此在日常生活中经常使用 ES 这种策略进行情绪调节的个体,可能会产生更多的情感压抑,更易造成抑郁、焦虑的状态(Balzarotti et al., 2016; Campbell-Sills & Barlow, 2007; Goldin et al., 2008; Gross, 2002; Hofmann et al., 2009; Hopp, Rohrman, & Hodapp, 2012; Langner et al., 2012b),从而对这些默认功能脑区的同步活动产生影响。这也可以解释为什么使用 ES 的人在面对生活压力时会产生持续的消极情绪。”

由于两者涉及一致的脑区已经在讨论的 4.1 功能连接和 4.2 节点效率的最后一段进行了综合分析,因此在 4.3 综合启示部分侧重于分析两者不一致的脑区。具体修改内容,请参考正文 4.3 综合启示的第一、二段红字字体标识部分(见 P13-14)。

意见 8: 摘要和总结中表述存在问题。例如:“结果表明在额叶和颞叶认知重评的同步功能脑区比与反应抑制相关的功能脑区多,这可能说明通过认知重评调节情绪比抑制情绪行为需要调用更多的认知、记忆等功能脑区。”考虑到本研究主要采用相关分析方法对认知重评和反应抑制相关的脑区分别进行分析,因此,这两组的结果不能直接进行比较。另外,这两种情绪调节涉及的脑区本身就是不同的,用发现脑区多少来解释需要调用更多的认知、记忆等

功能脑区没有实质意义。作者也可以考虑增加被试，得出认知重评和反应抑制两组数据，进行组间差异分析。

回应：非常感谢您的审稿建议。我们用脑区的多少来解释是否调用更多的认知、记忆等功能脑区的写法是不合适的。同时我们也完全接受您提出的第 10 条修改意见，因此我们增加了一个图片观看的任务实验来增强对认知重评和表达抑制两种常用情绪调节策略的自发脑网络特征结果的可靠性和说服力。该任务实验要求被试采用四种不同的方式（观看中性、观看负性、抑制负性、重评负性）去观看情绪图片，具体细节请参考文中 2.2.2 实验刺激和任务以及 2.2.3 实验程序（见 P7-8）。从而得到每种情况下刺激材料呈现 500ms 以后出现的晚期正电位(Late Positive Potential, LPP)，LPP 是反映情绪调节效应的有效生理指标。

由于本研究主要用的是功能连接指数和节点效率与两种情绪调节策略的问卷得分和 LPP 波幅作相关分析，因此不能将两组结果进行直接比较。基于此，我们在讨论中修改了对结果的解释：不再关注脑区的多少，而侧重于分析认知重评和表达抑制涉及的脑区有哪些异同，一致的脑区都有哪些并说明了什么问题，不一致的脑区有哪些并说明了什么问题。除此之外，我们还发现了与情绪调节效果的指标 LPP 波幅相关的脑区，对静息 EEG 的结果进一步验证。

正文中具体修改内容如下“本研究从整体上对与情绪调节相关功能性脑区的同步活动有一个全面的了解。如图 3 所示，本研究的功能连接结果发现，在 theta 频带下与 CR 心理测量得分相关显著的脑区有顶叶和额中回/额下回，而与 ES 心理测量得分相关显著的脑区有顶叶、脑岛、海马旁回和额中回/额下回。同时，本研究在与 CR 的 LPP 波幅显著相关的功能脑区中也发现了前额皮质、脑岛和颞上回，而与 ES 的 LPP 波幅显著相关的功能脑区中发现了前额皮质和颞上回，如表 3 所示。这些结果对静息 EEG 结果进行了补充和验证。同时也证明静息活动可以预测行为结果，揭示大脑内在波动对响应输出的功能相关性（Barry et al., 2014; Karamacoska & Steiner, 2017）。这些相关脑区之间的功能连接强弱可以揭示甚至预测个体使用 CR 和 ES 策略进行情绪调节的效果。

综上所述，本研究发现两种策略涉及的脑区有较多一致性，包括顶叶、前额皮质、颞上回和脑岛。本研究结果与以往研究发现一致，背内、外侧前额皮质（PFC）、腹外侧 PFC、脑岛、颞叶皮质和顶叶皮质参与认知重评(Buhle et al., 2014; Diekhof et al., 2011; Gross, 2015); 腹内侧 PFC、背内侧 PFC、额上回、顶叶和脑岛的脑结构变化与表达抑制相关(Drabant et al., 2009; Giuliani et al., 2011a; Hermann et al., 2014; Wang et al., 2017; Welborn et al., 2009)。有研究发现前额皮质可以与顶叶（与注意力定向相关的皮层区域）一起传达和处理与动机优

先或行为相关的信息输入,编码情绪信息的个体差异与前额叶皮层和顶叶区域的显著调节相关 (Viviani, & Roberto, 2014)。本研究结果表明,越习惯使用 ES 和 CR 进行情绪调节的个体,其前额皮质和顶叶之间的功能连接越强,其编码情绪信息的能力越强。有关于颞叶皮层的研究表明,颞叶皮层不仅在听觉信息加工中具有重要作用,还存在视觉与动觉信息加工以及多种信息存贮的记忆功能(沈政, &林庶芝, 1993)。CR 是通过重新加工当前情绪刺激来进行情绪调节,而 ES 是通过抑制对情绪刺激的表达从而达到调节情绪的目的,两种情绪调节策略可能涉及到视觉尤其是动觉的多种信息整合,因此与颞叶的结构和功能显著相关。脑岛是人们感知身体生理状态信息(即内感知)与情绪体验整合的主要脑区(Cauda,et al., 2012),并且被看作是情绪加工的重要区域(Li, et al., 2016)。这些研究结果表明,顶叶、前额皮质、颞上回和脑岛之间的协同作用,在情绪调节过程中扮演重要的角色。”

综上所述,对讨论 4.2 节点效率部分的解释也与 4.1 功能连接的解释相一致,侧重于讨论两种情绪调节策略涉及的脑区相同的有哪些,这些一致的发现说明什么。在 4.3 综合启示中主要分析讨论两者不一致的脑区有哪些,这些脑区说明了什么。具体请参考讨论的 4.2 节点效率和 4.3 综合启示(见 P13-14)。

意见 9: 本文结果和讨论中多处的表述不够严谨。如“本研究的功能连接结果表明,在相同和不同频带下与 CR 和 ES 相关显著的功能性脑区均有明显差异,这与我们的假设一致:不同情绪调节策略的神经机制存在显著差异,如图 1 所示。”“静息状态 EEG 功能网络的结果表明,与以往基于任务的 fMRI 和结构 MRI 研究的脑区结果一致,但也有不一致的地方“等等,这样的结果表述没有任何实质内容,读者无法获得新的信息。

回应: 非常感谢并接受您的审稿建议。现已对文中表述没有任何实质内容,且读者无法获得新信息的部分进行修改。

首先,我们查找了大量相关文献,发现在情绪调节相关研究中,相关的 EEG 信息主要在 theta 范围内,文献依据具体请见问题 2 的答复,我们仅选取 theta 频带的结果进行分析。因此,我们将原稿中“本研究的功能连接结果表明,在相同和不同频带下与 CR 和 ES 相关显著的功能性脑区均有明显差异,这与我们的假设一致:不同情绪调节策略的神经机制存在显著差异,如图 1 所示。”这句话删掉了。

接下来,我们具体解释了两种情绪调节策略涉及的功能脑区相同的有哪些,这些一致的发现说明什么,不相同的功能脑区有哪些,这些脑区说明了什么。将原稿中“静息状态 EEG 功能网络的结果表明,与以往基于任务的 fMRI 和结构 MRI 研究的脑区结果一致,但也有

不一致的地方”这句话，改成“与以往研究发现一致，背内、外侧前额皮质（PFC）、腹外侧 PFC、脑岛、颞叶皮质、顶叶皮质参与认知重评(Buhle et al., 2014; Diekhof et al., 2011; Gross, 2015); 腹内侧 PFC、背内侧 PFC、额上回、顶叶和脑岛的脑结构变化与表达抑制相关(Drabant et al., 2009; Giuliani et al., 2011a; Hermann et al., 2014; Wang et al., 2017; Welborn et al., 2009)。”并放在 4.1 功能连接的最后一段。

具体修改内容，请参考文中 4.1 功能连接的最后一段的第二句话（见 P12）。

意见 10: 建议作者把本文研究结果作为预先研究，从中提出理论假设，然后，通过认知重评和反应抑制两种任务态脑电实验研究加以验证和拓展，这将是一个很好的研究，也更适合在本刊发表。

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议，根据您的建议，本研究增加了任务态脑电实验研究加以验证和拓展。神经心理学研究和实践依赖于认知任务测量作为大脑功能的指标。可以用 ERP 评估刺激 - 反应过程中的神经活动，但是这些认知过程与大脑内在静息状态 EEG 活动之间的关系是不清楚的。近年来已经有研究发现静息活动可以预测行为结果，揭示大脑内在波动对响应输出的功能相关性。基于此，本研究除了采集闭眼静息 EEG 数据外，还进行一个图片观看任务的被试内设计。该任务实验要求被试采用四种不同的方式（观看中性、观看负性、抑制负性、重评负性）去观看情绪图片，具体细节请参考文中 2.2.2 实验刺激和任务以及 2.2.3 实验程序（见 P7-8）。从而得到每种情况下刺激材料呈现 500ms 以后出现的晚期正电位(Late Positive Potential, LPP), LPP 是反映情绪调节效应的有效生理指标。因此，本研究在发现与两种情绪调节相关的自发脑网络的基础上，进一步探讨两种情绪调节状态下的 LPP 波幅与大脑内在的功能连接和节点效率之间的关系。

结果和相应的讨论具体请参考文中 4.讨论红色字体标识部分（见 P12-14）。

.....

审稿人 3 意见: 本研究采用量表结合静息态 EEG 的被试间相关设计，研究情绪调节特质和脑神经活动的关系，但被试量过小，在方法上也存在诸多问题：

意见 1: 在文章 2.3EEG 记录和预处理部分，“使用 0.1Hz 的低通滤波器和 50Hz 的高通滤波器以及 50Hz 陷通滤波器对 EEG 数据进行滤波”。高通低通描述错误，并且若进行了 0.1-50HZ 的带通滤波之后，50HZ 的陷通是没有必要再做的；

回应: 非常感谢并完全接受专家的修改意见，我们对数据重新滤波，只进行了 0.1-50Hz 的

带通滤波，不进行陷波处理。同时，将原文中这句话改成“使用 0.1Hz 的高通滤波器和 50Hz 的低通滤波器对 EEG 数据进行滤波”（见 P6）。

意见 2: 在文章 2.3 EEG 记录和预处理部分，“ICA 剔除眼动伪迹，电压超过 $\pm 150\mu\text{V}$ 的电极信号被排除在外以减少伪迹。然后将无伪迹的 EEG 数据按照每 2 秒为一段进行分段，最后进行全平均”。首先，若先剔除伪记再分段，将会导致数据在剔除部分的两端产生断崖，在随后计算相位滞后同步系数（基于傅里叶变换的一种方法）的时候，会产生影响，建议先分段，再剔除伪迹。其次，直接将时域非锁相数据全平均将会导致数据无意义，是否是表述有误？

回应: 非常感谢并完全接受专家的修改意见，根据您的建议已作出修改，我们首先对实验数据进行了重新预处理先进行了分段，2 秒为一段，然后剔除了伪迹。具体修改内容，请参考文中 2.3 EEG 记录和预处理红色字体标识部分（见 P6）。

另外，根据您的指导，基于傅里叶变换的相位滞后同步计算是一种锁时锁相的计算方法，的确不能将时域非锁相数据进行全平均，因此本研究直接将去除伪迹后的无伪迹数据用于接下来的计算。详细解释见本文 2.3 EEG 记录和预处理部分（见 P6）。

意见 3: 在文章 2.4 部分，“这种方法将连通性分解为瞬时和滞后成分(Pascual-Marqui et al., 2011)，能够抵消非生理性人工伪迹(Stam et al., 2007)，仅包含生理连接信息，并且受到低空间分辨率的影响最小”。首先，本文所指的‘非生理性人工伪迹’是否应该用‘容积效应’来描述。其次，Pascual-Marqui 的文献中采用了用距离脑区中心点最近的体素来替代脑区来进行功能连接分析，从而减少了 eLORETA 低分辨率所带来的影响，而本文中未提到‘以点代体’这一过程，怎么能得出“受到低空间分辨率的影响最小”这一结论？

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议，文中所指的‘非生理性人工伪迹’的确应该用‘容积效应’来描述。因此将原稿“这种方法将连通性分解为瞬时和滞后成分(Pascual-Marqui et al., 2011)，能够抵消非生理性人工伪迹(Stam et al., 2007)，仅包含生理连接信息，并且受到低空间分辨率的影响最小”进行修改，改为“在当前的研究中选择了 PLI 方法，它的最大优点是只取决于两个信号之间的相位差，并且不受容积效应的影响（Stam, Nolte, & Daffertshofer, 2007）。”

我们在正文中 2.4 功能连接的第一段第四行的位置增加“以点带体”的过程（见 P7），具体增加内容如下：

在 eLORETA 中，对 EEG 数据能进行 3D 建模（脑，头皮和颅骨隔室），并且容积空间限于皮质灰质/海马体，其包括 6239 个体素，每个 5mm×5mm×5mm。本研究通过计算相位滞后同步（PLI）进行连通性分析，对于空间无偏的滞后相位同步分析，我们根据 64 个电极位置下面的皮质体素的 MNI(蒙特利尔神经学研究所)坐标定义了 84 个感兴趣区域（ROI），用距离 84 个 ROI 脑区中心点最近的体素来替代脑区，且 PLI 方法的最大优点是它只取决于两个信号之间的相位差，并且不受容积效应的影响，基于此得出受到低空间分辨率的影响最小。

意见 4: 请在 2.4 功能连接分析提供源定位分析的细节，包括头模型，ROI 等具体细节，以及计算相位滞后同步系数的具体公式和参数的设定；

回应: 非常感谢您的修改意见，已在文中 2.4 部分作出了修改补充（见 P7）。

具体修改内容如下：本研究采用 sLORETA 进行源定位分析，在 eLORETA 中，对 EEG 数据能进行 3D 建模（脑，头皮和颅骨隔室），并且容积空间限于皮质灰质/海马体，其包括 6239 个体素，每个 5mm×5mm×5mm。本研究通过计算相位滞后同步（PLI）进行连通性分析，对于空间无偏的滞后相位同步分析，我们根据 64 个电极位置下面的皮质体素的 MNI(蒙特利尔神经学研究所)坐标定义了 84 个感兴趣区域（ROI）作为节点，边表示为不同节点的时间序列之间的相关性。使用 PLI 的最大优点是它只取决于两个信号之间的相位差，并且不受容积效应的影响(Stam, Nolte, & Daffertshofer, 2007)。PLI 的计算是根据下列公式从时间序列的相位差 $\Delta\phi(t_k)$, $k = 1 \dots N$ 中获得的：

$$PLI = \langle \text{sign}[\sin(\Delta\phi(t_k))] \rangle$$

这里， sign 是 signum 函数。PLI 量化了相对相位分布的不对称性；也就是说，相位差 $\Delta\phi$ 将在区间 $-\pi < \Delta\phi < 0$ 中的可能性不同于它将在区间 $0 < \Delta\phi < \pi$ 中的可能性。这意味着两个时间序列之间存在一致的非零相位差（‘滞后’）。如果没有耦合或者中间相位差等于或者以 $0 \bmod \pi$ 的值为中心，则预期分布是对称的 (Fraga et al., 2016)。PLI 的范围在 0 到 1 之间；两个节点的 PLI 越高，两个大脑区域之间的相关性越强。具体请见 2.4 功能连接分析部分。

Fraga González, G., Van der Molen, M., Žarić, G., Bonte, M., Tijms, J., Blomert, L., ... Van der Molen, M. W. (2016). Graph analysis of EEG resting state functional networks in dyslexic readers. *Clinical Neurophysiology*, 127(9), 3165–3175.

意见 5: 从表 2 中判断，似乎所有结果并未经过 bonferroni 校正。请检查是否正确的使用了校正方法，并提供表 1 的具体的相关值和统计检验显著值（校正后）。

回应：非常感谢并接受专家的建议，之前由于我们表达的问题，给专家造成误解。本文的相关结果都是在 MATLAB 中使用 Gretna 软件包进行计算，且都经过了 bonferroni 校正，因此所报告的结果都是经过 bonferroni 校正后的结果。已在正文中明确写出，具体请参考正文 2.7 相关分析部分（见 P8）。

由于数据按照您的建议进行了重新预处理。现已将具体的相关值和统计检验显著值（校正后）呈现在正文的表 1 和表 2 中（见 P9-10）。

意见 6：其他一些小问题：

意见 6.1：“本研究尝试从时间序列角度”这句话在本文没有太多价值，fMRI 也是从时间序列角度，这里应该强调电生理，脑电活动；

回应：非常感谢并完全接受专家的建议，由于本研究增加了任务的数据，因此这句话在文中改为“本研究从电生理的角度探讨了两种常用情绪调节策略的自发脑网络特征及认知神经活动。”（见 P1）。

意见 6.2：“休息时大脑由功能或结构的网络构成”表述有待商榷；

回应：非常感谢您的建议，经过仔细推敲，这句话确实表述不是很通顺，因此在文中将这句话改为“由于人类大脑是一个高度整合和相互协作的复杂系统，在没有任何特定任务的静息状态下仍然存在着大量的自发活动”。具体请参考正文 1.引言第六段首句部分（见 P3）。

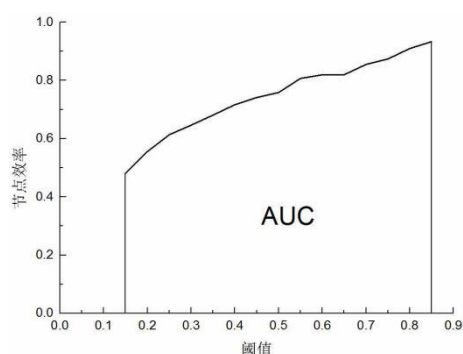
意见 6.3：“效率表示大脑区域之间”这里的“效率”明确为节点效率等；

回应：非常感谢您的建议，在文中已将这句话进行修改，将“效率”明确为“节点效率”（见 P3）。

意见 6.4：AUC 具体是如何计算的，它应该是 ROC 曲线的一个指标？

回应：现在大多数研究为了避免选择网络稀疏性引起的偏差，往往在整个稀疏范围内整合拓扑属性测量值即 AUC 值（Achard & Bullmore, 2007; Borges et al., 2016; Jung et al., 2016; Zhang et al., 2017; Zhongxiang et al., 2017; Zhu et al., 2017）。AUC（Area under a curve）表示计算一系列阈值范围内的网络测量值曲线下的面积（Borges et al., 2016）。通过执行 AUC 分析，网络测量之间的比较对阈值处理过程就不太敏感。其计算公式是： $y=f(x)$ （Wijk et al., 2010）。如下图所示，横坐标阈值即为将所有节点的总连接数的一小部分固定为常数的网络密度，本

研究选择 0.15-0.85 阈值，纵坐标为相应阈值下所构建的稀疏矩阵所对应的节点效率值，曲线下面积 AUC 为整个阈值范围内整合的节点效率值。



- Achard, S. , & Bullmore, E. . (2007). Efficiency and cost of economical brain functional networks. *PLoS Computational Biology*, 3(2), e17.
- Borges, A. M. , Kuang, J. , Milhorn, H. , & Yi, R. . (2016). An alternative approach to calculating area-under-the-curve (auc) in delay discounting research. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*.
- Jung, W. H. , Chang, K. J. , & Kim, N. H. . (2016). Disrupted topological organization in the whole-brain functional network of trauma-exposed firefighters: a preliminary study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, S0925492715301438.
- Wijk, B. C. M. V. , Stam, C. J. , & Daffertshofer, A. . (2010). Comparing brain networks of different size and connectivity density using graph theory. *PLOS ONE*, 5.
- Zhang, J. , Zhang, Y. , Wang, L. , Sang, L. , Yang, J. , & Yan, R. , et al. (2017). Disrupted structural and functional connectivity networks in ischemic stroke patients. *Neuroscience*, S0306452217306449.
- Zhongxiang, D. , Joshua, D. S. , Julian, L. , Ho, P. M. , Yu, C. , & Junhua, L. , et al. (2017). Eeg cortical connectivity analysis of working memory reveals topological reorganization in theta and alpha bands. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 237-.
- Zhu, H. , Qiu, C. , Meng, Y. , Yuan, M. , Zhang, Y. , & Ren, Z. , et al. (2017). Altered topological properties of brain networks in social anxiety disorder: a resting-state functional mri study. *Scientific Reports*, 7, 43089.

意见 6.5：图的组织目前尚比较凌乱。

回应：非常感谢您的建议，原稿中由于同时展示了五个频带下的相位滞后同步与 ES 和 CR 心理估计变量相关显著的功能连接脑区（原图 2），以及节点效率与 ES 和 CR 心理估计变量相关显著的脑区（原图 3），分别以 10 个脑图和 5 个脑图放在一起，确实显得比较凌乱。此次修改中，我们仔细查阅大量相关文献发现，在情绪调节中，与情绪调节相关的 EEG 信息主要在低频带编码，特别是在 theta 范围内（Balconi et al., 2015; Ertl et al., 2013; Mengqi et al., 2016; Qian et al., 2014; van Diessen 2015; Zhang et al., 2013），该频带的活动更能反映情绪调节的自发神经机制（Balconi et al., 2015）。基于此，我们仅选取 theta 频带的结果进行分析，这种做法将会使结果更加集中同时也更加有意义。相应的我们对文中的图进行了调整，只报

告 theta 频带的脑区结果,均只有两个脑图同时呈现。具体请参考文中的图 3、图 4(见 P9-10)。

第二轮

审稿人 1 意见:

作者较好地回答了审稿人的问题,也根据审稿人的建议增加了任务态数据和分析,本研究的内容、深度和创新价值也因此有了很大的提高。但修改稿仍然存在以下一些问题:

意见 1: 本文主要是基础研究,而不是临床应用研究,因此关于临床方面的内容尽量简写,建议文章第二段删除或者简写为一两句话。另外,本文没有纳入临床病人或亚临床人群,也未进行抑郁和焦虑等相关量表的测试,因此在摘要和结论中不能做出超出文章结果的内容,因此摘要和结论中“本研究结果表明,日常生活中经常使用表达抑制这种策略进行情绪调节的个体,可能会产生更多的情感压抑,更易造成抑郁、焦虑的状态。”这句话必须删除,但可以在讨论研究结果的延伸意义的时候提出。

回应: 非常感谢并完全接受您的指导建议。我们做出如下修改:

首先,我们接受专家的修改意见,修改稿中将引言部分第二段删除。删除原因:第二段主要阐述的是不良的情绪调节策略会导致一些精神病理学的症状,例如抑郁和焦虑等,此外,引言部分第五段之前也基于第二段阐述过使用表达抑制策略与消极的情感,包括抑郁症状等语句,本研究主要为基础研究,而不是临床应用研究,所以将第二段和第五段中类似临床的表述删除。

其次,我们接受专家的修改意见,将摘要和结论部分中“本研究结果表明,日常生活中经常使用表达抑制这种策略进行情绪调节的个体,可能会产生更多的情感压抑,更易造成抑郁、焦虑的状态。”这句话删除。删除原因:基础研究不能过度得出与临床应用研究相关的结论。

最后,与专家的修改意见相同,本文已在 4.3 综合启示部分第二段对结果进行了讨论延伸。文中阐述了经常使用表达抑制情绪调节策略个体的心理表现(心理困扰、抑郁或焦虑),具体内容请见正文 4.3 综合启示部分第 2 段黑色、红色和蓝色字体。

意见 2: 本次任务实验是补做的吗,还是和上次静息态一起记录的,只是当时没有分析任务态数据而已? 如果静息态和任务态是一起做的,那么静息态是在任务前还是任务后做的,或者前后都做过,然后被试间做了平衡。

回应：感谢专家的提问。任务态的数据是与上次静息态数据一起记录的，只是当时没有分析任务态的数据。

我们先采集被试的脑电静息态数据，然后采集了被试执行情绪调节任务时的脑电数据（Balconi et al., 2017; Karamacoska et al., 2017; Karamacoska et al., 2018; Lee et al., 2011; Sala-Llonch et al., 2012）。之所以在执行任务之前采集脑电静息态数据，是为了避免情绪调节任务图片以及疲劳效应等额外因素对静息数据的影响，进而导致结果出现波动，不能很好地反映被试处于放松状态下的静息态功能脑网络。所引用的参考文献如下：

Balconi, M., Vanutelli, M. E., & Grippa, E. (2017). Resting state and personality component (BIS/BAS) predict the brain activity (EEG and fNIRs measure) in response to emotional cues. *Brain and Behavior*, e00686.

Karamacoska, D., Barry, R. J., & Steiner, G. Z. (2017). Resting state intrinsic EEG impacts on go stimulus-response processes. *Psychophysiology*, 54(6), 894-903.

Karamacoska, D., Barry, R. J., Steiner, G. Z., Coleman, E. P., & Wilson, E. J. (2018). Intrinsic eeg and task-related changes in EEG affect GO/Nogo task performance. *International Journal of Psychophysiology*, S0167876017306864.

Lee, T. W., Yu, W. Y., Wu, H. C., & Chen, T. J. (2011). Do resting brain dynamics predict oddball evoked-potential? *BMC Neuroscience*, 12(1), 121.

Sala-Llonch, R., Peña-Gómez, C., Arenaza-Urquijo, E. M., Vidal-Piñero, D., Bargalló N., & Junqué C., et al. (2012). Brain connectivity during resting state and subsequent working memory task predicts behavioural performance. *Cortex*, 48(9), 1187-1196.

意见 3：任务态中的颜色线索“简单观看为紫色，认知重估为蓝色，表达抑制为红色。”是否进行了平衡？

回应：感谢专家的提问。Thiruchselvam 等人（2011）为了帮助被试在不同的试验类型之间进行有效切换，根据指令的类型对提示屏幕颜色编码(Dreher & J.-C, 2003; Sheppes et al., 2011; Uusberg et al., 2014)。

因此，在我们的研究中，三种条件用不同的颜色进行表示：紫色表示简单观看，蓝色表示认知重评，红色表示表达抑制。目的在于让被试能够区分用哪种策略进行调节，颜色在实验任务中主要起一种提示作用，不是每种策略轮流用一种颜色。

所引用的参考文献如下：

Thiruchselvam, R., Blechert, J., Sheppes, G., Rydstrom, A., & Gross, J. J. (2011). The temporal dynamics of emotion regulation: an EEG study of distraction and reappraisal. *Biological Psychology*, 87(1), 84-92.

Sheppes, G., Scheibe, S., Suri, G., & Gross, J. J. (2011). Emotion-regulation choice. *Psychol Sci*, 22(11), 1391-1396.

Uusberg, A., Thiruchselvam, R., & Gross, J. J. (2014). Using distraction to regulate emotion: insights from EEG theta dynamics. *International Journal of Psychophysiology Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 91(3), 254-260.

Dreher, & J.-C. (2003). Dissociating the roles of the rostral anterior cingulate and the lateral prefrontal cortices in performing two tasks simultaneously or successively. *Cerebral Cortex*, 13(4), 329-339.

意见4:第8页,“根据以前的研究和本研究的目的,选取后部3个电极点进行统计分析:CPz, CP1 和 CP2 (Thiruchselvam et al., 2011)。”,意思不清楚,理由不充分。即选择这些电极点要分析哪个成分?另外,为什么只选择3个点而不是6个电极点来分析,分析的电极点多些结果可能稳定些,而且选择6个点的文献也很多。因此,只是列举一篇或多篇文献来支持电极点位置和数量的选择的理由是不够充分的。

回应:非常感谢并完全接受您的指导建议。我们进一步查阅大量文献,确实发现很多研究用到了多个电极点。因此,为了使本研究结果更加稳定,我们采用9个电极点对情绪调节任务诱发的LPP波幅进行重新分析,我们选择的9个电极点具体为额叶(F3, Fz, F4)、中央(C3, Cz, C4)和顶叶(P3, Pz, P4)(Amrhein et al., 2004; Else et al., 2015; Langeslag et al., 2007; Langeslag et al., 2017; 王一牛等, 2007)。

选用这三个脑区的电极点进行分析的原因:先前有研究发现中央-顶叶情绪调节中起着重要作用(Qi et al., 2016; 2017),有研究在中央区,额叶-顶叶,中央-顶叶发现了LPP(Chen et al., 2012; Ma et al., 2010; Qin et al., 2009; Wessing et al., 2015; 2010),并且在认知重评和表达抑制的研究中发现这两种情绪调节策略可以激活前额皮质(Domes et al., 2010; Drabant et al., 2008; Gan et al., 2015; Miller & Cohen, 2001; Nelson et al., 2015)。认知重评与前额皮质和顶叶活动有关(Duncan & Owen, 2000; Miller & Cohen, 2001; Shushakova et al., 2017; Wessing et al., 2010);表达抑制与前额叶和顶叶活动有关(Drabant et al., 2008; Vanderhasselt et al., 2013)。因此,为了使结果更加稳定,本研究选用这三个脑区的电极点进行分析。具体修改之处已经在正文中用蓝色字体标识,修改内容如下:

2.6 ERP 数据结果部分

修改前内容如下:

根据以前的研究和本研究的目的,选取后部3个电极点进行统计分析:CPz, CP1 和 CP2 (Thiruchselvam et al., 2011)。

修改后内容如下:

根据现有相关研究和本研究的目的,选取额叶(F3, Fz, F4),中央(C3, Cz, C4)和顶叶(P3, Pz, P4)中的9个电极点进行统计分析(Amrhein et al., 2004; Langeslag et al., 2007; Langeslag et al., 2017)。

3.4 LPP 结果中的图 5 注释

修改前内容如下：

图 5 观看中性、观看负性、抑制负性和重评负性条件下，在 CPz, CP1 和 CP2 上诱发脑电的总平均图。黑色线是观看中性，红色线是认知重评，蓝色线是观看负性，绿色线是表达抑制。

修改后内容如下：

图 5 观看中性、观看负性、抑制负性和重评负性条件下,在 F3、Fz、F4、C3、Cz、C4、P3、Pz 和 P4 上诱发脑电的总平均图。黑色线表示观看中性，红色线表示认知重评，蓝色线表示观看负性，绿色线表示表达抑制。

具体引用的参考文献如下：

- Amrhein, C., Andreas Mühlberger, Pauli, P., & Wiedemann, G.. (2004). Modulation of event-related brain potentials during affective picture processing: a complement to startle reflex and skin conductance response?. *International Journal of Psychophysiology*, 54(3), 231-240.
- Cheng, Y., Hung, A. Y., & Decety, J.. (2012). Dissociation between affective sharing and emotion understanding in juvenile psychopaths. *Development and Psychopathology*,24(02), 623-636.
- Drabant, E. M., Mcrae, K., Manuck, S. B., Hariri, A. R., & Gross, J. J.. (2008). Individual differences in typical reappraisal use predict amygdala and prefrontal responses. *Biological psychiatry*, 65(5), 367-373.
- Duncan J, Owen AM. 2000. Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends Neurosci*. 23: 475–483.
- Else, J. E., Ellis, J., & Orme, E. (2015). Art expertise modulates the emotional response to modern art, especially abstract: an ERP investigation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 525.
- Gan, S., Yang, J., Chen, X., & Yang, Y.. (2015). The electrocortical modulation effects of different emotion regulation strategies. *Cognitive Neurodynamics*, 9(4), 399-410.
- Klumpp, H., Shankman, S. A., & Phan, K. L.. (2015). Prefrontal engagement by cognitive reappraisal of negative faces. *Behavioural Brain Research*, 279, 218-225.
- Langeslag, S. J. E., Jansma, B. M., Franken, I. H. A., & Strien, J. W. V.. (2007). Event-related potential responses to love-related facial stimuli. *Biological Psychology*, 76(1-2), 109-115.
- Langeslag, S. J. E., & Van Strien, J. W.. (2017). Preferential processing of task-irrelevant beloved-related information and task performance: two event-related potential studies. *Neuropsychologia*, S002839321730341X.
- Ma, Q., Jin, J., & Wang, L.. (2010). The neural process of hazard perception and evaluation for warning signal words: evidence from event-related potentials. *Neuroscience Letters*,483(3), 206-210.
- Miller EK, Cohen JD. 2001. An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci*. 24:167–202
- Omes G, Schulze L, Bo 'tger M, Grossman A, Hauenstein K, et al. (2010) The neural correlates of sex differences in emotional reactivity and emotion regulation. *Human Brain Mapping* 31:758–769.
- Qin, J., & Han, S.. (2009). Neurocognitive mechanisms underlying identification of environmental risks.*Neuropsychologia*, 47(2), 397-405.)

- Qi, S., Luo, Y., Tang, X., Li, Y., Zeng, Q., & Duan, H., et al. (2016). The temporal dynamics of directed reappraisal in high-trait-anxious individuals. *Emotion, 16*(6), 886-896.
- Qi, S., Li, Y., Tang, X., Zeng, Q., Diao, L., & Li, X., et al. (2017). The temporal dynamics of detached versus positive reappraisal: an ERP study. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 17*(3), 516-527.
- Shushakova, A., Ohrmann, P., & Pedersen, A.. (2017). Exploring deficient emotion regulation in adult adhd: electrophysiological evidence. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience.*
- Vanderhasselt, M. A., Kuhn, S., & De Raedt, R.. (2013). \"Put on your poker face\": Neural systems supporting the anticipation for expressive suppression and cognitive reappraisal. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 8*(8), 903-910.
- 王一牛, 周立明, 曲琛, & 罗跃嘉. (2007). 感情色彩双字词内隐加工的 ERP 研究. *北京师范大学学报(自然科学版), 43*(4), 466-470.
- Wessing, I., Rehbein, M. A., Postert, C., Fürniss, T., & Junghöfer, M. (2013). The neural basis of cognitive change: reappraisal of emotional faces modulates neural source activity in a frontoparietal attention network. *Neuroimage, 81*(3), 15-25.(2015).
- Wessing, I., Rehbein, M. A., Romer, G., Achtergarde, S., Dobel, C., Fürniss, T., Zwitserlood, P., & Junghöfer, M. (2010). Cognitive emotion regulation in children: reappraisal of emotional faces modulates neural source activity in a frontoparietal network. *Developmental Cognitive Neuroscience, 13*, 1-10.

意见 5: 为了便于读者阅读和理解, 图 3 和图 4 中的结果脑区较少, 建议直接写出名称, 而不是现在的 Brodmann 脑区数字。

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议。为便于读者阅读和理解, 我们对 3.2 功能连接部分的图 3 和 3.3 全局效率部分的图 4 进行重新画图, 并且为了使静息态和任务态的图前后对应, 让结果更加清晰明了, 我们补充了 3.4 LPP 部分图 6LPP 波幅和 theta 频带下相位滞后同步相关显著的脑区, 以及图 7LPP 波幅和 theta 频带下节点效率相关显著的脑区。

具体修改之处已经在正文中用蓝色字体标识, 以 3.2 功能连接部分图 3 为例,

图 3 修改前:

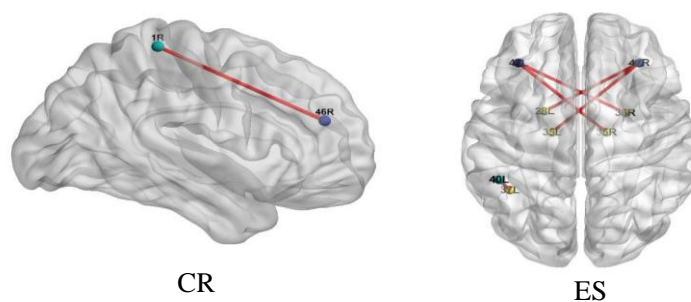


图 3 theta 频带下相位滞后同步与 ES 和 CR 心理估计变量 (即 ER 两个分量表评分) 相关显著的功能连接脑区 ($P < 0.001$, Bonferroni 校正)。左边的图表示在 theta 频带下 EEG 信号与被试 CR 得分相关显著的功能连接脑区; 右边的图表示在该频带下 EEG 信号与被试 ES 得分相关显著的功能连接脑区。图中不同颜色的圆点表示将全脑分成不同的 ROI 区域, 蓝色表示额叶 (Frontal lobe), 黄色表示颞叶 (temporal lobe), 青色表示顶叶 (parietal lobe)。红色线表示连接的两个布鲁德曼脑区之间功能上的同步性与情绪调节得分呈显著正相关。图中的标签是 Brodmann 脑区的数字, L 代表左脑, R 代表右脑。

图 3 修改后:

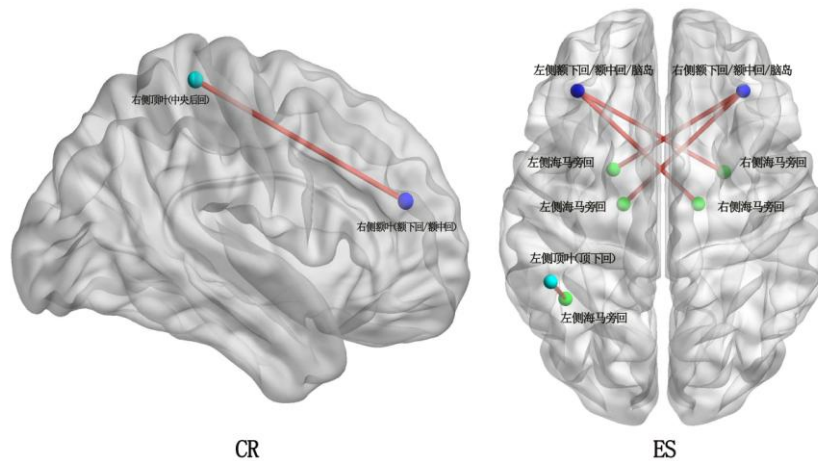


图 3 theta 频带下相位滞后同步与 ES 和 CR 心理估计变量(即 ER 两个分量表评分)相关显著的功能连接脑区($P < 0.001$, Bonferroni 校正)。左图表示在 theta 频带下 EEG 信号与被试在 CR 得分相关显著的功能连接脑区;右图表示在该频带下 EEG 信号与被试在 ES 得分相关显著的功能连接脑区。红色线表示连接的两个布鲁德曼脑区之间功能上的同步性与情绪调节得分呈显著正相关。

.....

审稿人 2 意见:

该文工作量较大,也是使用 EEG 静息网络研究情绪调节的新尝试,结果具有一定的合理性。但文章还需要做进一步修改。

意见 1: 只考察了认知重评和表达抑制,题目显得过于笼统。

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议。由于本研究主要考察了认知重评和表达抑制,因此作出如下修改:

题目修改前:大学生情绪调节策略的脑网络分析:来自 EEG/ERP 的证据

题目修改后:大学生认知重评和表达抑制情绪调节策略的脑网络分析:来自 EEG/ERP 的证据

意见 2: 摘要需要精炼

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议。我们对摘要部分进行了精炼,删除了与研究背景和意义相关的语句;由于本研究为基础研究,因此也删除了与临床应用研究相关的结论语句。摘要主要包括研究的目的、方法、结果和结论,修改后的摘要请见正文摘要部分,修改之处已经用蓝色字体标识。

意见 3: 不能对于基于 EEG 数据所做的定位分析做过度解释结果。

回应: 非常感谢并完全接受专家的建议。本研究中有有些语句确实存在用词不准确和对结果进行过度解释的现象。我们对 4.1 功能连接和 4.2 节点效率部分的第 2、3 段，4.3 综合启示部分第 1、2 段和 5 结论部分进行了修改，修改之处已经用蓝色字体标识。

4.3 功能连接第 2、3 段修改举例如下：

第 2 段内容修改前如下：

这些相关脑区之间的功能连接强弱可以揭示甚至预测个体使用 CR 和 ES 策略进行情绪调节的效果。

第 2 段内容修改后如下：

这些相关脑区之间的功能连接强弱可能会揭示 CR 和 ES 情绪调节策略使用的效果。

第 3 段内容修改前如下：

本研究结果表明，越习惯使用 ES 和 CR 进行情绪调节的个体，其前额皮质和顶叶之间的功能连接越强，其编码情绪信息的能力越强。

内容修改后如下：

本研究结果表明，如果个体习惯使用 ES 和 CR 情绪调节策略，则其前额皮质和顶叶之间的功能连接可能会增强，其编码情绪信息的能力可能也会提升。

4.4 节点效率第 2 段修改如下：

内容修改前如下：

使用 CR 进行情绪调节时的效果越好；而海马旁回的网络效率越高，使用 CR 进行情绪调节时的效果越差。

内容修改后如下：

这说明当海马旁回和枕叶皮质的节点效率越高，使用 CR 进行情绪调节时的效果可能越好；而顶叶中央后回的节点效率越高，使用 CR 进行情绪调节时的效果可能越差。

修改补充说明：

在第一次审稿意见中，专家提到相比于双侧乳突参考，零参考在全脑网络分析中更有优势。专家建议我们对静息数据进行处理时，采用零参考，我们查阅相关文献后，按照专家的意见进行修改。此次修改过程中，我们进一步对这个问题进行仔细思考并查阅相关资料，发现近几年任务数据也越来越倾向于采用零参考来进行分析（Liu et al., 2015; Teng et al., 2018; Tian & Yao, 2013; Yang et al., 2017），因此，在此次修改中，我们把任务态的数据也采用零参考进行重新分析。修改结果见 3.4 LPP 部分表 3 和表 4，修改之处已经用蓝色字体标识。

选择零参考分析任务态脑电数据的具体原因如下：

在头皮脑电图记录过程中选择参考电极是至关重要的，这是一个长期争论的脑电图参考问题；但是在身体或头皮表面上没有这样一个点，即参考的理想电位为零或恒定(Dien, 1998; Yao, 2017)。为了最小化脑电图参考对信号的潜在影响，已经提出了许多不同的参考，包括鼻尖(Andrew & Pfurtscheller, 1996)、顶点(Lehmann et al., 1998)，单侧乳突 (Başar et al., 1998)，双侧乳突(Gevins & Smith, 2000)和平均参考 (Offner, 1950)。

这些参考文献已被世界各地的许多研究团体或机构所使用；然而，脑电图信号可能存在不可忽略的偏差，因为它们都不是中性的。因此，一种被称为参考电极标准化技术(REST)的方法在 2001 年首次提出，该方法被用来近似地将平均值或任何头皮点变换到无穷远处的参考点，也就是理论上期望的零参考，并因此充当比较理想的中性参考 (Yao, 2001; Yao et al., 2005)，可以使电位质心的计算误差在多数情况下更小，采用近似的零参考可以获得更为真实的计算结果（熊红川，徐鹏，秦云，尧德中，2010）。

尽管平均参考的基本假设在某种程度上是合理的(即体积导体的表面电势积分为零)，但在电流通路中，给出了三个具体示例来显示体积导体中表面上的电势积分可能不为零(Yao, 2017)。近些年来，零参考的优点已经在许多研究中得到了证实，包括 EEG 频谱(Chella et al., 2014; Yao et al., 2005)，事件相关电位(Liu et al., 2015; Tian & Yao, 2013; Yang et al., 2017)、EEG 一致性(Marzetti et al., 2007)和脑网络分析(Chella et al., 2016; Lei and Liao, 2017; Qin et al., 2010)。目前，零参考越来越被世界各地的脑电图/事件相关电位研究所认可，很多研究实际上采用了参考电极标准化技术以获得零参考作为其新发现的基础（Li et al., 2017）。

因此，在本次修改中，综合考虑现有相关研究的做法，我们决定对任务态数据进行零参考分析。

具体引用文献如下：

熊红川, 徐鹏, 秦云, 尧德中. (2010). 不同参考电极对脑电头皮电位质心计算的影响. *中国生物医学工程学报*(1), 29-34.

Andrew, C., & Pfurtscheller, G. (1996). Dependence of coherence measurements on EEG derivation type. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 34(3), 232-238.

Chella, F., Marzetti, L., Pizzella, V., Zappasodi, F., & Nolte, G. (2014). Third order spectral analysis robust to mixing artifacts for mapping cross-frequency interactions in EEG/MEG. *NeuroImage*, 91, 146-161.

Chella, F., Pizzella, V., Zappasodi, F., & Marzetti, L.. (2016). Impact of the reference choice on scalp EEG connectivity estimation. *Journal of Neural Engineering*, 13(3), 036016.

Dien, J.. (1998). Issues in the application of the average reference: review, critiques, and recommendations. *Behavior Research Methods Instruments and Computers*, 30(1), 34-43.

Erol Başar, Rahn, E., Demiralp, T., & Martin Schürmann. (1998). Spontaneous EEG theta activity controls frontal visual evoked potential amplitudes. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 108(2), 101-109.

Gevens, & A. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10(9), 829-839.

Lehmann, D., Strik, W. K., Henggeler, B., Koenig, T., & Koukkou, M.. (1998). Brain electric microstates and momentary conscious mind states as building blocks of spontaneous thinking: i. visual imagery and abstract thoughts. *International Journal of Psychophysiology*, 29(1), 0-11.

Li, D., Fali, L., Qiang, L., Xin, W., Yongxiu, L., & Peng, X., et al. (2017). Matlab toolboxes for reference electrode standardization technique (rest) of scalp EEG. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 601-608.

Liu, Q., Balsters, J. H., Baechinger, M., van der Groen, O., Wenderoth, N., and Mantini, D. (2015). Estimating a neutral reference for electroencephalographic recordings: the importance of using a high-density montage and a realistic head model. *Journal of Neural Engineering*, 12(5), 056012.

Marzetti, L., Nolte, G., Perrucci, M. G., Romani, G. L., & Gratta, C. D.. (2007). The use of standardized infinity reference in EEG coherency studies. *NeuroImage*, 36(1), 48-63.

Offner, F. F. (1950). The EEG as potential mapping: the value of the average monopolar reference. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 2(2), 213-214.

Ping, Y., Chenggui, F., Min, W., & Ling, L.. (2017). A comparative study of average, linked mastoid, and rest references for ERP components acquired during fMRI. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 247.

Qin, Y., Xu, P., & Yao, D.. (2010). A comparative study of different references for EEG default mode network: the use of the infinity reference. *Clinical Neurophysiology*, 121(12), 1981-1991.

Teng, Z., Nie, Q., Liu, Y. & Guo, C.. (2018). Is prosocial video game exposure related to prosociality? An ERP study based on a prosocial help needed decision task. *Computers in Human Behavior*. 79,30-39.

Tian, Y., & Yao, D.. (2013). Why do we need to use a zero reference? reference influences on the ERPs of audiovisual effects. *Psychophysiology*, 50(12), 1282-1290.

Xu, L., & Keren, L.. (2017). Understanding the influences of EEG reference: a large-scale brain network perspective. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 205.

Yao, D.. (2017). Is the surface potential integral of a dipole in a volume conductor always zero? a cloud over the average reference of eeg and ERP. *Brain Topography*, 30(2), 161-171.

Yao, & Dezhong. (2001). A method to standardize a reference of scalp EEG recordings to a point at infinity. *Physiological Measurement*, 22(4), 693-711.

Yao, D., Wang, L., Oostenveld, R., Nielsen, K. D., Arendt-Nielsen, L., & Chen, A. C. N.. (2005). A comparative study of different references for EEG spectral mapping: the issue of the neutral reference and the use of the infinity reference. *Physiological Measurement*, 26(3), 173-184.