

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：普通信任博弈决策的动态过程---来自脑电时频分析的证据

作者：付超 张振 何金洲 黄四林 仇剑崑 王益文

第一轮

审稿人 1 意见：

意见 1：本文结合 ERP 和 ERO 两种技术，探讨了个体在泛化信任博弈中的脑电机制。作者在科学问题选择（引言）、实验设计、数据分析方面均体现出了较高的学术水平。文章的主要不足在于讨论部分，此部分仅就文中发现的显著脑电结果分别给予了解释，缺乏综合性的阐述。强烈建议作者重写讨论部分，着重指出：本文的结果对信任博弈相关理论有何贡献？联合采用 ERP 和 ERO 方法分析数据能得到哪些单一方法得不到的好处？使本文不仅仅是一篇严谨的实验报告，更是一篇对科学问题有所帮助的实证性研究。

回应：非常感谢审稿人对文稿讨论部分所提的宝贵建设性意见。文章讨论部分已大幅度修改与补充，重点突出了本文结果对相关理论的贡献以及联合使用 ERP 与 ERO 分析方法的优势，竭力提升文稿质量。以联合使用 ERP 与 ERO 分析方法的的优势，讨论部分增添一节内容进行阐述，主要补充内容如下：“传统的脑电实验往往侧重于时域信号分析，凭借叠加平均大量同质性试次事件相关的 EEG 信号来获得锁时锁相的 ERP，并依据分段时窗内波形图上脑电成分的差异性分离来推测其间的大脑认知加工活动。这种时域 ERP 分析方法的的优势体现为毫米级的时间分辨率，能够精确地刻画大脑认知加工的动态时间进程，特别适宜于解答认知活动何时分离的问题(Wang et al., 2013, 2014)。然而，大脑的认知活动是以神经细胞群的电位能量变化为基石的，时域 ERP 仅仅反映了脑电信号中的非节律性活动或者锁时又锁相的震荡活动，却忽视了非严格锁相的震荡活动，因此无法阐明认知活动分离何以实现的问题。

相较而言，频域震荡分析使用傅里叶转换或小波分析等信号处理方法，实现了单试次 EEG 信号由时域向频域的转换，最终平均多个试次的频域信号从而得到事件相关的能量变化(ERO)，更适宜于从神经震荡水平揭示认知活动分离如何实现的问题(陈熙海, 杨晓虹, 杨玉芳, 2013)。联合采用 ERP 和 ERO 方法分析脑电数据不仅能精确地描绘不同认知活动动态分离的时间进程，而且可以从神经细胞群突触后电位的能量变化上揭示不同认知活动动态分离的实现途径，能够更清晰明朗地揭示心理认知过程的神经生理机制。以当前研究为例，时域 N2 成分和频域 β 频段能量的动态分离能够较好地解释信任与不信任陌生他人何者为优势

反应/默认选项的问题，即在决策选项呈现后 250~350ms 期间，不信任决策比信任决策诱发了显著更负的时域 N2 成分与更强的 $\beta(18\sim 28\text{ Hz})$ 频段能量，且两种指标均反映了额叶的认知控制功能，因此更强有力地证明了信任决策比不信任决策涉及更少的认知控制加工，属于信任博弈中的默认优势选项。上述研究结果不仅对已有信任博弈的研究成果进行了补充与扩展 (Boudreau, et al., 2009; Wang et al., 2015)，而且进一步澄清了博弈决策中不同选择的优势性问题，为道德规范理论提供了一定的实证证据支持。”

详见文中讨论部分绿色字体，请审稿人审查。

意见 2: 方法中写道：“最终四种条件纳入时频分析的平均有效试次均为 9 次”，仅用 9 个 trial 叠加平均得到的时频能量分布图，可靠性不高。建议作者改进数据的分析方法。

回应：非常感谢审稿人对数据处理方法部分所提的宝贵意见。对于不同反馈后决策类型的 ERSP 分析而言，最初稿件数据分析时以试次数量最少的条件为基准，从其他条件中随机抽取相同数量的试次进行叠加，因而导致最终四种条件下有效试次只有 9 次。为了消除上述较少试次所得结果的不稳定性，我们将四种条件下的所有有效试次进行叠加分析，最终获益反馈后不信任决策条件、获益反馈后信任决策条件、损失反馈后不信任决策条件和损失反馈后信任决策条件纳入时频分析的平均有效试次数目分别为 18 ± 8 、 33 ± 17 、 13 ± 5 和 34 ± 14 。鉴于已有研究采用 10 次 (Barry, Blasio, Bernat, & Steiner, 2015) 或 20 次 (Funderud et al., 2012) 完成时频 ERSP 分析，因此上述分析试次基本满足要求。更为重要的是，前后两次时频 ERSP 分析结果基本一致，进一步证明了当前时频分析结果的有效性与稳定性。详见文章绿色字体，请审稿人审查。

Barry, R. J., De Blasio, F. M., Bernat, E. M., & Steiner, G. Z. (2015). Event-related EEG time-frequency PCA and the orienting reflex to auditory stimuli. *Psychophysiology*, 52(4), 555-561.

Funderud, I., Lindgren, M., Løvstad, M., Endestad, T., Voytek, B., Knight, R. T., & Solbakk, A. K. (2012). Differential go/nogo activity in both contingent negative variation and spectral power. *Plos One*, 7(10): e48504.

意见 3: “正选小波”应为“正弦小波”。

回应：非常感谢审稿人的细致提醒。此处错别字已修改，并重新仔细阅读全文以避免类似错误。请审稿人审查。

意见 4: 既然为中文论文，建议图 2-3 内的注释采用中文。

回应：非常感谢审稿人的宝贵意见。文中图例内文字已按要求就行修改。请审稿人审查。

审稿人 2 意见:

意见 1: 摘要部分的最后, 作者应先给出研究结果的基本解释, 然后再做最后结论。

回应: 非常感谢审稿人对摘要内容所提的意见。摘要部分已对研究结果进行了解释, 即“时域 N2 成分和频域 β 频段能量的动态分离表明信任选择是人们的默认优势选项, 而不信任选择则涉及更多的认知控制加工”。详见摘要部分绿色字体, 请审稿人审查。

意见 2: 分析方法部分, 作者指出“平均有效试次均为 46 次”, “平均有效试次均为 9 次”。这些地方, 作者应给出标准偏差。且作者是否有可能增加时频分析的有效试次数量。

回应: 非常感谢审稿人对数据处理方法部分所提的宝贵意见。

第一, 方法部分涉及到叠加试次的地方均已给出了均值和标准偏差。

第二, 鉴于已有研究采用 10 次(Barry, Blasio, Bernat, & Steiner, 2015)或 20 次(Funderud et al., 2012)完成时频 ERSP 分析, 因此决策类型的 ERSP 分析中两种决策类型(信任选择 vs. 不信任选择)具备的 46 个有效试次数量是足够的。对于不同反馈后决策类型的 ERSP 分析而言, 最初稿件数据分析时以试次数量最少的条件为基准, 从其他条件中随机抽取相同数量的试次进行叠加, 因而导致最终四种条件下有效试次只有 9 次。为了消除上述较少试次所得结果的不稳定性, 我们将四种条件下的所有有效试次进行叠加分析, 最终获益反馈后不信任决策条件、获益反馈后信任决策条件、损失反馈后不信任决策条件和损失反馈后信任决策条件纳入时频分析的平均有效试次数目分别为 18 ± 8 、 33 ± 17 、 13 ± 5 和 34 ± 14 , 基本满足上述要求。更为重要的是, 前后两次时频 ERSP 分析结果基本一致, 进一步证明了当前时频分析结果的有效性与稳定性。

详见文章绿色字体, 请审稿人审查。

Barry, R. J., De Blasio, F. M., Bernat, E. M., & Steiner, G. Z. (2015). Event-related EEG time-frequency PCA and the orienting reflex to auditory stimuli. *Psychophysiology*, 52(4), 555-561.

Funderud, I., Lindgren, M., Løvstad, M., Endestad, T., Voytek, B., Knight, R. T., & Solbakk, A. K. (2012). Differential go/nogo activity in both contingent negative variation and spectral power. *Plos One*, 7(10): e48504.

意见 3: 时频分析部分, 作者“以决策选项前 200 ms 为基线进行矫正”。时频的基线矫正选取既不靠近试次边缘, 也不靠近刺激本身。只有这样, 才能保证基线既不受边缘效应的影响, 也不被刺激后响应的干扰。建议作者选取合适的时间段做基线矫正。

回应: 非常感谢审稿人对数据处理方法部分所提的宝贵深刻意见。我们重新将时频分析的基

线矫正时间重新定义为“决策选项前 400~200ms”，进而保证基线既不受边缘效应的影响，也不被刺激后响应的干扰。依据重新定义矫正基线，稿件中时频分析部分的结果已经重新书写，且不同基线矫正后两次时频数据分析结果基本一致。详见文章绿色字体，请审稿人审查。

意见 4：行为结果部分，作者说明“主效应显著”，但是“ $p=0.051$ ”。建议改为“边缘显著”。

回应：非常感谢审稿人对数据结果书写格式所提的意见。已按要求将其改为“边缘显著”，详见文章绿色字体，请审稿人审查。

意见 5：时域部分，作者为什么不同时频部分也做“2(反馈效价) \times 2(决策类型) \times 5(电极)的三因素重复测量方差分析”？

回应：非常感谢审稿人所提的宝贵意见。考虑到已有研究结果表明先前结果效价能够调控个体随后的行为决策(Gu, Ge, Jiang, & Luo, 2010; Masaki, Takeuchi, Gehring, Takasawa, & Yamazaki, 2006)，因此我们依据信任选择后反馈效价(Gain vs. Loss)和随后试次的决策类型(Trust vs. Distrust)构建了四种条件(即获益反馈后不信任决策条件、获益反馈后信任决策条件、损失反馈后不信任条件和损失反馈后信任条件)并进行频域分析，以探究先前结果对随后行为决策的影响。依据不同反馈后决策类型的 ERSP 统计差异图，最终我们将 β 频段的 ROI 确定为(15~20 Hz, 150~300 ms)，进而从时频能量变化角度来探讨先前试次反馈效价对当前试次决策过程的影响。请审稿人审查。

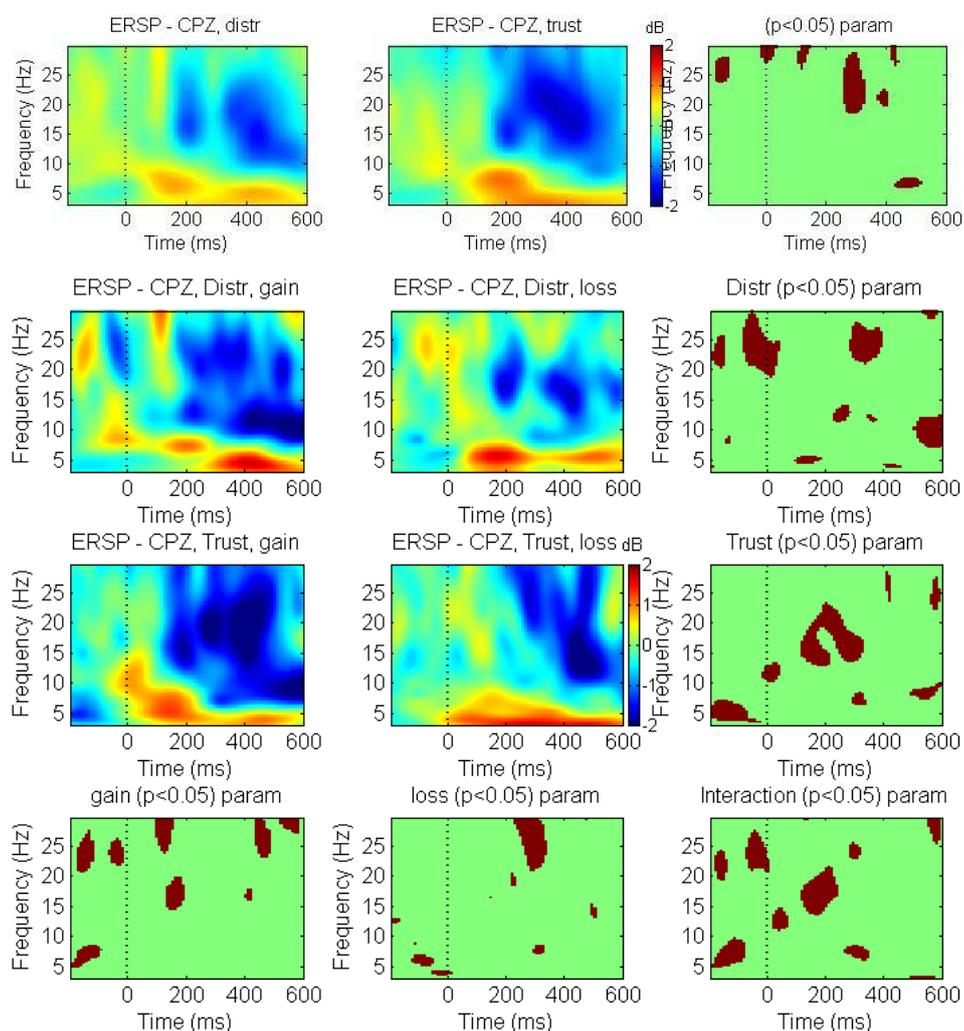
Gu, R., Ge, Y., Jiang, Y., & Luo, Y. J. (2010). Anxiety and outcome evaluation: the good, the bad and the ambiguous. *Biological psychology*, 85(2), 200-206.

Masaki, H., Takeuchi, S., Gehring, W. J., Takasawa, N., & Yamazaki, K. (2006). Affective-motivational influences on feedback-related ERPs in a gambling task. *Brain Research*, 1105(1), 110-121.

意见 6：时频 ERSP 结果部分，为什么 β 频段的 ROI 选取不一致？选择的根据是什么？

回应：非常感谢审稿人所提的宝贵深刻意见。时频 ERSP 分析过程中， β 频段的 ROI 选取的具体标准为：依据 EEGLAB 工具箱导出事件相关谱扰动(event-related spectral perturbation, ERSP)数据的统计差异图，视觉观测找到存在显著差异的频段和时间窗口，然后导出相应范围内的数据均值进行统计分析。下图分别为 CPz 电极上决策类型的 ERSP 数据统计差异图 and 不同反馈后决策类型的 ERSP 数据统计差异图。综合考虑中线五点(Fz/FCz/Cz/CPz/Pz)上 ERSP 数据统计差异图，以及当前研究所关注的 β 频段，对于决策类型的 ERSP 分析而言， β

频段的 ROI 为(18~28 Hz, 250~350 ms); 对于不同反馈后决策类型的 ERSP 分析而言, β 频段的 ROI 为(15~20 Hz, 150~300 ms)。请审稿人审查。



意见 7: 3.3.2 部分, “ $p=0.05$ ”和“ $p=0.054$ ”均为边缘显著。

回应: 非常感谢审稿人对数据结果书写格式所提的意见。已按要求将其改为“边缘显著”, 详见文中绿色字体, 请审稿人审查。

意见 8: 讨论部分略显单薄, 建议加强对 β 频段结果的讨论。

回应: 非常感谢审稿人对实验假设引入所提的宝贵意见。讨论部分已加强 β 频段结果的讨论, 具体如下: “决策类型的频域分析结果发现不信任决策比信任决策引发了更大的 β 频段 (18~28 Hz, 250~350 ms) 能量。早期研究发现静息状态下 β 频段活动往往集中于大脑运动系统上, 一度被认为是运动系统的闲置节律(idling rhythm)。新近研究者逐渐发现额-中央区域上的 β 震荡活动与认知控制加工有关, 认为它是另一种反映控制加工的有效生理指标(Aron, 2011; Huster, Enriquez-Geppert, Lavalley, Falkenstein, & Herrmann, 2013)。例如,

Marco-Pallarés 等(2008)发现, 相比于停止信号任务中的反应试次和失败的抑制试次, 成功的抑制试次导致了更强的 β 频段能量。Krämer 等(2011)发现停止信号范式中成功抑制确实能够导致增强的 β 活动, 且这种效应在中央区域最大。因此, 不同决策类型诱发的 β 频段能量差异表明不信任选择比信任选择涉及到更强的认知控制加工, 是一种消耗更多认知资源的非优势选项。与当前研究结果相一致, Swann 等(2009)采用颅内 EEG 记录技术, 发现停止信号范式中刺激呈现后 100 至 250ms 之间, 成功抑制试次能够导致右侧额下回上 β 频段活动增加。随后 Swann 等(2012)再次发现了成功抑制条件能够导致 β 活动的增强, 且颅内电极记录在右侧额下回皮层和前运动区均发现了上述效应。当前研究者关于人们为什么会信任或不信任陌生他人及何者为优势反应的理解仍存在较大争论。背叛厌恶理论强调背叛厌恶动机的普适性与重要性, 认为个体倾向于选择不信任以回避背叛所导致的负性效用; 而道德规范理论则认为人们凭借信任决策向他人品格表示尊重, 常常表现出较高的信任行为。当前研究的神经震荡结果则进一步支持了强制规范理论的观点, 即决策博弈过程中人们更多地选择信任, 且信任决策为默认优势选项。

另外, 先前结果能够调控随后行为决策及其诱发的 β 频段(15~20 Hz, 150~300 ms)能量, 表现为获益反馈后信任选择率显著低于中性反馈后信任选择率; 损失反馈后信任决策比获益反馈后信任决策诱发了更大的 β 频段能量, 而不同反馈后不信任决策诱发的 β 频段能量无显著差异。与本研究结果相一致, 有研究表明决策者在金钱获益后更倾向于规避风险, 而在金钱损失后更倾向于寻求风险(Gu et al, 2010; Polezzi et al., 2008)。频域分析结果则进一步说明, 在遭遇信任背叛之后, 决策者再次做出信任选择时会体验到更强烈的认知冲突, 需要消耗较多的认知资源来解决此冲突; 而在遭遇信任互惠后, 决策者再次做出信任选择时则体验到较少的上述认知冲突。”

详见文中讨论部分绿色字体, 请审稿人审查。

第二轮

编委复审意见:

意见: 请作者认真核对文字和数据, 另外篇幅过长, 请适当压缩内容, 建议发表。

回应: 非常感谢审稿人的宝贵意见。我们已对文章进行了仔细核对, 并对文章篇幅进行一定程度的缩减。请审稿人审查。