

孤独感对心理理论的认知神经动态影响： 来自ERPs的证据

韦一平

西南大学认知与人格教育部重点实验室，重庆

收稿日期：2025年9月15日；录用日期：2025年10月9日；发布日期：2025年10月22日

摘要

孤独感是由于个体主观社会交往期望和实际社会关系质量存在差距而产生的消极体验。孤独的进化理论提出长期处于孤独状态会负面影响个体的社会认知，以往研究表明孤独感与心理理论这一核心社会认知能力存在负相关，但尚无研究揭示孤独感如何动态影响心理理论加工的认知神经过程。本研究采用高时间分辨率的脑电技术，通过计算机版经典眼睛读心任务来探讨孤独感对心理理论加工的动态影响。结果发现，高孤独个体在任务中表现出早期面孔加工效率下降(N170减弱)和晚期补偿性资源分配增强(P3增强)，提示孤独感可能通过早期加工低效和晚期资源补偿影响心理理论加工的动态认知神经过程。

关键词

孤独感，社会认知，心理理论，脑电

Dynamic Cognitive-Neural Effects of Loneliness on Theory of Mind: Evidence from ERPs

Yiping Wei

Key Laboratory of Cognition and Personality of the Ministry of Education, Southwest University, Chongqing

Received: September 15, 2025; accepted: October 9, 2025; published: October 22, 2025

Abstract

Loneliness is a negative experience arising from a discrepancy between an individual's subjective expectations for social interaction and the actual quality of their social relationships. Evolutionary theories of loneliness suggest that prolonged loneliness can adversely affect social cognition. Previous

studies have shown that loneliness is negatively associated with theory of mind (ToM), a core social-cognitive ability, yet no research has elucidated how loneliness dynamically influences the cognitive-neural processes underlying ToM. In the present study, we employed high-temporal-resolution electroencephalography (EEG) and a computerized version of the classic Reading the Mind in the Eyes task (RMET) to investigate the dynamic impact of loneliness on ToM processing. The results revealed that individuals with high levels of loneliness exhibited reduced early-stage facial processing efficiency (attenuated N170) and enhanced late-stage compensatory resource allocation (increased P3), suggesting that loneliness may influence the dynamic cognitive-neural processes of ToM through early-stage processing inefficiency and late-stage compensatory resource recruitment.

Keywords

Loneliness, Social Cognition, Theory of Mind (ToM), EEG

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

孤独感是由于个体主观社会交往期望和实际社会关系质量存在差距而导致的一种令人不快和痛苦的主观感受(Hawkley, 2022)。随着数字化与全球化进程的加快,孤独感的流行率激增,现已成为一个亟待解决的重大社会公共卫生问题(Barton et al., 2024; O'Rourke, 2024)。孤独的进化理论提出,孤独感会对社会认知产生负面的影响(Cacioppo et al., 2015; Cacioppo & Cacioppo, 2018; Cacioppo & Hawkley, 2009)。

心理理论(Theory of Mind, ToM)是社会认知的核心能力之一,它使个体能够理解他人的信念、意图和情绪,并据此预测他人的行为(Apperly & Butterfill, 2009)。有效的心理理论使得个体在社会交往中更准确地把握他人的心理状态,帮助个体完成良好的社会互动(Delgado et al., 2023)。

以往研究证明了孤独感和心理理论能力之间的紧密联系。横断研究显示,孤独感与心理理论能力存在显著负关联。例如,研究发现孤独感越高的儿童和青少年,在心理理论任务中的表现就越差(Bosacki et al., 2020; Smogorzewska et al., 2024)。在老年痴呆患者、中风患者和精神分裂患者中,孤独感与心理理论表现也呈现显著负相关(Adams et al., 2020; Braak et al., 2022; Eramudugolla et al., 2022; Okruszek et al., 2024)。神经机制研究也显示,孤独感与参与心理理论加工的脑区密切相关。孤独感与社交大脑网络(如海马体、脑岛、腹侧纹状体和小脑)的结构和功能变化(Zovetti et al., 2021)有关。高孤独个体的颞顶交界处(TPJ)的激活减少(Cacioppo et al., 2009; Cacioppo & Hawkley, 2009)。孤独感也破坏了内侧前额叶皮层的正常激活(Lam et al., 2021; Spreng et al., 2020)。此外,最新的一项纵向研究进一步揭示了二者关系的因果方向。Yu et al. (2024)对中国小学生进行了几年追踪研究,发现小孩早期的孤独感水平预测了其后期的心理理论能力,高孤独感的小孩的心理理论能力较差。

以上研究充分证明了孤独感对心理理论能力的影响,但是,目前尚无研究探讨孤独感如何影响心理理论加工的动态认知神经过程,并且,已有研究的被试主要局限于小学儿童、青少年、老年人或者是疾病群体,尚缺乏二者关系在健康成年人群体中的探讨。

为了填补以上空白,本研究采用计算机版的经典眼睛读心任务(Reading the Mind in the Eyes Task, RMET)作为心理理论能力的测量指标(Sanvicente-Vieira et al., 2013),比较高低不同孤独感水平的健康成年人在任务执行过程中的差异。计算机化的RMET除了测量正确率外,还能捕捉更加敏感的反应时指标,

使得可以在行为层面衡量个体社会信息加工的速度。为进一步揭示孤独感如何影响心理理论的动态认知神经加工进程,本研究在 RMET 任务的行为数据的基础上补充了脑电(EEG)记录。事件相关电位(Event-Related Potentials, ERP)分析基于以往研究(Shu et al., 2014), 主要关注 N170 和 P3 成分。

N170 是一种负向波形, 通常在刺激呈现约 170 毫秒左右达到峰值(Bentin et al., 1996), 并且被广泛认为与面孔相关信息加工密切相关(Eimer, 2011)。它主要反映了个体在早期知觉阶段对面孔特征的结构编码(Rossion & Jacques, 2011), 并与梭状回等面孔加工关键脑区的激活相关(Haxby et al., 2000)。研究表明, 当个体在社会信息解读或心理理论相关任务中需要处理面孔线索时, N170 振幅的变化可能反映了早期面孔知觉加工的效率(Eimer, 2011; Shu et al., 2014)。因此, 当个体心理理论能力较差或社会认知低效时, 其在早期面孔感知阶段可能表现出较弱的神经反应, 从而导致减弱的 N170 振幅。

P3 是一种正向波形, 通常在刺激呈现约 300 毫秒左右达到峰值(Picton, 1992), 并且被可靠地证明与自我和他人社会信息的加工相关(Knyazev, 2013)。它主要反映了 RMET 加工过程中晚期注意资源的分配(Shu et al., 2014), 并和参与心理理论的关键脑区颞顶联合区(TPJ)的激活密切相关(Sæther et al., 2021)。Deschrijver et al. (2017)提出, 更大的 P3 振幅可能反映了更多的认知资源分配。因此, 心理理论能力差的个体, 可能会由于早期面孔加工的低效诱发后期更多的认知资源代偿, 以努力完成社会信息加工任务, 从而表现出增强的 P3 振幅。

综上所述, 在行为层面, 本研究假设高孤独个体表现出社会信息加工迟缓(反映为更慢的反应时)。在认知神经过程上, 本研究假设高孤独个体可能表现出早期面孔加工效率的降低(反映在更小的 N170 振幅上), 而这种早期加工的减弱可能会诱发晚期资源分配的代偿性增强(反映在更大的 P3 振幅上)。

2. 方法

2.1. 被试

我们使用 G*Power 3.1 (Faul et al., 2007)来确定合适的样本量。为了检验孤独对社会刺激神经反应的影响, 设定效应量为 0.46 (Cohen's d; Cacioppo et al., 2009)、显著性水平 $\alpha = 0.05$ 以及统计功效 0.95, 结果表明在被试间设计比较两组的差异至少需要共 53 名参与者。

本实验招募了 394 名参与者(102 名男性, 平均年龄 19.75 ± 1.64 岁), 完成了中文版 8 项加州大学洛杉矶孤独量表(ULS-8; Xu et al., 2018), 量表内部一致性良好(Cronbach's $\alpha = 0.83$), 总分范围为 8~32 分, 得分越高表示孤独感越强。根据高于或低于平均值正负 0.8 个标准差的标准(Guan et al., 2025), 得分 ≥ 21 的划为高孤独(HL)组, 得分 ≤ 15 的划为低孤独(LL)组。最终, 有 84 名健康参与者(无神经或精神疾病史)完成了脑电实验, 其中 9 名因 EEG 伪迹过多($>25\%$ 试次; Luck, 2014)被排除, 剩余 75 名参与者分为 HL 组($n=38$, 10 名男性, 平均年龄 19.55 ± 1.22 岁, ULS-8 平均分 23.16 ± 1.84)和 LL 组($n=37$, 14 名男性, 平均年龄 19.76 ± 1.64 岁, ULS-8 平均分 13.30 ± 2.27)。

2.2. 材料与实验设计

本研究用计算机版本的 RMET 任务评估心理理论能力(Sanvicente-Vieira et al., 2013)。任务包含 36 个正式试验和 1 个练习试验, 由 E-Prime 2.0 软件呈现眼睛图像刺激。为提高 ERP 信号的信噪比并确保结果的稳定性, 每张图片均呈现两次, 因此共有 72 个正式实验试次。每个实验试次均以屏幕中央持续 500 毫秒的注视点“+”开始, 随后立即呈现眼睛图像刺激(1024×768 px, 23.5×9.4 cm), 直至参与者做出反应(见图 1)。参与者需从四个描述性词中选择一个最符合眼睛图片所流露出的状态的词, 这四个词分别位于图像四个角且与屏幕中心等距。按键反应对应了四个词语的空间位置, 分别使用键盘的 S、X、K 和 M 键。实验中正确答案在各项目间的位置平衡分布。

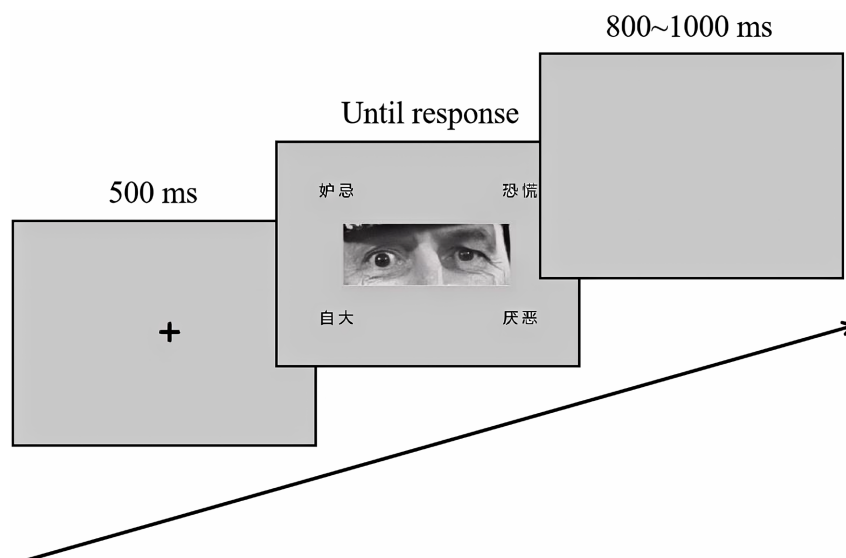


Figure 1. Stimulus presentation sequence of the computer version of RMET
图 1. 计算机版 RMET 的刺激呈现序列

2.3. 脑电记录和预处理

EEG 信号通过 64 个 Ag/AgCl 电极帽(Brain Products GmbH, Gilching, Germany)记录, 布置遵循扩展国际 10-20 系统。接地电极置于 AFz, Cz 用作放大器默认在线参考。垂直和水平眼动活动分别通过置于右眼下方及左眼外侧的辅助电极记录。记录前确认电极阻抗均低于 5 k Ω 以保证信号质量。EEG 离线预处理在 MATLAB R2022b 中使用 EEGLAB (v2024.0; Delorme & Makeig, 2004)和 ERPLAB (v8.30; Lopez-Calderon & Luck, 2014)完成。为加快处理速度, 将连续 EEG 数据降采样至 250Hz, 去除直流偏置, 并应用二阶 Butterworth 无限脉冲响应带通滤波(0.1~30 Hz, 12 dB/倍频程)。通过独立成分分析(extended infomax 算法)去除伪迹, 并剔除与眨眼和眼动相关的成分。清理后的数据重新参考至平均参考。事件相关分析中, EEG 数据以刺激前 200 ms 至刺激后 800 ms 分段, 基线校正采用刺激前-200 至 0 ms 时间窗。通过自动排除高振幅伪迹试次(任意 200 ms 滑动窗口峰-峰值>70 μ V, 每 100 ms 评估一次), 仅保留无伪迹试次用于最终的 ERP 分析。

2.4. 数据分析

行为数据分析: 采用双尾独立样本 t 检验比较高孤独组与低孤独组在正确率和反应时上的差异。

脑电数据分析: 根据前人研究(Shu et al., 2014)经验和参考总平均波形图及地形图, 选取 Pz、P1、P2、POz、PO3 和 PO4 电极作为感兴趣区域。N170 成分在 160~200 ms 时间窗内提取平均振幅, P3 成分在 200~350 ms 时间窗内提取平均振幅。随后, 分别对 N170 与 P3 的平均振幅在高、低孤独组之间进行双尾独立样本 t 检验。

所有统计分析均通过 JASP 软件完成(version 0.19.0; <http://jasp-stats.org>)。

3. 结果

3.1. 行为结果

正确率结果: 高孤独组的平均正确项目数为 47 个(SD=4.6), 低孤独组为 46 个(SD=6.9)。独立样本 t 检验结果显示, 两组在正确项目数上差异不显著, $t(73) = -1.16$, $p = 0.25$, Cohen's $d = 0.28$ (见图 2)。

反应时结果：高孤独组的平均反应时为 5090 ms (SD = 1529)，低孤独组为 4280 ms (SD = 1099)。独立样本 *t* 检验结果显示，高孤独组的反应时显著长于低孤独组， $t(73) = -2.63$, $p = 0.01$, Cohen's $d = 0.61$ (见图 2)。

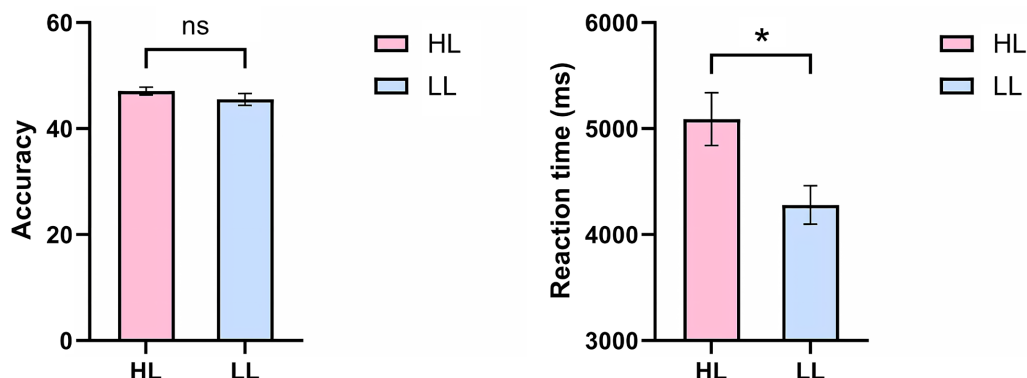


Figure 2. Statistical results of accuracy and reaction time. The bar charts represent the raw means $\pm$ standard error (SE). HL = High loneliness group, LL = Low loneliness group; ns = no significant difference, * = $p < 0.05$

图 2. 正确率(Accuracy)与反应时(Reaction time)统计结果。柱状图表示原始均值 $\pm$ 标准误(SE)。HL = 高孤独组，LL = 低孤独组；ns = 差异不显著，* = $p < 0.05$

3.2. ERP 结果

N170 平均振幅：对两组被试在 160~200 ms 的时间窗内提取平均振幅(见图 3)，高孤独组的 N170 平均振幅为 $-0.13 \mu V$ (SD = 1.56)，明显接近零，低孤独组的幅度更负，为 $-1.55 \mu V$ (SD = 2.14)。独立样本 *t* 检验结果显示(见图 4)，高孤独组的 N170 平均负幅度显著小于低孤独组， $t(73) = -3.28$, $p = 0.002$, Cohen's $d = 0.76$ 。

P3 平均振幅：对两组被试在 200~350 ms 的时间窗内提取平均振幅(见图 3)，高孤独组的 P3 平均振幅为 $2.22 \mu V$ (SD = 1.74)，低孤独组为 $1.30 \mu V$ (SD = 1.70)。独立样本 *t* 检验结果显示(见图 4)，高孤独组的 P3 平均振幅显著大于低孤独组， $t(73) = -2.31$, $p = 0.02$, Cohen's $d = 0.53$ 。

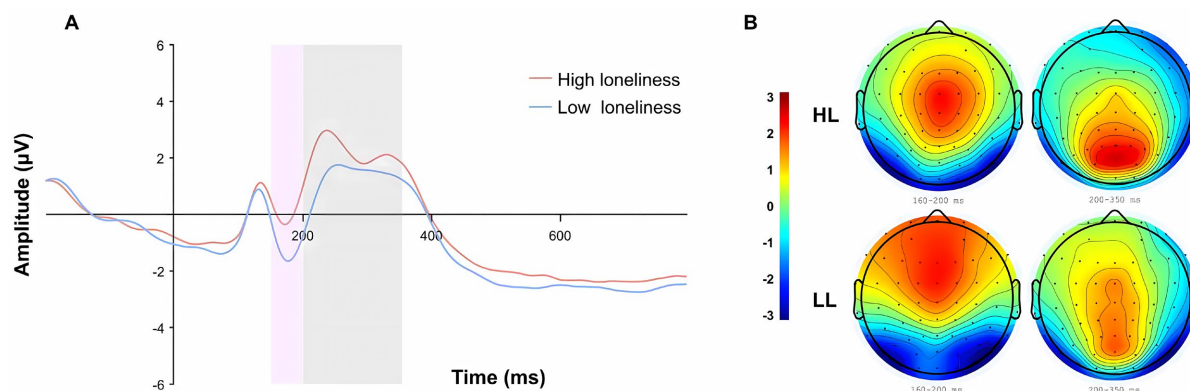


Figure 3. (A) Average ERP waveforms for high and low loneliness groups, with shaded areas (160~200 ms; 200~350 ms) indicating the analysis time windows for N170 and P3, respectively. (B) Topographic maps of the average N170 and P3 amplitudes for high and low loneliness groups. HL = High loneliness group, LL = Low loneliness group

图 3. (A) 高低孤独组平均 ERP 波形图，阴影区域(160~200 ms; 200~350 ms)分别表示 N170 和 P3 的分析时间窗；(B) 高低孤独组平均 N170、P3 振幅分布地形图，HL = 高孤独组，LL = 低孤独组

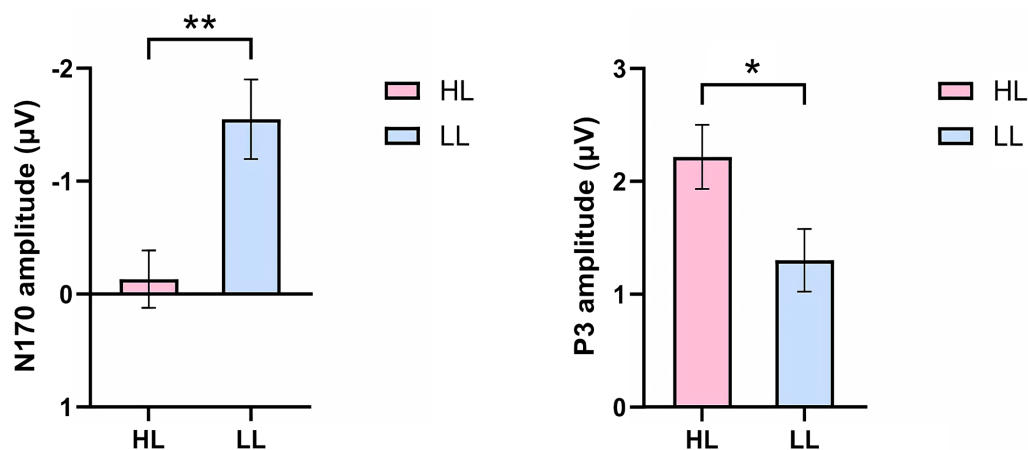


Figure 4. Statistical results of the average N170 and P3 amplitudes. The bar charts represent the raw means $\pm$ standard error (SE). HL = High loneliness group, LL = Low loneliness group; * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$

图 4. N170 和 P3 平均振幅的统计结果。柱状图表示原始均值 $\pm$ 标准误(SE)。HL = 高孤独组, LL = 低孤独组; * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$

4. 讨论

虽然以往研究证明了孤独感负向影响心理理论,但是尚无研究探讨孤独感如何影响心理理论的动态认知神经加工过程,同时研究领域也较缺乏来自健康成年人的数据。本研究采用计算机版的经典 RMET 任务测量健康成年人心理理论能力,结合了行为和 ERP 指标,揭示了孤独感影响心理理论的动态认知神经过程,为该研究领域补充了来自健康成年人群体的数据。行为结果显示,高孤独组在心理理论任务中的反应时显著长于低孤独组,而正确率无显著差异。ERP 结果显示,高孤独组表现出早期更小的 N170 和晚期更大的 P3 平均振幅。

行为结果发现,孤独感并未对健康成年人完成 RMET 的正确率产生影响,但是却显著延长了他们在完成任务时的反应时。在以往针对的儿童、青少年这些社会认知尚未发展成熟的群体,以及针对老年人、疾病患者等社会认知存在缺陷的群体的研究中,普遍发现了孤独感与 RMET 任务的正确率之间的显著负相关(Adams et al., 2020; Braak et al., 2022; Eramudugolla et al., 2022; Okruszek et al., 2024),而在本研究中,我们并未在不同孤独感水平的健康成年人中发现类似差异,这可能是由于健康成年人的社会认知已经达到成熟,同时也不存在任何认知缺陷(Hartshorne & Germine, 2015)。但是,计算机版的 RMET 任务能够记录反应时,使得我们能够在行为层面衡量社会信息加工的速度,我们发现高孤独组完成 RMET 任务的反应时显著长于低孤独组。这一结果表明,虽然孤独个体最终能够正确识别他人精神状态,但在心理理论加工过程中的确存在加工效率下降的问题。该研究结果与孤独感可能增加社会认知负荷、延迟社会信息加工的理论假设一致(Cacioppo et al., 2015; Cacioppo & Hawkley, 2009)。

ERP 结果进一步揭示了高孤独组在社会信息加工中的认知神经动态特征,高孤独个体表现出早期 N170 振幅的减弱和晚期 P3 振幅的增大。首先,在早期面孔加工阶段,高孤独组 N170 振幅显著减弱。以往研究表明, N170 振幅的变化反映了早期面孔知觉加工的效率,社会认知加工效率低的个体对刺激线索的初级感知反应会减弱,从而可能产生更小的 N170 振幅(Eimer, 2011; Haxby et al., 2000; Rossion & Jacques, 2011)。本研究 N170 振幅的结果表明,高孤独个体在心理理论加工的早期阶段可能存在类似的加工效率下降,从而表现出更小的 N170 振幅。其次,在晚期资源分配阶段,高孤独组表现出增强的 P3 振幅。以往研究表明, P3 振幅的变化反映了自我和他人相关的信息加工资源,当个体需要在社会信息加工中调动更多的认知资源时,会产生更大的 P3 振幅(Deschrijver et al., 2017; Knyazev, 2013; Shu et al., 2014)。本研

究 P3 振幅的结果表明,高孤独个体在早期阶段的加工低效可能使得他们在晚期注意资源分配阶段的补偿性增加,从而表现出更大的 P3 振幅。这一“早期加工减弱-晚期资源补偿增强”的模式证明,孤独的健康成年人在心理理论任务中,可能通过动员更多认知资源来弥补早期感知加工的低效的策略,以维持最终任务表现的正确性。

本研究整合了来自行为和 ERP 的证据,揭示了孤独感影响心理理论加工的动态认知神经过程,做出了一定的理论和实践贡献。在理论意义上,本研究首次与健康成年人群中提供了孤独感影响心理理论加工的直接神经证据。不仅表明了孤独感会动态调节社会信息加工的效率与认知资源分配,还将研究群体扩展至健康成年人。在实践意义上,本研究提示孤独干预或社会技能训练不仅应关注行为结果(Pearce et al., 2021),还应重视社会信息加工效率和认知资源分配的改善。早期社会线索加工效率的低下可能是孤独个体社会认知减弱的关键环节,因此,针对面部特征加工或快速社会线索识别的相关训练有望提升心理理论能力(Rebeschini et al., 2019),从而改善个体的社会适应性与社会交往体验。

本研究也存在一些局限性。首先,方法的局限性导致我们难以定位脑区。尽管 ERP 提供了高时间分辨率的神经证据,但其空间分辨率有限,无法精确定位脑区。未来的研究可以结合 fMRI 或源分析方法继续探讨。其次,将孤独感视为分类变量的做法可能降低了分析的统计敏感性。本研究将孤独感处理为分类变量以突出高、低孤独组之间的组间差异,然而这种方法可能削弱了我们捕捉通过连续建模所显现的更细微模式的能力(Fisher et al., 2020)。未来研究应考虑将孤独感作为连续变量。最后,生态效度有待验证。RMET 任务虽然经典有效,但其社会认知情境相对简化。未来可结合更自然的社交任务验证孤独感对心理理论加工的影响。

5. 结论

孤独的进化理论认为孤独感会负面影响社会认知,先前的研究证明了孤独感负向影响心理理论这一核心社会认知能力,但是尚无研究揭示孤独感如何影响心理理论的动态认知神经过程。本研究结合了行为与 ERP 指标,发现高孤独个体在心理理论任务中表现出反应时延迟,早期面孔加工减弱(N170 振幅减小)与晚期资源分配增强(P3 振幅增大)的特征。这些结果揭示了孤独感对心理理论加工的动态影响,填补了研究空白,并提示在干预孤独时应关注个体的早期社会线索加工效率,为提升其社会交往能力提供了潜在实践路径。

参考文献

- Adams, A. G., Henry, J. D., Molenberghs, P., Robinson, G. A., Nott, Z., & von Hippel, W. (2020). The Relationship between Social Cognitive Difficulties in the Acute Stages of Stroke and Later Functional Outcomes. *Social Neuroscience*, 15, 158-169. <https://doi.org/10.1080/17470919.2019.1668845>
- Apperly, I. A., & Butterfill, S. A. (2009). Do Humans Have Two Systems to Track Beliefs and Belief-Like States? *Psychological Review*, 116, 953-970. <https://doi.org/10.1037/a0016923>
- Barton, S., Zovko, A., Müller, C., Krabichler, Q., Schulze, J., Wagner, S. et al. (2024). A Translational Neuroscience Perspective on Loneliness: Narrative Review Focusing on Social Interaction, Illness and Oxytocin. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 163, Article ID: 105734. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105734>
- Bentin, S., Allison, T., Puce, A., Perez, E., & McCarthy, G. (1996). Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 551-565. <https://doi.org/10.1162/jocn.1996.8.6.551>
- Bosacki, S., Moreira, F. P., Sitnik, V., Andrews, K., & Talwar, V. (2020). Theory of Mind, Self-Knowledge, and Perceptions of Loneliness in Emerging Adolescents. *The Journal of Genetic Psychology*, 181, 14-31. <https://doi.org/10.1080/00221325.2019.1687418>
- Braak, S., Su, T., Krudop, W., Pijnenburg, Y. A. L., Reus, L. M., van der Wee, N. et al. (2022). Theory of Mind and Social Functioning among Neuropsychiatric Disorders: A Transdiagnostic Study. *European Neuropsychopharmacology*, 64, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2022.08.005>

- Cacioppo, J. T., & Cacioppo, S. (2018). Loneliness in the Modern Age: An Evolutionary Theory of Loneliness (ETL). In *Advances in Experimental Social Psychology* (Vol. 58, pp. 127-197). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.aesp.2018.03.003>
- Cacioppo, J. T., & Hawkley, L. C. (2009). Perceived Social Isolation and Cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.06.005>
- Cacioppo, J. T., Cacioppo, S., Capitanio, J. P., & Cole, S. W. (2015). The Neuroendocrinology of Social Isolation. *Annual Review of Psychology*, 66, 733-767. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015240>
- Cacioppo, J. T., Norris, C. J., Decety, J., Monteleone, G., & Nusbaum, H. (2009). In the Eye of the Beholder: Individual Differences in Perceived Social Isolation Predict Regional Brain Activation to Social Stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 83-92. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21007>
- Delgado, M. R., Fareri, D. S., & Chang, L. J. (2023). Characterizing the Mechanisms of Social Connection. *Neuron*, 111, 3911-3925. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2023.09.012>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An Open Source Toolbox for Analysis of Single-Trial EEG Dynamics Including Independent Component Analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Deschrijver, E., Wiersema, J. R., & Brass, M. (2017). The Influence of Action Observation on Action Execution: Dissociating the Contribution of Action on Perception, Perception on Action, and Resolving Conflict. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 17, 381-393. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0485-5>
- Eimer, M. (2011). *The Face-Sensitive N170 Component of the Event-Related Brain Potential*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199559053.013.0017>
- Eramudugolla, R., Huynh, K., Zhou, S., Amos, J. G., & Anstey, K. J. (2022). Social Cognition and Social Functioning in MCI and Dementia in an Epidemiological Sample. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 28, 661-672. <https://doi.org/10.1017/s1355617721000898>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A., & Buchner, A. (2007). G*power 3: A Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral, and Biomedical Sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Fisher, J. E., Guha, A., Heller, W., & Miller, G. A. (2020). Extreme-Groups Designs in Studies of Dimensional Phenomena: Advantages, Caveats, and Recommendations. *Journal of Abnormal Psychology*, 129, 14-20. <https://doi.org/10.1037/abn0000480>
- Guan, C., Zhou, S., Wang, Z., Gao, B., & Zheng, Y. (2025). Greater Neural Delay Discounting on Reward Evaluation in Anhedonia. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 25, Article ID: 100542. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2024.100542>
- Hartshorne, J. K., & Germine, L. T. (2015). When Does Cognitive Functioning Peak? The Asynchronous Rise and Fall of Different Cognitive Abilities across the Life Span. *Psychological Science*, 26, 433-443. <https://doi.org/10.1177/0956797614567339>
- Hawkley, L. C. (2022). Loneliness and Health. *Nature Reviews Disease Primers*, 8, 1-2. <https://doi.org/10.1038/s41572-022-00355-9>
- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The Distributed Human Neural System for Face Perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 223-233. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01482-0](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01482-0)
- Knyazev, G. G. (2013). EEG Correlates of Self-Referential Processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article No. 264. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00264>
- Lam, J. A., Murray, E. R., Yu, K. E., Ramsey, M., Nguyen, T. T., Mishra, J. et al. (2021). Neurobiology of Loneliness: A Systematic Review. *Neuropsychopharmacology*, 46, 1873-1887. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01058-7>
- Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: An Open-Source Toolbox for the Analysis of Event-Related Potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article No. 213. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00213>
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (2nd ed.). The MIT Press.
- O'Rourke, H. M. (2024). The Global Crisis of Loneliness: A Call for Contextualised, Mechanistic Research. *The Lancet Healthy Longevity*, 5, e241-e242. [https://doi.org/10.1016/s2666-7568\(24\)00030-8](https://doi.org/10.1016/s2666-7568(24)00030-8)
- Okruszek, Ł., Jarkiewicz, M., Piejka, A., Chrustowicz, M., Krawczyk, M., Schudy, A. et al. (2024). Loneliness Is Associated with Mentalizing and Emotion Recognition Abilities in Schizophrenia, but Only in a Cluster of Patients with Social Cognitive Deficits. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 30, 27-34. <https://doi.org/10.1017/s1355617723000206>
- Pearce, E., Myles-Hooton, P., Johnson, S., Hards, E., Olsen, S., Clisu, D. et al. (2021). Loneliness as an Active Ingredient in Preventing or Alleviating Youth Anxiety and Depression: A Critical Interpretative Synthesis Incorporating Principles from Rapid Realist Reviews. *Translational Psychiatry*, 11, Article No. 628. <https://doi.org/10.1038/s41398-021-01740-w>

- Picton, T. W. (1992). The P300 Wave of the Human Event-Related Potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9, 456-479. <https://doi.org/10.1097/00004691-199210000-00002>
- Rebeschini, C., de Moura, T. C., Cardoso Gerhardt, B., & Arteché, A. X. (2019). Facial Expression Recognition Training for Adults: A Systematic Review. *Cognition, Brain, Behavior. An Interdisciplinary Journal*, 23, 101-121. <https://doi.org/10.24193/cbb.2019.23.06>
- Rossion, B., & Jacques, C. (2011). *The N170: Understanding the Time Course of Face Perception in the Human Brain*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195374148.013.0064>
- Sæther, L. S., Roelfs, D., Moberget, T., Andreassen, O. A., Elvsåshagen, T., Jönsson, E. G. et al. (2021). Exploring Neurophysiological Markers of Visual Perspective Taking: Methodological Considerations. *International Journal of Psychophysiology*, 161, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.12.006>
- Sanvicente-Vieira, B., Kluwe-Schiavon, B., Wearick-Silva, L. E., Piccoli, G. L., Scherer, L., Tonelli, H. A. et al. (2013). Revised Reading the Mind in the Eyes Test (RMET)—Brazilian Version. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 36, 60-67. <https://doi.org/10.1590/1516-4446-2013-1162>
- Shu, I., Onton, J. A., Prabhakar, N., O'Connell, R. M., Simmons, A. N., & Matthews, S. C. (2014). Combat Veterans with PTSD after Mild TBI Exhibit Greater Erps from Posterior-Medial Cortical Areas While Appraising Facial Features. *Journal of Affective Disorders*, 155, 234-240. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2013.06.057>
- Smogorzewska, J., Szumski, G., Grygiel, P., Bosacki, S., & Karwowski, M. (2024). Creativity, Theory of Mind and Loneliness—The Links between Cognitive and Social Abilities of School-Age Children. *Learning and Individual Differences*, 115, Article ID: 102541. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102541>
- Spreng, R. N., Dimas, E., Mwilambwe-Tshilobo, L., Dagher, A., Koellinger, P., Nave, G. et al. (2020). The Default Network of the Human Brain Is Associated with Perceived Social Isolation. *Nature Communications*, 11, Article No. 6393. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20039-w>
- Xu, S., Qiu, D., Hahne, J., Zhao, M., & Hu, M. (2018). Psychometric Properties of the Short-Form UCLA Loneliness Scale (ULS-8) among Chinese Adolescents. *Medicine*, 97, e12373. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000012373>
- Yu, L., Li, L. M. W., & Tong, X. (2024). Understanding the Link between Theory of Mind and Loneliness among Primary School Students: A Cross-Lagged Panel Model Analysis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 242, Article ID: 105891. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2024.105891>
- Zovetti, N., Rossetti, M. G., Perlini, C., Brambilla, P., & Bellani, M. (2021). Neuroimaging Studies Exploring the Neural Basis of Social Isolation. *Epidemiology and Psychiatric Sciences*, 30, e29. <https://doi.org/10.1017/s2045796021000135>