

正念冥想训练对前注意的影响

——来自ERP的证据

肖彦翰, 杨奇伟

成都医学院心理学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年2月24日; 录用日期: 2024年4月2日; 发布日期: 2024年4月10日

摘要

目的: 探究为期5个月的正念冥想训练者在非预期视觉刺激下的前注意情况。方法: 本研究为2 (组别: 冥想组/对照组) × 2 (ERP时间窗140~200 ms/200~260 ms) × 3 (电极电位O1/O2、P07/P08、P7/P8) 的混合实验设计。根据正念五因素量表(FFMQ)得分, 筛选出无正念冥想经验且低正念水平的对照组被试23人, 从高校正念冥想活动班中筛选出具有较高正念水平的实验组被试23人, 完成跨通道延迟反应任务。结果: 在N1波幅上, 冥想组被试的N1成分波幅(-1.920.13 μ V)显著高于对照组(-2.97 \pm 0.24 μ V) ($F = 13.570, p < 0.05$); 在vMMN平均波幅上, 冥想组被试的平均波幅(-2.83 \pm 0.42 μ V)大于对照组(-1.45 \pm 0.36 μ V) ($F = 18.262, p < 0.05$)。结论: 为期5个月的正念冥想对训练者的前注意加工产生了积极影响, 表现为对听觉任务反应时的缩短以及注意资源的分配优化, 对非预期视觉刺激分配了更多注意资源。

关键词

正念冥想, 前注意, N1, vMMN

The Effect of Mindfulness Meditation Training on Pre-Attention

—Evidence from ERP

Yanhan Xiao, Qiwei Yang

School of Psychology, Chengdu Medical College, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 24th, 2024; accepted: Apr. 2nd, 2024; published: Apr. 10th, 2024

Abstract

Objective: To explore the pre-attentional processing under unexpected visual stimuli in individuals who have undergone five months of mindfulness meditation training. **Methods:** This study em-

ployed a 2 (group: meditation group/control group) × 2 (ERP time window: 140~200 ms/200~260 ms) × 3 (electrode potentials: O1/O2, P07/P08, P7/P8) mixed experimental design. Based on the Five Facet Mindfulness Questionnaire (FFMQ) scores, 23 participants with no experience in mindfulness meditation and low mindfulness levels were selected for the control group, and 23 participants with higher mindfulness levels from university mindfulness meditation classes were selected for the experimental group, completing a cross-modal delayed response task. Results: In terms of N1 amplitude, the meditation group showed a significantly higher N1 component amplitude ($-1.92 \pm 0.13 \mu\text{V}$) than the control group ($-2.97 \pm 0.24 \mu\text{V}$) ($F = 13.570, p < 0.05$); for the average vMMN amplitude, the meditation group's average amplitude ($-2.83 \pm 0.42 \mu\text{V}$) was greater than that of the control group ($-1.45 \pm 0.36 \mu\text{V}$) ($F = 18.262, p < 0.05$). Conclusion: Five months of mindfulness meditation training positively influenced the pre-attentive processing of the trainees, manifested by a shortened reaction time to auditory tasks and optimized allocation of attentional resources, allocating more attentional resources to unexpected visual stimuli.

Keywords

Mindfulness Meditation, Pre-Attention, N1, vMMN

Copyright © 2024 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/>



1. 引言

正念冥想(Mora Álvarez et al., 2023)这一古老的修行方式, 经历了数千年的传承与演化, 如今已在现代心理学和神经科学等多领域广泛研究和应用。这一概念最早源自佛教的禅修观(Eberth & Sedlmeier, 2012), 在西方心理治疗领域获得了新生, 成为一种通过培养对当下经验的有意识觉察、非评判性的关注状态, 来提升个体心理健康和认知能力的方法(Smith et al., 2019)。随着越来越多的研究证明了正念冥想在改善焦虑情绪, 减轻抑郁症状以及增加正性情绪方面所具有的积极效果(Lukashevich, Petrov, & Utochkin, 2023; Cork, Elliott, & Trombley, 2023; Semple, 2010), 学界开始关注正念练习对人类认知功能, 尤其是注意力加工过程的潜在影响(Cork et al., 2023)。注意力, 作为一种有限的心理资源, 对我们在繁杂环境中进行有效信息筛选和处理起着至关重要的作用(Lukashevich et al., 2023), 由于人脑几乎时刻都在接受着外界的巨量刺激信息, 大脑必须选择性地关注部分信息, 而忽略其他不相关的刺激, 以保证认知资源被高效利用(Smith et al., 2019)。这种对特定刺激的优先处理能力即前注意, 是认知心理学中的核心概念之一(Egeth, 1977)。前注意(陈书玲等, 2024)允许某些信息在尚未进入完全意识之前就被识别和预先处理, 这不仅为我们的生存提供了必要的适应机制, 也是复杂认知任务执行的基础(Badia-Aguarón et al., 2024)。1971年, Micheal Posner 的开创性研究首次将注意分解为警觉、定向和执行控制三个子系统, 为后续对注意机制深入研究奠定了基础(Liu et al., 2024; Mahoney et al., 2010)。警觉子成分, 特别关注于维持对环境刺激的敏感和应对状态, 是注意系统最基础的组成部分(Gresch et al., 2024; Geva et al., 2013)。这种对即将到来信息的预备状态, 不仅涉及到对外部刺激的接收和维持警醒状态(Berry et al., 2020), 还包括了对差异性刺激的自动加工能力, 即前注意能力(Åsli, Johansen, & Solhaug, 2021)。在认知心理学和神经科学的研究领域, 如何有效地测量和理解前注意加工越来越受到研究者的重视。

随着技术的进步, 特别是事件相关电位(ERPs: Event-Related Potentials)技术的应用(Schoenberg et al., 2014), 研究者现在能够以前所未有的精确度跟踪注意加工过程中的大脑活动, 为深入探究正念冥想如何

优化或影响个体的前注意加工提供了新的高效途径(Sanger, Dorjee, & Neuroscience, 2015)。通过这些研究使得人们开始理解正念冥想不仅能够改善个体的心理健康状态, 还能通过对注意力子系统的调整和加工(Sumantry & Stewart, 2021; Jha et al., 2007; Bueno et al., 2015), 多个维度对个体的认知功能产生深刻影响(Norris et al., 2018)。在深入探讨前注意加工的过程中, N1 成分和视觉失匹配负波(vMMN: Visual Mismatch Negativity) (File, Sulykos, & Czigler, 2020)成分作为事件相关电位(ERPs)技术中的关键指标(Sysoeva et al., 2015), 为认知神经心理学提供了研究人类大脑如何处理视觉和听觉信息的重要工具(Petro et al., 2023)。N1 成分通常出现在视觉或听觉刺激后的 100~200 毫秒内(Stefanics, Astikainen, & Czigler, 2015), 在视觉和听觉任务中均可以被强刺激、新异刺激明显诱发, 被认为是大脑对初始感知刺激进行编码的标志, 是研究大脑如何响应和处理外界信息的重要电生理指标(Petro et al., 2023; Boksem, Meijman, & Lorist, 2005); vMMN 通常出现在刺激呈现后的 100~250 毫秒, 其成分产生的机制目前尚不明确, 但普遍被认为与大脑的预测编码和错误检测机制有关(Kremláček et al., 2016)。vMMN 成分是研究大脑如何处理和响应环境的宝贵指标(Hedge et al., 2015), 往往由新奇或罕见刺激所诱发(Male et al., 2020), 代表了大脑对偏离预期模式刺激的自动反应, 反映了无意识的变化检测和记忆匹配过程(Dang et al., 2023), vMMN 的波幅、反应时间变化在神经发育障碍、精神疾病和老年性疾病中常作为重要的诊断和治疗指标(Maekawa et al., 2013; Winkler & Czigler, 2012)。这两种成分的研究共同揭示了前注意加工的复杂机制, 即大脑如何自动地筛选和响应环境中的新颖或重要刺激(Czigler, Weisz, & Winkler, 2006), 而无需借助意识的介入(Petro et al., 2023)。随着正念冥想在心理健康和认知促进领域的应用日益广泛, 科学家开始关注这种古老修行方式如何影响人类的注意力机制。研究显示, 长期的正念冥想练习不仅能够显著提高个体的情绪调节能力并且减少心理压力(Hölzel et al., 2011), 而且在提高注意持续性(Valentine, Sweet, & Culture, 1999), 减少心智漫游(Crescentini et al., 2016), 提升工作记忆(Quach, Mano, & Alexander, 2016), 优化注意力的分配(Mrazek et al., 2013), 根据任务需求调整注意焦点(Yakobi et al., 2021), 提高对新颖或重要信息的敏感性等方面都有不同程度的促进(Zeidan et al., 2010)。尽管正念冥想对注意力的积极影响已被初步证实, 但关于其作用机制的具体细节仍然是研究的前沿和挑战。目前, 关于正念冥想如何具体影响 N1 和 vMMN 成分的研究还相对有限, 对于这一点的深入了解将对揭示正念冥想影响认知加工的神经基础提供重要线索。此外, 正念冥想如何通过影响前注意加工来提升个体对复杂环境刺激的适应性和信息处理能力, 仍需进一步的实验研究来探索。

基于以上本研究旨在通过探索正念冥想对 N1 和 vMMN 成分的影响, 来评估正念水平对前注意状态下对新异刺激自动化加工的影响, 通过精确测量这些 ERPs 成分的变化, 本研究期望揭示正念冥想训练如何优化大脑的前注意加工机制, 为正念冥想在认知功能提升方面的应用提供科学依据。此外, 本研究的发现将有助于深化对前注意加工系统的理解, 特别是在如何通过正念冥想等方法来调节和优化这一系统的功能方面, 为后续研究提供新的视角和方向。

2. 实验对象与方法

2.1. 实验对象

被试筛选:

在问卷星平台创建问卷, 问卷内容包括基本个人信息, 有无正念冥想经验以及正念五因素量表(FFMQ: Five Facet Mindfulness Questionnaire)。在成都某高校范围内发放问卷二维码, 共有 118 人在线上填写, 填写时间不足 2 分钟的问卷视为无效问卷, 最终共获得有效问卷 72 份。根据 FFMQ 得分结果进行分组, 按照 FFMQ 问卷总得分从低到高排序, 筛选出得分在后 32% 的被试作为无冥想经验且正念水平较低的分组即对照组, 实验组被试来自高校正念冥想兴趣活动班, 根据问卷筛选出正念冥想实践时长在

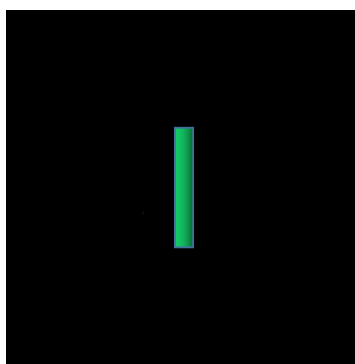
35 小时以上(为期 5 个月, 每周三次 30 min 训练)且 FFMQ 得分在前 50% 的学生作为冥想组, 即实验组。最终共筛选出被试 46 人, 其中, 实验组男 10 人, 女 13 人, 年龄(19.62 ± 1.80)岁, 对照组男 9 人, 女 24 人, 年龄(21.5 ± 0.82)岁。两组被试均视力或矫正视力正常且为右利手。

2.2. 测量工具

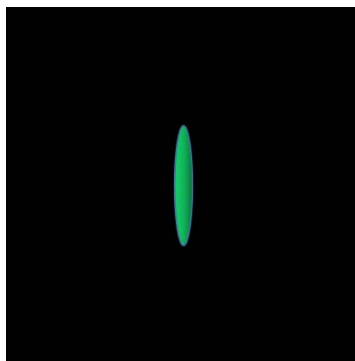
五因素正念量表(Five Facet Mindfulness Questionnaire, FFMQ)由 Ruth A. Baer 等人开发(de Bruin et al., 2012), 是一种被广泛使用的评估个体正念水平的重要工具。它通过五个维度来衡量正念, 这五个维度分别是观察、描述、有意活动、非评判、非反应(Carpenter et al., 2019)。FFMQ 共计包含 39 个题目, 每道题目按照几乎不到几乎总是分为 5 个分值, 部分题目需要反向计分以保证所有分值朝相同方向解释, 该表的内部一致性系数为 0.87, 12 周重测信度为 0.91, 具有良好的稳定性和可重复性。

2.3. 实验程序

采用“跨通道延迟反应范式”(cross-modal delayed response)以研究正念训练被试的 vMMN 成分特实验中包含两种刺激, 听觉刺激和视觉刺激, 要求被试注意并完成听觉通道的任务, 无需对屏幕上出现的视觉刺激做任何反应。视觉刺激包含偏差刺激(出现概率为 20%, 0.4×3.2 cm 的绿色条状矩形)、标准刺激(出现概率为 80%, 短直径和长直径为 0.4 和 3.2 cm 的绿色椭圆状矩形见图 1 和图 2)。



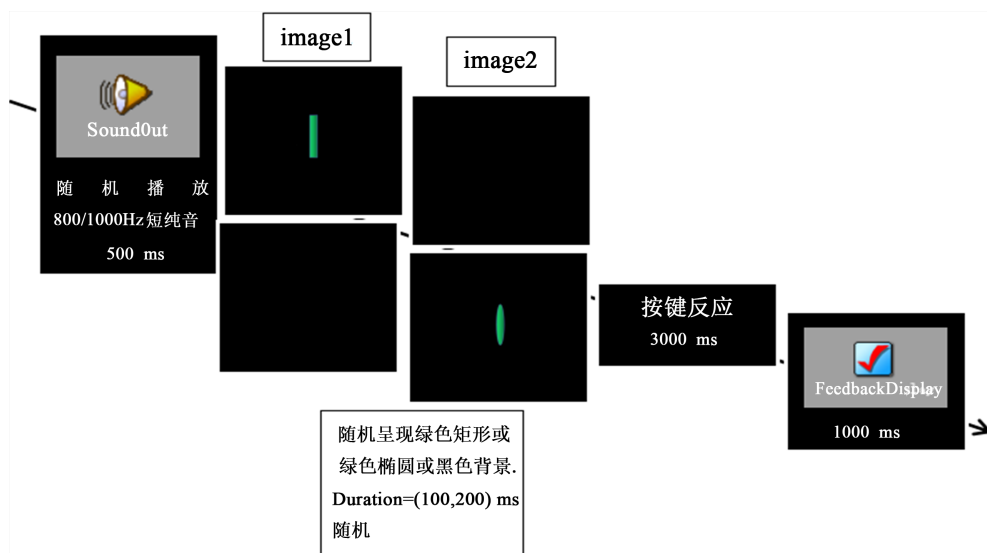
Figures 1. Green rectangle with 20% probability
图 1. 以 20% 概率呈现的绿色矩形



Figures 2. Green ellipse with 80% probability
图 2. 以 80% 概率呈现的绿色矩形

听觉刺激包括 1000 Hz 和 1250 Hz 的短纯音(出现概率均为 50%)以及微弱的反应命令信号“叮”声(click)。每次播放短纯音之后都会跟随一个“叮”声, 其之间随机插入 1~2 个视觉刺激, 视觉刺激呈现时

间为 150 ms, 刺激间隔(ISI)在 700~900 ms 随机。要求被试在听到听觉刺激后, 先进行按键准备(高音 1250 Hz 按“H”键, 低音 1000 Hz 按“G”键), 待听到微弱的反应命令信号“叮”声后, 再尽快作按键反应。由于在反应命令信号出现前, 被试尚处于紧张捕捉不知何时出现的微弱命令信号的状态, 较难分心注意到此时出现在视觉通道的非注意刺激, 可以有效的提高非注意纯度。听觉任务和视觉任务是按顺序同时进行的, trial 序列包含 5 个事件, 包括 2 个等概率目标听觉刺激、视觉标准刺激和偏差刺激以及反应命令信号“叮”声(click), 每个 trial 间的刺激间隔(SOA)为 1500 ms, 包含 500 ms 的 RT/ACC 反馈界面和 1000 ms 的空屏掩蔽, 共计包含 200 个 trial, 该部分实验过程约持续 20 分钟左右。所有的 trial 随机分布在 block 中, block 之间可以自由休息, 休息时间被试可根据自身情况决定, 上限不超过 5 分钟。在正式实验中要求被试尽量保持相同的姿势, 减少眨眼次数和身体晃动, 在休息时可以调整身体姿势并在座位上有少量的活动, 实验流程图如图 3。



Figures 3. Flow chart of cross-channel delayed reaction

图 3. 跨通道延迟反应实验流程图

2.4. 数据收集和统计处理

本实验使用 E-Prime 3.0 软件记录被试的行为表现, 采用荷兰 ANT Neuro 64 导脑电放大器系统和 eegoTM mylab 记录脑电数据。实验过程中所有电极的头皮阻抗 $<5\text{ k}\Omega$, 在线参考设置于左耳乳突 M1 电极, 离线分析时转参考电极为全脑平均值。水平眼(horizontal electrooculogram, HEOG)放置在双眼外侧, 垂直眼电(vertical electrooculogram, VEOG)放置在左眼下方。实验采样率为 1000 Hz, 在线带通滤波为 0.1~100 Hz。实验过程中保证室内温度适宜、亮度适中、周围环境安静无噪声。分析刺激呈现时的 ERPs, 截取每个刺激呈现前 200 ms 到刺激呈现后 800 ms 的时间窗口, 根据独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA), 结果删除每个数据中的眼电成分、肌肉成分及其他伪迹成分, 剔除无用电极。滤除频率 0.1 Hz 以下和 30 Hz 以上的数据以及 50 Hz 的波段, 对单个被试数据各水平的分段数据进行叠加平均得到每个被试各水平的 ERP 成分, 进入之后的数据分析。

统计分析采用 IBM SPSS Statistics 22。ERPs 结果数据的描述性统计量表示均为均值标准误。 F 值比率的自由度通过 Greenhouse-Geisser 检验矫正, 统计数据差异值显著的 p 值小于 0.05。事后比较的 Bonferroni 校正 p 值小于 0.05。

3. 结果

3.1. 行为数据结果

对实验一中听觉任务的正确率(ACC)和反应时(RT)进行独立样本 t 检验,根据独立样本 t 检验的结果,对照组被试的平均正确率为 0.948 ($\bar{x} = 0.059, df = 34$),冥想组的平均正确率为 0.977 ($SE = 0.028$)。 t 检验结果表明,两组间的正确率差异在统计学上不显著($t = -1.85, p = 0.073$),这意味着冥想对提高任务正确率的效果没有达到统计学上的显著差异。对于反应时(RT),对照组的平均反应时为 764.28 毫秒($\bar{x} = 233.03$),冥想组的平均反应时为 617.84 毫秒($SE = 170.04$),两组间的反应时差异在统计上显著($t = 2.15, p = 0.038$),这表明相较于对照组,冥想组的平均反应时间显著减少,表明中长期的正念冥想训练可能有助于提高反应速度,结果见表 1。

Table 1. Results of independent samples t -tests for correctness and response time on auditory tasks in meditation and control groups

表 1. 冥想组和对照组听觉任务正确率和反应时的独立样本 t 检验结果

指标	组别	\bar{x}	SE	t	p	df
ACC	对照组	0.948	0.059	-1.85	0.073	34
	冥想组	0.977	0.028	-1.85	0.073	34
RT	对照组	764.276	233.025	2.15	0.038	34
	冥想组	617.844	170.040	5.15	0.038	34

3.2. ERPs 数据结果

3.2.1. N1 成分

1) N1 潜伏期

通过对 N1 成分潜伏期进行 2 (组别: 对照组和实验组) \times 2 (刺激概率: 20%绿色矩形 80%绿色椭圆形) \times 3 (脑区: FP1/FP2 (额区)、O1/O2 和 PO7/PO8 (枕区))三因素混合方差分析。实验中选中的所有电极点 (FP1/2、O1/2、PO7/8)均成功诱发出 N1 成分,结果见表 2,事后比较分析,结果见表 3。

Table 2. N1 latency ANOVA results

表 2. N1 潜伏期方差分析结果

		df	F	p	η^2
N1 潜伏期	组别	1	130.644	0.000	0.318
	刺激概率	2	2.826	0.060	0.060
	组别 \times 刺激概率	1	120.827	0.000	0.405
	组别 \times 脑区	1	7.114	0.008	0.189
	刺激概率 \times 脑区	2	0.099	0.905	0.000
	组别 \times 刺激概率 \times 脑区	2	3.090	0.047	0.148
		2	0.530	0.589	0.006

Table 3. N1 latent period post hoc multiple comparison results
表 3. N1 潜伏期事后多重比较结果

自变量		均值差	标准误差	<i>p</i>	95%置信区间	
					下限	上限
对照组	实验组	31.42	3.14	0.00	25.270	37.58
冥想组	对照组	-31.42	3.14	0.00	-37.581	-25.27
20%	80%	30.22	3.16	0.00	-36.431	-24.01
80%	20%	-30.22	3.16	0.00	24.013	36.43
FP1/2	O1/2	6.83	4.24	0.109	-1.491	15.15
FP1/2	PO7/8	7.02	4.06	0.085	-0.932	14.98
O1/2	FP1/2	-6.83	4.24	0.109	-15.158	1.49
O1/2	PO7/8	0.19	4.45	0.965	-8.544	8.93
PO7/8	FP1/2	-7.02	4.06	0.085	-14.985	0.93
P/8	O1/2	-0.19	4.45	0.965	-8.933	8.54

对 N1 成分的潜伏期进行三因素方差分析后结果如下:

对于组间变量组别, 从 *F* 检验的结果分析可以得知, 显著性 *p* 值为 0.000, 水平上呈现显著性, 对 N1 成分潜伏期有显著性影响, 存在主效应。经过事后检验的结果可知组别 1 (对照组) 的 N1 成分潜伏期显著大于组别 2 (实验组), 说明冥想组的被试所激发的 N1 成分潜伏期明显短于对照组被试。

对于组内变量刺激概率, 从 *F* 检验的结果分析可以得知, 显著性 *p* 值为 0.000, 水平上呈现显著性, 对 N1 成分潜伏期有显著影响, 存在主效应。通过事后检验的结果可知呈现概率为 80% 的绿色椭圆刺激所诱发的 N1 成分潜伏期显著大于呈现概率为 20% 的绿色矩形所诱发的 N1 成分潜伏期, 说明本实验中 20% 概率刺激诱发的 N1 成分潜伏期显著大于 80% 刺激概率。

对于组内变量脑区, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.060, 水平上不呈现显著性, 对 N1 成分的潜伏期没有显著性影响, 不存在主效应。

对于交互变量组别 × 刺激概率, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.008, 水平上呈现显著性, 对 N1 成分潜伏期有显著性影响, 存在交互作用; 进一步的简单效应分析表明, 实验组被试在 80% 概率下诱发的 N1 成分潜伏期(195 ± 28 ms)显著大于 20% 概率下诱发的 N1 成分潜伏期(157 ± 24 ms)。

对于交互变量组别 × 脑区, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.905, 水平上不呈现显著性, 对 N1 成分潜伏期没有显著性影响, 不存在交互作用。

对于交互变量刺激概率 × 脑区, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.047, 水平上呈现显著性, 对 N1 潜伏期有显著性影响, 存在交互作用; 进一步简单效应分析表明, 在 20% 刺激概率下, 额区 FP1/2 电极位上诱发的 N1 成分潜伏期(186 ± 20 ms)显著大于枕区 O1/2 (171.1 ± 18 ms)和 PO7/8 (174.8 ± 15 ms)电极位所诱发的同成分, 说明枕区 O1/2 和 PO7/8 对于低概率刺激的视觉处理发生时间显著早于额区 FP1/2, 而枕区 O1/2 和 PO7/8 之间的潜伏期有差异但不构成统计学意义。

对于交互变量组别 × 刺激概率 × 脑区, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.589, 水平上不呈现显著性, 对 N1 成分潜伏期没有显著性影响, 不存在交互作用。

2) N1 波幅

对 N1 波幅进行 2 (组别: 对照组和实验组) × 2 (刺激概率: 20%绿色矩形和 80%绿色椭圆形) × 3 (脑区: FP1/FP2 (额区)、O1/O2、PO7/PO8 (枕区)) 的三因素混合方差分析, 结果见表 4 和表 5。

Table 4. N1 ANOVA results for wave amplitude

表 4. N1 波幅方差分析结果

		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
N1 波幅	组别	1	13.570	0.000	0.401
	脑区	2	4.158	0.016	0.363
	刺激概率	1	46.902	0.000	0.372
	组别 × 刺激概率	1	3.880	0.026	0.636
	组别 × 脑区	2	0.340	0.712	0.172
	刺激概率 × 脑区	2	3.794	0.023	0.001
	组别 × 刺激概率 × 脑区	2	0.464	0.464	0.151

Table 5. N1 post hoc multiple comparison results for wave amplitude

表 5. N1 波幅事后多重比较结果

自变量		均值差	标准误差	<i>p</i>	95%置信区间	
					下限	上限
对照组	实验组	1.047	0.304	0.001	0.405	1.642
冥想组	对照组	-1.047	0.304	0.001	-1.642	-0.452
20%	80%	-1.947	0.293	0.000	-2.521	-1.372
80%	20%	-30.22	3.16	0.000	1.372	2.521
FP1/2	O1/2	6.83	4.24	0.039	0.041	1.498
FP1/2	PO7/8	7.02	4.06	0.010	0.226	1.661
O1/2	FP1/2	-6.83	4.24	0.039	-1.498	-0.041
O1/2	PO7/8	0.19	4.45	0.652	-0.580	0.927
PO7/8	FP1/2	-7.02	4.06	0.010	-1.661	-0.226
P/8	O1/2	-0.19	4.45	0.652	-0.927	0.580

对 N1 成分的波幅进行三因素方差分析, 结果显示:

对于组间变量组别, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.000, 水平上呈现显著性, 对 N1 波峰幅值有显著影响, 存在主效应。通过事后检验的结果可知组别 2 (冥想组) 的 N1 波峰幅值 ($-1.92 \pm 0.13 \mu\text{V}$) 显著高于组别 1 (对照组) 的 N1 波峰幅值 ($-2.97 \pm 0.24 \mu\text{V}$)。

对于组内变量刺激概率, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.000, 水平上呈现显著性, 对 N1 波峰幅值影响极为显著, 存在主效应。通过事后检验的结果可知组别 1 和 2 在 20% 刺激概率条件

下诱发的 N1 波峰幅值($-3.42 \pm 0.30 \mu\text{V}$)均显著大于 80%刺激概率诱发的 N1 波峰幅值($-1.47 \pm 0.26 \mu\text{V}$), 这表明符合 oddball 范式的不同概率刺激激发了不同水平的 N1 成分, 这是有效诱发 vMMN 成分的电生理学基础。

对于变量脑区, 从 F 检验的结果分析可以得到, 显著性 p 值为 0.016, 水平上呈现显著性, 对 N1 波峰幅值有显著性影响, 存在主效应。通过事后检验的结果可知电极点 O1/2 ($-2.74 \pm 0.19 \mu\text{V}$)和 PO7/8 ($-2.57 \pm 0.23 \mu\text{V}$)的 N1 波峰幅值显著大于 FP1/2 ($-1.77 \pm 0.11 \mu\text{V}$), 这表明由刺激诱发的 N1 成分主要发生在枕区, 额区激活水平明显低于枕区。

对于交互变量组别 \times 刺激概率, 从 F 检验的结果分析可以得到, 显著性 p 值为 0.026, 水平上呈现显著性, 对 N1 波峰幅值有显著性影响, 存在交互作用。进一步简单效应分析发现, 冥想组的被试在 20% 刺激概率下的 N1 波峰幅值($-4.28 \pm 0.27 \mu\text{V}$)最大, 显著大于 80%刺激概率下 N1 波峰幅值($-1.65 \pm 0.13 \mu\text{V}$)和对照组被试 20%概率刺激下的 N1 波峰幅值($-2.55 \pm 0.25 \mu\text{V}$)。

对于交互项组别 \times 脑区, 从 F 检验的结果分析可以得到, 显著性 p 值为 0.712, 水平上不呈现显著性, 对 N1 波峰幅值没有显著性影响, 不存在交互作用。

对于交互项刺激概率 \times 脑区, 从 F 检验的结果分析可以得到, 显著性 p 值为 0.023, 水平上呈现显著性, 对 N1 波峰幅值有显著性影响, 存在交互作用, 进一步简单效应分析发现, 20%刺激概率下 O1/2 波幅($-4.14 \pm 0.22 \mu\text{V}$)最大, 大于 PO7/8 波幅($-3.8 \pm 0.38 \mu\text{V}$)且显著大于 FP1/2 波幅($-2.30 \pm 0.19 \mu\text{V}$), FP1/2 在两种概率刺激下诱发的 N1 成分波幅差异不显著。

对于交互项组别 \times 刺激概率 \times 电极点, 从 F 检验的结果分析可以得到, 显著性 p 值为 0.629, 水平上不呈现显著性, 对 N1 波峰幅值没有显著性影响, 不存在交互作用。

3.2.2. vMMN 成分的 ERPs 结果

由图 11 可以看出, vMMN 主要在脑后区被诱发, 电极电位包括 O1、O2、PO7、PO8、P7、P8。有研究报道早期 vMMN 可能被心理不应期效应所混淆, 为了探索 ERPs 波的连续变化, 区分潜在的不应期混淆, 因此将统计分析分为 2 个不同的窗口期(140~200 ms, 200~260 ms)。通过对不同概率刺激诱发的 N1 成分波幅相减得到视觉失匹配负波成分, 对该成分两个窗口期内的平均波幅进行 2 (组别: 对照组和实验组) \times 2 (时间窗: 140~200 ms/200~260 ms) \times 3 (电极位: O1/O2、PO7/PO8 和 P7/8)的三因素混合方差分析, 结果见表 6, 事后比较结果见表 7。

Table 6. vMMN mean wave amplitude ANOVA results

表 6. vMMN 平均波幅方差分析结果

		<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
	组别	1	18.262	0.000	0.391
	时间窗	2	21.550	0.000	0.152
	电极点	1	4.167	0.016	0.118
N1 波幅	组别 \times 时间窗	1	0.025	0.873	0.09
	组别 \times 电极点	2	4.024	0.017	0.224
	时间窗 \times 电极点	2	1.705	0.038	0.136
	组别 \times 时间窗 \times 电极点	2	1.242	0.045	0.092

Table 7. Results of post hoc multiple comparisons of vMMN average amplitude
表 7. vMMN 平均波幅事后多重比较结果

自变量		均值差	标准误差	<i>p</i>	95%置信区间	
					下限	上限
对照组	实验组	1.383	0.334	0.000	0.550	1.826
冥想组	对照组	-1.383	0.334	0.000	-1.826	-0.550
140~200	200~260	-1.503	0.333	0.000	-1.906	-1.010
140~200	200~260	1.503	0.333	0.000	1.010	1.906
FP1/2	O1/2	0.769	0.978	0.039	0.246	1.457
FP1/2	PO7/8	0.943	0.898	0.010	0.375	2.256
O1/2	FP1/2	-0.769	-0.978	0.039	-1.498	-0.041
O1/2	PO7/8	0.174	-0.018	0.064	-0.029	0.843
PO7/8	FP1/2	-0.943	-0.898	0.013	-2.256	-0.375
P/8	O1/2	-0.174	0.018	0.064	-0.843	0.029

对 vMMN 成分进行方差分析的结果显示:

对于组间变量组别, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.000, 水平上呈现显著性, 对 vMMN 平均波幅有显著性影响, 存在主效应。进行事后检验的结果可知组别 2 的平均波幅($-2.83 \pm 0.42 \mu\text{V}$) 大于组 1 ($-1.45 \pm 0.36 \mu\text{V}$), 如图 4 所示。

对于组内变量时间窗, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.000, 水平上呈现显著性, 对 vMMN 平均波幅有显著性影响, 存在主效应。进行事后检验的结果可知时间窗(140~200 ms)的 vMMN 平均波幅($-2.89 \pm 0.36 \mu\text{V}$)比时间窗(200~260 ms)的平均波幅($-1.39 \pm 0.23 \mu\text{V}$)更大。

对于组内变量电极点, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.016, 水平上呈现显著性, 对因变量有显著性影响, 存在主效应。通过事后检验的结果可知电极点 O1/2 ($-2.48 \pm 0.29 \mu\text{V}$)的平均波幅显著大于 P7/8 ($-2.26 \pm 0.09 \mu\text{V}$)、PO7/8 ($-1.48 \pm 0.16 \mu\text{V}$)的 vMMN 平均波幅的 vMMN 平均波幅。

对于交互变量组别 \times 时间窗, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *P* 值为 0.873, 水平上不呈现显著性, 对 vMMN 平均波幅影响不显著, 不存在交互作用。

对于交互项组别 \times 电极点, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.017, 水平上呈现显著性, 对 vMMN 平均波幅有显著性影响, 存在交互作用。进一步简单效应分析发现, 冥想组 O1/2 ($-2.47 \pm 0.15 \mu\text{V}$)和 PO7/8 ($-2.08 \pm 0.22 \mu\text{V}$)最大, 显著大于 P7/8 波幅($-1.41 \pm 0.39 \mu\text{V}$)。而对照组 O1/2 的 vMMN 平均波幅($-1.78 \pm 0.24 \mu\text{V}$)显著大于 PO7/8 ($-1.08 \pm 0.17 \mu\text{V}$)和 P7/8($-0.98 \pm 0.09 \mu\text{V}$)。

对于交互变量时间窗 \times 电极点, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.038, 水平上呈现显著性, 对 vMMN 平均波幅有显著性影响, 存在交互作用。进一步简单效应分析发现, O1/2、PO7/8 四个电极点在 140~200 ms 时间窗内的 vMMN 平均波幅均显著大于 200~260 ms 的平均波幅, 而 P7/8 ($0.82 \pm 0.19 \mu\text{V}$) ($-0.86 \pm 0.17 \mu\text{V}$)在两个时间窗内的平均波幅差异不显著。

对于交互项组别 \times 时间窗 \times 电极点, 从 *F* 检验的结果分析可以得到, 显著性 *p* 值为 0.045, 水平上呈现显著性, 对 vMMN 平均波幅有显著性影响, 存在交互作用。进一步简单效应分析发现, 对照组和冥想组的 O1/2、PO7/8 电极点在 140~200 ms 时间窗内的平均波幅均大于 200~260 ms。就电极点 P7/8 而言, 冥想组在 140~20 ms 时间窗内的平均波幅($-1.36 \pm 0.13 \mu\text{V}$)显著大于 200~260ms ($-0.81 \pm 0.07 \mu\text{V}$),

而对照组在 P7/8 电极点上的两个时间窗内的平均波幅差异不显著。

O1、O2、PO7、PO8、P7、P8 各电极点上, 冥想组/对照组波形图对比结果见图 5~10; 地形图结果见图 11。

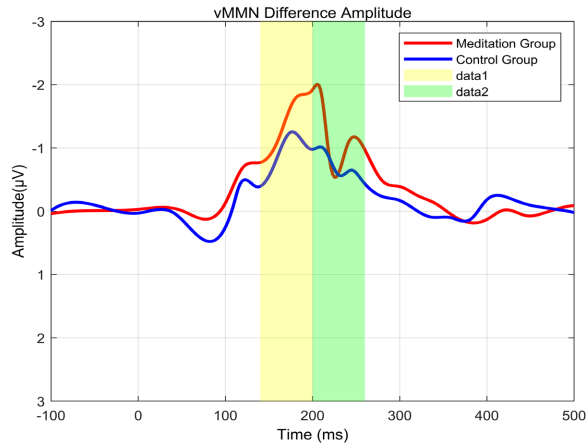


Figure 4. vMMN components in meditation and control groups
图 4. 冥想组和对照组 vMMN 成分

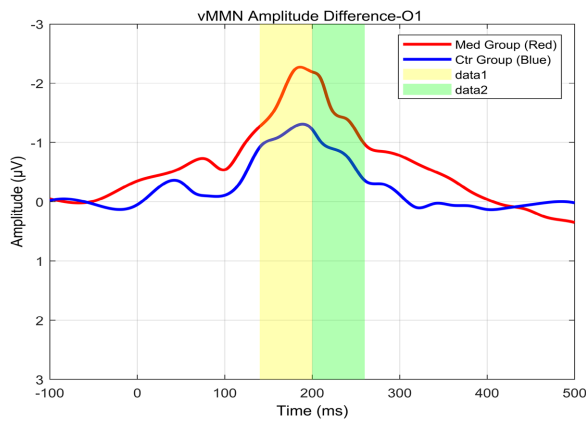


Figure 5. O1 vMMN components of meditation and control groups at electrode sites
图 5. O1 电极点上冥想组和对照组的 vMMN 成分

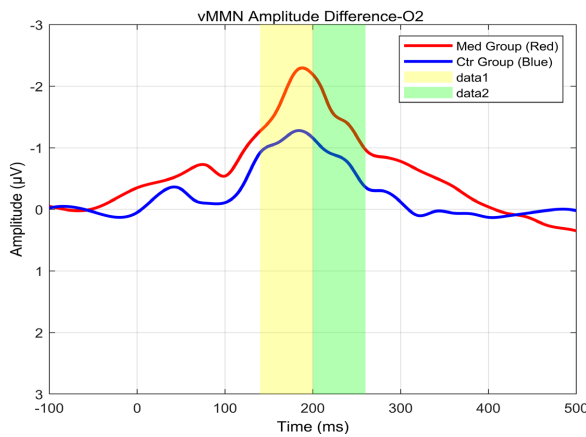


Figure 6. O2 vMMN components of meditation and control groups at electrode sites
图 6. O2 电极点上冥想组和对照组的 vMMN 成分

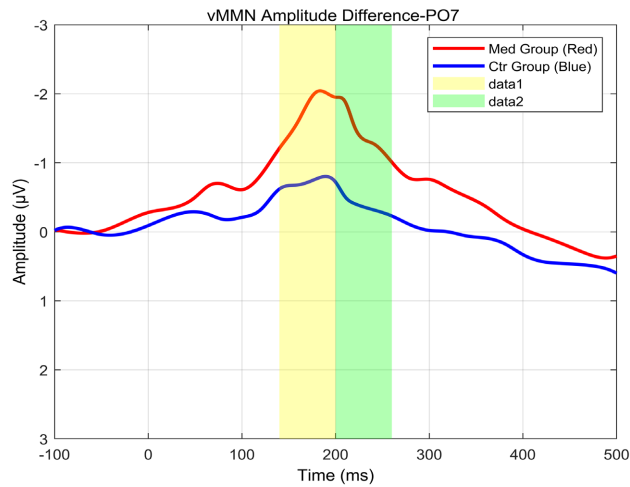


Figure 7. PO7 vMMN components of meditation and control groups at electrode sites
图 7. PO7 电极点上冥想组和对照组的 vMMN 成分

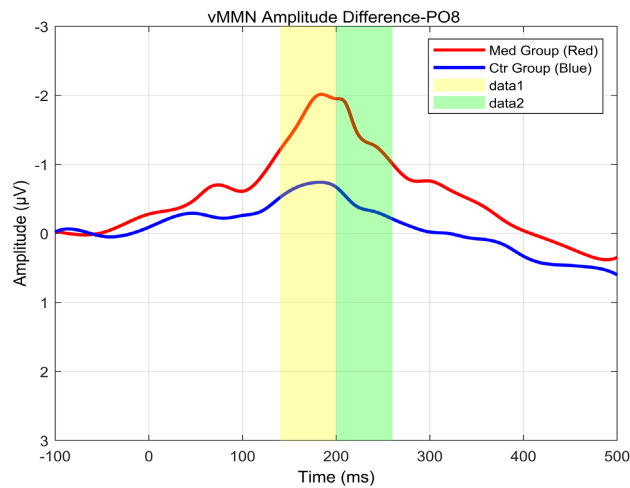


Figure 8. PO8 vMMN components of meditation and control groups at electrode sites
图 8. PO8 电极点上冥想组和对照组的 vMMN 成分

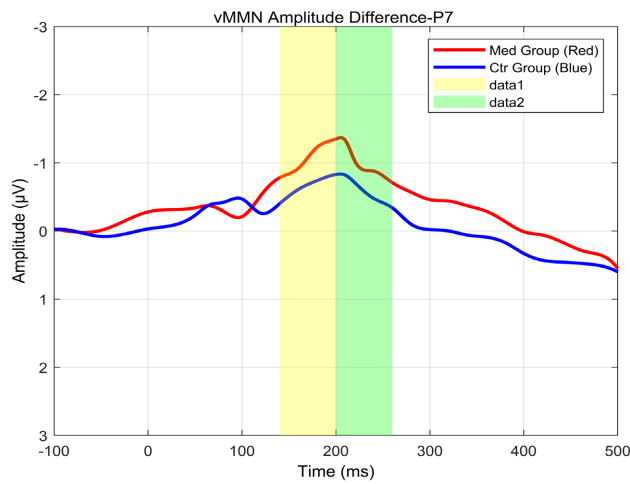


Figure 9. P7 vMMN components of meditation and control groups at electrode sites
图 9. P7 电极点上冥想组和对照组的 vMMN 成分

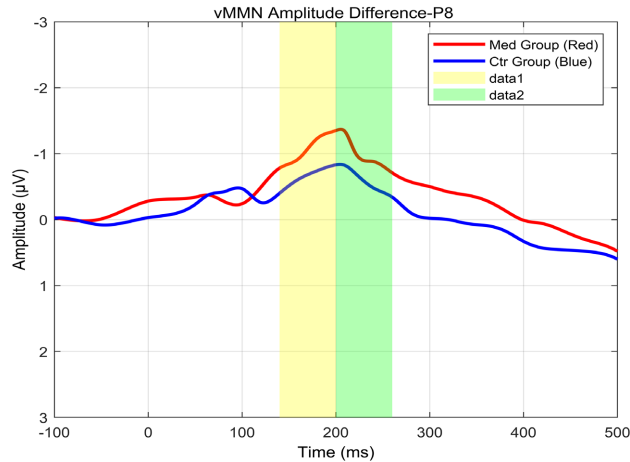


Figure 10. P8 vMMN components of meditation and control groups at electrode sites
图 10. P8 电极点上冥想组和对照组的 vMMN 成分

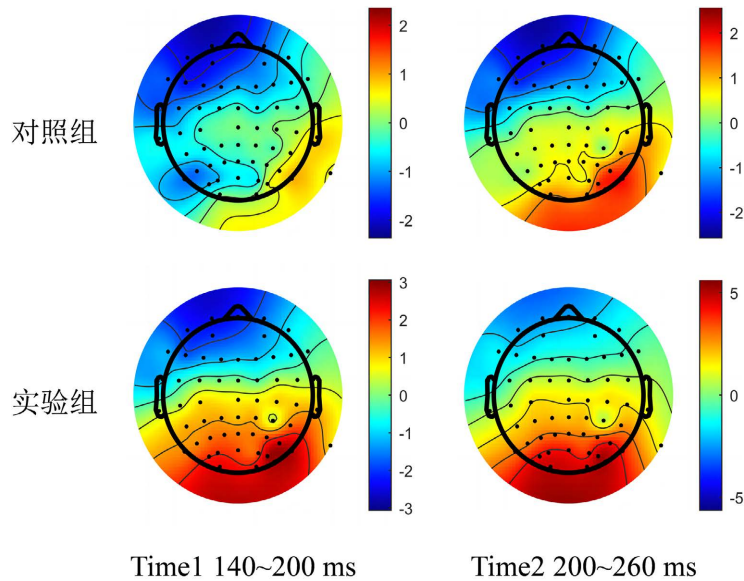


Figure 11. Brain topography (2D) of the vMMN stimulated by the control group and the meditation group at different window periods

图 11. 对照组和冥想组在不同窗口期激发的 vMMN 脑地形图(2D)

4. 讨论

本研究的结果揭示了正念冥想训练对前注意能力的影响:

4.1. 行为学分析

在行为学指标方面, 两组被试的反应时存在显著差异, 而正确率方面的差异不显著。这一结果可能表明, 尽管正念冥想训练和未训练的对照组在识别和处理听觉刺激的准确性方面没有显著差异, 但冥想训练影响了信息处理的速度。正念冥想可能通过提高注意力的集中和认知控制能力, 使得个体能够在听觉任务中更快地做出反应。反应时上的加快可能反映了冥想训练者在面对两个或多个任务时, 认知资源在不同程度上得以重新分配并且在反应选择机制方面根据任务需要进行内部调整以更有效率地达成任务要求, 这与人研究结论相一致(Sumantry & Stewart, 2021)。然而, 由于正确率未显示出组间差异, 这表

明所有参与者都能以相似的准确率完成任务, 暗示了冥想训练可能主要优化了处理效率而非刺激识别的准确性, 也有可能是因为天花板效应, 实验中图形的刺激复杂程度尚不足以引起两组被试在正确率上显著差异。以上发现为正念冥想在提高认知效率方面的潜力提供了进一步的证据。

4.2. ERPs 分析

4.2.1. N1 成分分析

在 N1 成分波幅和潜伏期上, 实验中冥想组相比对照组显示出更大的 N1 波峰幅值, 这表明经过冥想训练的个体在初步视觉信息处理方面可能更加敏感和高效。这一结果与正念冥想强调的提升当下时刻感知能力的目标一致, 可能反映了冥想训练增强了大脑对外部刺激(如视觉刺激)的自动化处理能力。脑区和刺激概率的主效应及其交互作用进一步表明, 不同脑区对视觉刺激的处理能力受到刺激概率的影响, 尤其是在低概率(20%绿色矩形)刺激条件下, 枕区与额区之间的波幅差异显著, 出现这种结果的可能原因是, 冥想训练能够促进大脑前额叶区域的活动, 调整或优化对新奇刺激、重要刺激的注意力分配。此外, 冥想组相比对照组具有更短的 N1 潜伏期, 这意味着冥想训练可能提高了视觉信息处理的速度。这一发现在原有正念冥想影响视觉注意的研究基础上给出了更进一步的证据(Brown et al., 1984), 表明了正念冥想在提升个体对视觉信息快速反应能力方面的作用。综上所述, 这些结果为正念冥想在增强视觉注意力和处理效率方面提供了神经生物学证据, 暗示了冥想训练可能对改善视觉系统的自动化处理能力具有积极作用。

4.2.2. vMMN 成分分析

通过对不同概率刺激(20%概率绿色矩形、80%概率绿色椭圆)诱发的 140~260 ms 时间窗内的波形相减得到了较为纯粹意义明确的 ERPs 成分——视觉失匹配负波(vMMN), 分析结果表明:

1) 不管是对照组还是冥想组都有效激发出了 vMMN 成分, 说明无论是冥想组还是对照组都有非注意条件下自动加工的能力。vMMN 平均波幅在组别上的差异揭示了经过 6 个月的正念冥想训练, 被试在进行视听觉双任务时, 其视觉失匹配负波(vMMN)的波幅比对照组更大。这一结果支持了正念冥想可能增强个体对非注意视觉刺激的自动化处理能力的假设。正念冥想强调在当前时刻保持对经验的开放、接纳和无评判的注意, 这种训练可能提高了大脑处理外部刺激变化的灵敏度, 尤其是在多任务情境下对被动接受的视觉信息的处理。这表明冥想实践可能通过增强大脑的自动化信息处理机制, 改善了个体的注意力资源分配; 时间窗的主效应显著, 其中 140~200 ms 的时间窗内 vMMN 的平均波幅大于(200~260 ms)时间窗, 这可能揭示了视觉信息处理具有的动态性。早期时间窗(140~200 ms)内波幅的增加可能反映了对视觉刺激变化的初步自动化检测, 后期时间窗(200~260 ms)波幅的减少可能表明随着时间的推移, 对刺激的自动化处理投入的认知资源逐渐减少。这进一步说明, 在正念冥想训练后, 被试对于视觉刺激的自动化处理在早期阶段更为活跃和敏感。

2) 本研究中值得一提的是呈现出显著的交互效应, 这不仅强调了正念冥想在视觉信息处理中的潜在作用, 而且还揭示了冥想训练可能如何调节大脑对视觉刺激处理的优先性, 特别是在识别和响应非预期的视觉刺激时。一方面, 组别与电极点的交互作用表明, 冥想组在 O1/2 和 PO7/8 电极点上的平均波幅无显著差异, 且这两个点位的平均波幅显著大于 P7/8 电极点, 而对照组则表现为 O1/2 电极点的波幅显著大于 PO7/8 和 P7/8, 而 PO7/8 与 P7/8 之间差异不显著。这一结果可能反映了冥想训练通过增强个体在枕区的视觉信息处理能力, 促进了对非预期刺激的神经响应, 并反映在视觉皮层的早期处理阶段。另一方面, 组别、时间窗和电极点的三重交互作用进一步展示了冥想对视觉信息处理更复杂的可能影响。在 O1/2 和 PO7/8 电极点上, 所有被试在(140~200 ms)时间窗内的 vMMN 平均波幅均显著大于时间窗(200~260 ms), 暗示了对非预期视觉刺激反应的早期敏感性。而在电极点 P7/8 上, 仅冥想组表现出(140~200 ms)的波幅显

著大于(200~260 ms), 而对照组在这两个时间窗内的差异不显著, 这可能表明冥想训练增强了训练者在特定脑区对视觉刺激处理的优先级。这些发现共同指向了一个重要的概念, 即正念冥想不仅可能优化训练者对视觉刺激的处理能力, 而且还在时间维度上提升了对非预期视觉刺激的敏感性。这种优化和提升可能是通过调节大脑中负责处理视觉信息的神经网络实现的, 特别是在对偏离预期刺激的识别和响应上。正念冥想作为一种获得广泛使用的认知训练工具, 其对视觉信息处理能力的影响强调了冥想在促进注意力、知觉灵敏度和认知控制方面的价值(李红玉, 2015)。进一步的研究可能会揭示正念冥想对大脑其他功能领域的潜在影响, 为开发基于冥想的认知和情绪调节干预提供科学依据。

5. 不足与展望

本研究探讨了为期 5 个月的正念冥想训练对受试者前注意产生的影响及其潜在的生理机制, 而这仅涉及了注意加工研究中一个阶段, 注意加工研究的其他领域仍亟待探索。在本研究中视觉刺激和听觉刺激较为简化, 在更复杂的外部刺激情况下, 正念冥想会产生怎样的具体影响还有待考证, 未来可以选取更多元化的视觉信息作为刺激图片开展研究, 也可以以视觉通道刺激为等概率刺激, 听觉通道为差异刺激, 以探究正念冥想训练在本实验镜像情况下对注意力的影响情况。此外在未来的研究中, 将进一步优化设备, 采用标准化低分辨率电磁扫描(sLORETA)技术, 对脑区进行源定位分析, 更精确定位不同脑区在注意加工过程中的功能。

6. 结论

在前注意加工阶段的视觉通道的非注意条件下, 正念冥想受训者对偏差刺激(20%概率刺激)的注意加工存在优势效应, 这体现在冥想组被试的 N1 成分波幅以及由偏差刺激诱发出的 vMMN 成分波幅均显著大于对照组, 这说明进行中等长度时间(五个月, 每周三次, 每次 30 min 正念冥想训练)的正念冥想训练能够有效地提升被试前注意加工阶段的认知加工效率, 通过优化认知资源分配, 对前注意加工阶段分配更充足认知资源以实现对于新异刺激的更高自动化加工程度。在视觉失匹配负波(vMMN)成分上, 冥想组被试 O1/2 和 PO7/8 电极点上的反应比在 P7/8 电极点上更为显著, 这表明正念冥想训练可能促进了大脑枕部区域, 特别是枕区和顶枕区的神经可塑性, 从而提高了对新异视觉刺激的敏感性和处理能力。

参考文献

- 陈书玲, 贾会宾, 靳璨, 等(2024). 发展性协调障碍儿童视觉通道前注意加工的特点: 来自 ERP 的证据. *心理发展与教育*, 40(1), 19-28.
- 李红玉(2015). *正念训练对返回抑制的调节与控制*. 硕士学位论文, 苏州: 苏州大学.
- Åsli, O., Johansen, M. F., & Solhaug, I. (2021). The Effects of Brief Mindfulness Training on Attentional Processes: Mindfulness Increases Prepulse Facilitation but Not Prepulse Inhibition. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 582057. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.582057>
- Badia-Aguarón, T., Royuela-Colomer, E., Pera-Guardiola, V., Vergés-Balasc, P., Cebolla, A., Luciano, J. V., Soler, J., Feliu-Soler, A., & Huguet Miguel, A. (2024). Combining Mindfulness and Cognitive Training in Children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD): Study Protocol of a Pilot Randomized Controlled Trial (the NeuroMind Study). *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1291198. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1291198>
- Berry, B. A., Meyer, G. J., O'Gorman, E. T., Roy, M., Sholander, L. E., & Mihura, J. L. (2024). Simulating Local Biases in Visual Attention in Neurocognitive Performance. *Perceptual and Motor Skills*, 131, 135-160. <https://doi.org/10.1177/00315125241228128>
- Boksem, M. A., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2005). Effects of Mental Fatigue on Attention: An ERP Study. *Cognitive Brain Research*, 25, 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011>
- Brown, D., Forte, M., & Dysart, M. (1984). Visual Sensitivity and Mindfulness Meditation. *Perceptual and Motor Skills*, 58, 775-784. <https://doi.org/10.2466/pms.1984.58.3.775>
- Bueno, V. F., Kozasa, E. H., da Silva, M. A., Alves, T. M., Louzã, M. R., & Pompéia, S. (2015). Mindfulness Meditation

- Improves Mood, Quality of Life, and Attention in Adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *BioMed Research International*, 2015, Article ID: 962857. <https://doi.org/10.1155/2015/962857>
- Carpenter, J. K., Conroy, K., Gomez, A. F., Curren, L. C., & Hofmann, S. G. (2019). The Relationship between Trait Mindfulness and Affective Symptoms: A Meta-Analysis of the Five Facet Mindfulness Questionnaire (FFMQ). *Clinical Psychology Review*, 74, Article ID: 101785. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2019.101785>
- Cork, P. H., Elliott, L., & Trombley, A. (2023). Meditation for Anxiety: A Holistic Approach to Treatment. *Journal of Holistic Nursing*. <https://doi.org/10.1177/08980101231217361>
- Crescentini, C., Capurso, V., Furlan, S., & Fabbro, F. (2016). Mindfulness-Oriented Meditation for Primary School Children: Effects on Attention and Psychological Well-Being. *Frontiers in Psychology*, 7, Article 805. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00805>
- Czigler, I., Weisz, J., & Winkler, I. (2006). ERPs and Deviance Detection: Visual Mismatch Negativity to Repeated Visual Stimuli. *Neuroscience Letters*, 401, 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.03.018>
- Dang, C., Luo, X., Zhu, Y., Li, B., Feng, Y., Xu, C., Kang, S., Yin, G., Johnstone, S. J., Wang, Y., & Neuroscience, C. (2023). Automatic Sensory Change Processing in Adults with Attention Deficit and Hyperactivity Disorder: A Visual Mismatch Negativity Study. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*. <https://doi.org/10.1007/s00406-023-01695-7>
- de Bruin, E. I., Topper, M., Muskens, J. G., Bögels, S. M., & Kamphuis, J. H. (2012). Psychometric Properties of the Five Facets Mindfulness Questionnaire (FFMQ) in a Meditating and a Non-Meditating Sample. *Assessment*, 19, 187-197. <https://doi.org/10.1177/1073191112446654>
- Eberth, J., & Sedlmeier, P. (2012). The Effects of Mindfulness Meditation: A Meta-Analysis. *Mindfulness*, 3, 174-189. <https://doi.org/10.1007/s12671-012-0101-x>
- Egeth, H. (1977). Attention and Preattention. *Psychology of learning and motivation*, 11, 277-320. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60480-6](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60480-6)
- File, D., Sulykos, I., & Czigler, I. (2020). Automatic Change Detection and Spatial Attention: A Visual Mismatch Negativity Study. *European Journal of Neuroscience*, 52, 4423-4431. <https://doi.org/10.1111/ejn.13945>
- Geva, R., Zivan, M., Warsha, A., & Olchik, D. (2013). Alerting, Orienting or Executive Attention Networks: Differential Patterns of Pupil Dilations. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, Article 64933. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00145>
- Gresch, D., Boettcher, S. E., van Ede, F., & Nobre, A. C. (2024). Shifting Attention between Perception and Working Memory. *Cognition*, 245, Article ID: 105731. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2024.105731>
- Hedge, C., Stothart, G., Jones, J. T., Frias, P. R., Magee, K. L., & Brooks, J. C. W. (2015). A Frontal Attention Mechanism in the Visual Mismatch Negativity. *Behavioural Brain Research*, 293, 173-181. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.07.022>
- Hölzel, B. K., Lazar, S. W., Gard, T., Schuman-Olivier, Z., Vago, D. R., & Ott, U. (2011). How Does Mindfulness Meditation Work? Proposing Mechanisms of Action from a Conceptual and Neural Perspective. *Perspectives on Psychological Science*, 6, 537-559. <https://doi.org/10.1177/1745691611419671>
- Jha, A. P., Krompinger, J., & Baime, M. J. (2007). Mindfulness Training Modifies Subsystems of Attention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7, 109-119. <https://doi.org/10.3758/CABN.7.2.109>
- Kremláček, J., Kreegipuu, K., Tales, A., Astikainen, P., Poldver, N., Näätänen, R., & Stefanics, G. J. C. (2016). Visual Mismatch Negativity (vMMN): A Review and Meta-Analysis of Studies in Psychiatric and Neurological Disorders. *Cortex*, 80, 76-112. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.03.017>
- Liu, J., Duan, W., Xiao, Z., & Wu, Y. (2024). The Effectiveness of Online Group Mindfulness-Based Cognitive Therapy for Outpatients with Depression in China. *Journal of Affective Disorders*, 351, 387-391. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2024.01.223>
- Lukashevich, A., Petrov, M., & Utochkin, I. (2023). ERP Evidence for the Role of Attention in the Visual Discrimination of Ensemble Summary Statistics. *Journal of Vision*, 23, 4867-4867. <https://doi.org/10.1167/jov.23.9.4867>
- Maekawa, T., Katsuki, S., Kishimoto, J., Onitsuka, T., Ogata, K., Yamasaki, T., Ueno, T., Tobimatsu, S., & Kanba, S. (2013). Altered Visual Information Processing Systems in Bipolar Disorder: Evidence from Visual MMN and P3. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, Article 48013. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00403>
- Mahoney, J. R., Verghese, J., Goldin, Y., Lipton, R., & Holtzer, R. (2010). Alerting, Orienting, and Executive Attention in Older Adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 877-889. <https://doi.org/10.1017/S1355617710000767>
- Male, A. G., O'Shea, R. P., Schröger, E., Müller, D., Roeber, U., & Widmann, A. (2020). The Quest for the Genuine Visual Mismatch Negativity (vMMN): Event-Related Potential Indications of Deviance Detection for Low-Level Visual Features. *Psychophysiology*, 57, e13576. <https://doi.org/10.1111/psyp.13576>

- Mora Álvarez, M. G., Hölzel, B. K., Bremer, B., Wilhelm, M., Hell, E., Tavacioglu, E. E., Koch, K., & Torske, A. (2023). Effects of Web-Based Mindfulness Training on Psychological Outcomes, Attention, and Neuroplasticity. *Scientific Reports*, 13, Article No. 22635. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48706-0>
- Mrazek, M. D., Franklin, M. S., Phillips, D. T., Baird, B., & Schooler, J. W. (2013). Mindfulness Training Improves Working Memory Capacity and GRE Performance While Reducing Mind Wandering. *Psychological Science*, 24, 776-781. <https://doi.org/10.1177/0956797612459659>
- Norris, C. J., Creem, D., Hendler, R., & Kober, H. (2018). Brief Mindfulness Meditation Improves Attention in Novices: Evidence from ERPs and Moderation by Neuroticism. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, Article 277779. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00315>
- Petro, B., Gaál, Z. A., Kojouharova, P., & Czigler, I. (2023). The Role of Attention Control in Visual Mismatch Negativity (vMMN) Studies. *Experimental Brain Research*, 241, 1001-1008. <https://doi.org/10.1007/s00221-023-06573-1>
- Quach, D., Mano, K. E. J., & Alexander, K. (2016). A Randomized Controlled Trial Examining the Effect of Mindfulness Meditation on Working Memory Capacity in Adolescents. *Journal of Adolescent Health*, 58, 489-496. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2015.09.024>
- Sanger, K. L., Dorjee, A., & Neuroscience, B. (2015). Mindfulness Training for Adolescents: A Neurodevelopmental Perspective on Investigating Modifications in Attention and Emotion Regulation Using Event-Related Brain Potentials. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15, 696-711. <https://doi.org/10.3758/s13415-015-0354-7>
- Schoenberg, P. L., Heparik, S., Kan, C. C., Barendregt, H. P., Buitelaar, J. K., & Speckens, A. E. M. (2014). Effects of Mindfulness-Based Cognitive Therapy on Neurophysiological Correlates of Performance Monitoring in Adult Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Clinical Neurophysiology*, 125, 1407-1416. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.11.031>
- Semple, R. J. (2010). Does Mindfulness Meditation Enhance Attention? A Randomized Controlled Trial. *Mindfulness*, 1, 121-130. <https://doi.org/10.1007/s12671-010-0017-2>
- Smith, B. M., Ong, C. W., Barrett, T. S., Bluett, E. J., Slocum, T. A., & Twohig, M. P. (2019). Longitudinal Effects of a 2-Year Meditation and Buddhism Program on Well-Being, Quality of Life, and Valued Living. *Mindfulness*, 10, 2095-2109. <https://doi.org/10.1007/s12671-019-01165-z>
- Stefanics, G., Astikainen, P., & Czigler, I. (2015). Visual Mismatch Negativity (vMMN): A Prediction Error Signal in the Visual Modality. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article 118316. <https://doi.org/10.3389/978-2-88919-560-2>
- Sumantry, D., & Stewart, K. E. (2021). Meditation, Mindfulness, and Attention: A Meta-Analysis. *Mindfulness*, 12, 1332-1349. <https://doi.org/10.1007/s12671-021-01593-w>
- Sysoeva, O. V., Lange, E. B., Sorokin, A. B., & Campbell, T. (2015). From Pre-Attentive Processes to Durable Representation: An ERP Index of Visual Distraction. *International Journal of Psychophysiology*, 95, 310-321. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.12.007>
- Valentine, E. R., & Sweet, P. L. J. (1999). Meditation and Attention: A Comparison of the Effects of Concentrative and Mindfulness Meditation on Sustained Attention. *Mental Health, Religion & Culture*, 2, 59-70. <https://doi.org/10.1080/13674679908406332>
- Winkler, I., & Czigler, I. (2012). Evidence from Auditory and Visual Event-Related Potential (ERP) Studies of Deviance Detection (MMN and vMMN) Linking Predictive Coding Theories and Perceptual Object Representations. *International Journal of Psychophysiology*, 83, 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.10.001>
- Yakobi, O., Smilek, D., & Danckert, J. (2021). The Effects of Mindfulness Meditation on Attention, Executive Control and Working Memory in Healthy Adults: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Cognitive Therapy and Research*, 45, 543-560. <https://doi.org/10.1007/s10608-020-10177-2>
- Zeidan, F., Johnson, S. K., Diamond, B. J., David, Z., & Goolkasian, P. (2010). Mindfulness Meditation Improves Cognition: Evidence of Brief Mental Training. *Consciousness and Cognition*, 19, 597-605. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2010.03.014>