

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：返回抑制训练效应的认知神经机制——来自一项事件相关电位研究的证据

作者：徐菊 胡媛艳 王双 李艾苏 张明 张阳

第一轮

尊敬的审稿专家、编辑，

您们好！

多谢两位审稿专家和编辑对我们文章提出的富有建设性的意见，这些意见对我们进一步增强文章的逻辑性和提高文章的质量有着十分重要的帮助。我们在修改稿中按照审稿专家的意见进行了逐条修改，下面是我们对审稿意见的具体回复。为方便审稿专家阅读我们将审稿专家的意见标示为了蓝色楷体，将我们的回复标示为了黑色宋体。另外按照编辑的意见，我们对一些文字进行了压缩，也对统计数据小数点后的保留位数按规定（2位，p值3位）进行了修改。

审稿人1意见：

本研究为了探究稳定的返回抑制（IOR）训练效应背后的认知神经机制，采用 ERP 技术结合长时训练和线索-靶子范式，意图来确定同 IOR 相关的 ERP 成分。研究发现在行为上同前人研究结果相一致，返回抑制效应在长时训练下表现出稳定的下降趋势；另外研究发现 ERP 成分 N1 和 Nd250 而非 P1 表现出了随 IOR 量的变化而变化，提示 N1 和 Nd250 可能才是有效的标识 IOR 的 ERPs 指标。

文章实验设计合理，表达清晰，但是在数据分析和描述方面存在着如下问题。

意见 1.图 2 行为的结果图基本看不出四种情况之间的差异，图标几乎叠在一起，尤其从正确率上看不出差异，纵轴比例尺范围应该适当缩小。

回复：感谢审稿专家的意见！

在修改稿中，我们按照审稿专家的要求重新绘制了图 2，并缩小了纵轴比例尺的范围，以便读者了解行为数据的效应。

意见 2.各个成分的 ERP 分析的波形图图标颜色过浅，差异较小，很难看清，建议用不同颜色线标注，颜色的选择建议可以和行为数据图中的四个颜色一致。

回复：多谢审稿专家的意见！

在修改稿中，已将各成分的 ERP 分析的波形图图标颜色修改为同行为数据图相一致的颜色。

意见 3.对于 ERP 的各个成分，作者选取了不同的电极进行分析，选取这些电极的依据是什么？是通过前人文献中约定俗成的电极还是地形图上差异最大的电极？从文中对 P1 的分析上看前两者都不是，这种选取方式的依据究竟是什么。建议作者选择常用的和本文中 P1 差异地形图中最大的电极进行统计分析。

回复：感谢审稿专家提出的中肯意见！

在初稿中，我们主要是结合前人研究和地形图的结果来选取分析电极。之所以选取 M1、M2 电极对 P1 效应做分析（在本研究中参考电极是全局参考），是因为线索化的主要效应仅在 M1、M2 电极上表现出了显著差异。经审稿专家提醒，我们意识到这种方法可能不妥，

因而在修改稿中我们对 P1 和 N1 电极选取了包含前人研究常用电极在内的 7 个电极作为 P1 的分析电极，同时重新确认了分析的时间窗口为 110-140 ms，这一时间窗口也同大多数前人研究结果相一致（参见对意见 4 回复中的表 1）。相应的我们对图 4 进行了修改更新了数据。需要指出的是在修改稿中的图 4 上 N1 和 P2 的数据也同初稿中略有出入，原因在于在初稿中因为我们的疏忽只选了一个典型电极的数据来绘制图上 4 中的 P1, N1 和 P2 效应，修稿中我们更正的这点错误，采用了所有电极的平均数据来绘制（所有趋势同之前完全一致）。

意见 4. 文章中 P1 和 N1 出现的时间潜伏期显著比常规的 P1 和 N1 晚很多，例如一般 P1 是 80-120ms，而作者的 P1 是 150-170ms，这个应该是常规 N1 出现的时间。本文中 N1 分析是时间窗口是 170-200ms，但是图 5 和图 6 中 N1 出现的更晚。请作者核查所使用的 Neuroscan 设备，是否存在 trigger 发送延迟的现象或是其他技术原因导致的所记录的成分时间延迟。

回复：感谢审稿专家的宝贵意见！

在研究开始前，我们已经利用自制的光电转换器（将屏幕的光信号转换为电信号）对 ERP 设备的 Trigger 发送精度进行了测量，并未发现有发送延迟的现象（Trigger 发送时间同呈现在显示器左上角的白色方块的呈现时间间隔小于 1 ms）。经审稿专家提示后我们再次对其进行了测试，仍未发现技术问题和硬件问题导致的延迟。

初稿中之所以表现出 ERP 成分潜伏期的延迟可能是我们分析电极选择不当的缘故（特别是 P1 成分）。在新的选择电极上（修改稿中图 5、6）P1 的波峰大约在 110-140 ms 之间，N1 成分的波峰大约在 170-200 ms 间，这同前人针对 IOR 的 ERP 研究中的时间分析窗口是相吻合的（参见表 1），也同 Luck（2014）所提 P1 峰值在 100-130 ms 相近。

另外，本研究的结果可能同一些在中央视野呈现刺激的研究（可能也就是审稿专家指出的 P1 一般在 80~120 ms 间的研究）相比有一些潜伏期上的变化，这一变化可能是源于我们是在外周视野呈现刺激的缘故。为此我们在附表中列举了几项关于 IOR 的 ERP 研究的分析时间窗，从中不难看出，许多关于 IOR 的 P1 时间窗口都在 100 ~140 间，甚至有研究的时间窗比我们选择的时间窗更晚，如 McDonald(1999)的研究（130~180 ms）和 Satel(2014)等的研究（130 ms 左右 ~ 170 ms 左右）。

最后考虑到在修改稿中我们对 P1 和 N1 采用了相同的分析电极，我们合并了初稿中的图 5 和图 6 为修改稿中的图 5。

表 1：前人关于 IOR 的 ERP 文献中选取的 P1、N1 分析时间窗（ms）

| 文献来源 | P1 | N1 |
|--------------------|---------|---------|
| Hopfinger(1998) | 90 -140 | 未提供 |
| McDonald(1999)实验 1 | 120-160 | 160-200 |
| McDonald(1999)实验 2 | 130-180 | 180-210 |
| Hopfinger(2001) | 100-150 | 未提供 |
| Prime(2004) | 100-140 | 156-196 |
| Prime(2006) | 100-140 | 152-192 |
| Van der(2005) | 116-136 | 170-190 |
| Zhang(2012) | 118-158 | 182-222 |
| Satel(2014) | 130-170 | 180-220 |
| Satel(2013)同侧 | 140-160 | 未提供 |
| Satel(2013)对侧 | 130-150 | 未提供 |
| 本研究 | 110-140 | 170-200 |

意见 5:建议将过往文献中 IOR 效应量同 P1 线索效应量的关系部分的数据分析放在结果中，不要在讨论中详述该结果。

回复:感谢审稿专家的意见!

这部分的分析主要起因是我们研究结果发现同 Satel 等(2013)研究结果不相一致，为了解释这种不一致就前人文献数据做的一个简单的再分析，若将这部分内容放到结果中可能在逻辑上会给读者带来疑惑，毕竟是先有不一致才会去分析为何会不一致，若将该部分置于结果中，读者在阅读该部分内容时可能会觉得该部分内容同文章并没有关系，不知为何要突然分析这些同本研究数据不相关的前人研究数据。因而，为保持逻辑上的顺畅性，在修改稿中我们仍然将该部分予以了保留，但对该部分内容进行了删减压缩。

意见 6. 作者的主要研究目的是想确定同 IOR 相关的 ERP 成分，而文中仅通过线性的比较 IOR 效应和成分之间的发展趋势来判断，所以只得到了一个可能的结果，可以通过相关分析来进一步确定，使得结论更有说服力。

回复:十分感谢审稿专家的宝贵意见!

在修改稿中，按照审稿专家的建议增加 P1, N1 和 Nd250 的线索训练效应同 IOR 的行为训练效应间的回归分析结果。结果同我们的结论相吻合，在逐步回归分析中，只有 N1 和 Nd250 成分进入了回归方程并在达到统计显著水平 $\beta_{N1} = -.571$, $t = -3.654$, $p < 0.001$; $\beta_{Nd250} = .420$, $t = 2.684$, $p < 0.014$, 整体模型决定系数 $R^2 = 0.489$ (调节后的 $R^2 = 0.438$)。
(第)

审稿人 2 意见:

本研究利用 ERP 技术研究了返回抑制 (IOR) 训练效应的相关神经机制。研究发现，经过大量训练 (7 次训练，每次训练 768 个试次) 之后，IOR 效应显著下降。在行为训练前后，进行了 ERP 前测和后测。通过比较前后测 ERP 数据，研究发现，相对于训练前，训练后的 N1 线索化效应 (无线索-有线索) 和 P2 (Nd250) 线索化效应显著减小，然而在更早期的 P1 线索化效应上没有发现显著的前后测差异。研究者推测，知觉辨别而非感觉加工过程是长时训练对 IOR 发挥影响的重要阶段; N1 和 Nd250 而非 P1 可能才是有效的表示 IOR 的 ERPs 指标。

该研究实验工作量较大，研究的一个主要结果“伴随 IOR 训练减弱效应，N1 线索化效应也显著下降”也比较有趣，如果结果无误，对于深入理解 IOR 训练效应的神经机制具有较重要的意义。然而，本研究的一些主要的数据分析方法和实验结果 (主要是关于 P1 效应的分析) 存在较大问题，这些问题导致本研究的主要结论“知觉辨别而非感觉加工过程是长时训练对 IOR 发挥影响的重要阶段; N1 和 Nd250 而非 P1 可能才是有效的表示 IOR 的 ERPs 指标”存在较大疑问。

实验数据分析:

意见 1. 本研究只描述了 EEG 数据采集时的参考电极 (使用左侧乳突作为参考)，未说明 ERP 分析时的参考电极是什么。

回复:感谢审稿专家的意见!

在本研究的数据分析中，我们采用了全局参考 (所有 EEG 电极的平均)，这一点在数据分析部分已有所涉及，为避免初稿中因行文上给读者带来的混淆，在修改稿中我们对该部分

在行文上进行了一定程度的修正（参见 2.4 标蓝部分）。

另外，值得指出的是，我们亦对采用双侧乳突平均为参考的数据进行了分析，结果同全局参考并未差异，有完全相同的趋势，具体的波形比较参见下图。

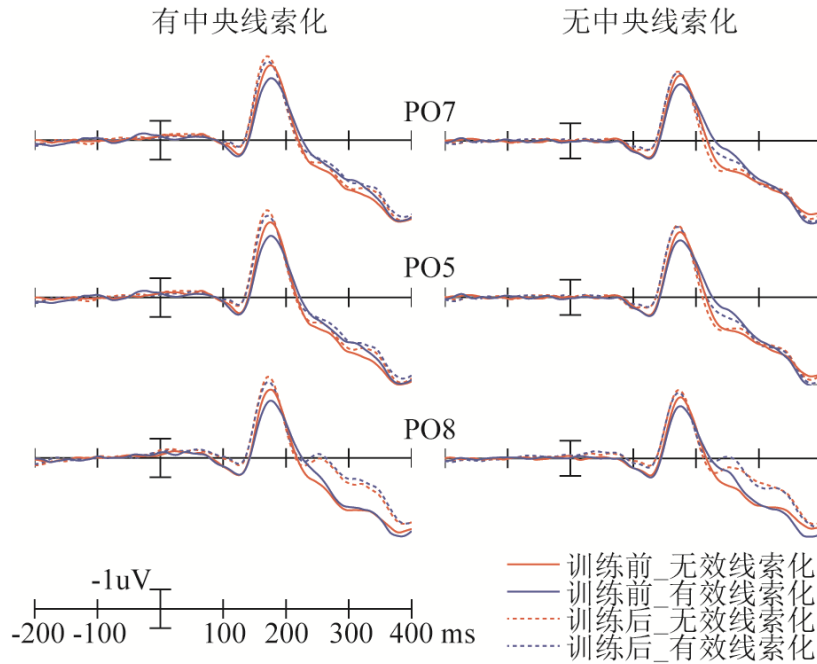


图 1: 采用双侧乳突平均作为参考的结果

意见 2. 前人研究中（e.g., Hopfinger & Mangun, Psychological Science, 1998; Prime and Ward, Psychological Science, 2004），P1 线索化效应主要分布在双侧枕区，90-140ms. 为什么本研究在分析 P1 效应时，选择了左侧和右侧乳突电极(M1 和 M2，这两个电极通常是用来作为参考电极的)? 另外，本研究的 P1 分析时间窗口为 150-170ms，也晚于前人经典研究。

回复：十分感谢审稿专家提出的宝贵意见！

同问题 1 相关，我们的研究中是以全局平均作为参考电极的，这就是 M1 和 M2 上也有较强信号的原因。初稿中之所以表现出 P1 时程较晚，是我们选择分析电极的缘故，初稿中我们对 P1 成分分析电极的选择是依据地形图中差异最大的部分来选择的，经审稿专家提醒后，我们亦觉得该法不妥，可能违背了电极选择的统计独立性，因而在修改稿中我们采用了同前人研究类似的电极来对其进行分析。在修改稿中，在新选择的电极上 P1 的潜伏期在 110 ~ 140 ms 间，这同前人众多关于 IOR 的 ERP 研究相吻合（参见表 2）。

表 2: 前人关于 IOR 的 ERP 文献中选取的 P1、N1 分析时间窗（ms）

| 文献来源 | P1 | N1 |
|--------------------|---------|---------|
| Hopfinger(1998) | 90 -140 | 未提供 |
| McDonald(1999)实验 1 | 120-160 | 160-200 |
| McDonald(1999)实验 2 | 130-180 | 180-210 |
| Hopfinger(2001) | 100-150 | 未提供 |
| Prime(2004) | 100-140 | 156-196 |
| Prime(2006) | 100-140 | 152-192 |
| Van der(2005) | 116-136 | 170-190 |
| Zhang(2012) | 118-158 | 182-222 |

| | | |
|---------------|---------|---------|
| Satel(2014) | 130-170 | 180-220 |
| Satel(2013)同侧 | 140-160 | 未提供 |
| Satel(2013)对侧 | 130-150 | 未提供 |
| 本研究 | 110-140 | 170-200 |

意见 3: 实验设计:

在知觉学习研究中, 通常早期的 ERP 成分及其训练效应较弱, 需要较多 trial 才能揭示。本研究每种 ERP 条件只有 192 个 trial, 有效试次 150 个左右, trial 数目偏少可能不利于检测到早期的 ERP 变化。这一点在下结论前需要注意。

回复: 十分感谢审稿专家提出的中肯意见!

一般而言, 增强数据信噪比的方式有两种, 一种是增加单个被试的 trial 数; 另一个则是增加被试的数量。我们之所以在设计实验的时候未采用更多的 trial 数, 主要是考虑到被试的疲劳问题, 当前设计上每个被试需要完成约 800 多个 trial, 除准备(约 1 小时)时间外大约需要 1.5 小时, 根据以往经验, 正式实验的时间超过这个时间会导致被试十分疲劳并进一步导致数据信噪比的降低, 基于此我们没有设计更多的 trial 数。

在实验设计时, 为保证有足够的信噪比, 我们采用了比一般知觉学习研究更多的被试量 [一般知觉学习研究中的只有 10 个左右的被试, 如 Clark 等 (2015) 关于视觉搜索的 ERP 训练研究只有 13 个有效被试, Qu 等 (2010) 关于知觉学习的实验采用了 10 个被试, 每个条件 180 个 trials 的设计, 以及 Wang 等 (2013) 关于知觉学习的研究采用了 11 个被试, 每个条件 100 个 trials 的设计, 我们采用了 24 个被试, 全为有效被试]。除此外, 我们还在数据采集的过程中尽可能保证数据的质量, 如所有电极的阻抗均保持在 3 千欧左右等, 从数据的结果来看, 我们没有一个无效被试, 同时也没有一个无效电极, 这亦在一定程度上说明我们的数据质量(信噪比)是不错的。

另外, 尽管可能同一些知觉学习的研究相比当前研究的 trial 数没有显得特别多, 但同大量 IOR 的研究相比我们的 trial 数并不少, 具体参见下图对一些关于 IOR 的 ERP 研究中。从下表不难看出, 当前研究每个条件下的 trial 数实际上比许多关于 IOR 的 ERP 研究都要多。尽管, Hopfinger 等 (1998,2001) 采用了更多的 trial 数, 却只有当前研究三分之一的被试量。基于上述考量, 我们有理由相信当前的设计能提供足够的信噪比。

最后从研究的结果来看, 我们发现了训练效应在 P1 上显著的主效应, 这也在一定程度上提示, 当前的设置是有足够的信噪比来保证我们发现该成分上可能存在的练习效应的。

表 2 若干关于 IOR 的 ERP 文献中, 有效被试数及每种条件下的有效试次数

| 文献来源 | 每种条件下 Trial 数/有效 trial 数 | 有效被试数 |
|------------------|--------------------------|-------|
| 本研究 | 192/156 | 24 人 |
| McDonald(1999) | 100/未提供 | 7 人 |
| Prime(2006 实验 1) | 168/未提供 | 27 人 |
| Prime(2006 实验 2) | 145/未提供 | 26 人 |
| Prime(2006 实验 3) | 160/未提供 | 28 人 |
| Chica(2009) | 112/未提供 | 20 人 |
| Tian(2011) | 92/未提供 | 12 人 |
| Wascher(2004) | 160/136 | 12 人 |
| Van der(2005) | 48/43 | 12 人 |
| Zhang(2012) | 96/79 | 15 人 |

| | | |
|-----------------|---------|------|
| Satel(2013) | 200/160 | 21 人 |
| Satel(2014) | 100/81 | 20 人 |
| Hopfinger(1998) | 320/未提供 | 8 人 |
| Hopfinger(2001) | 320/未提供 | 8 人 |
| Prime(2004) | 288/未提供 | 18 人 |

意见 4: 结果解释:

本研究在缺乏实验操纵的情况下简单地将本研究的 P1 成分与感觉阶段相联系, 而 N1 成分与知觉阶段相联系, 这种联系值得商榷, 由此得到的研究结论也容易引起质疑。

回复: 感谢审稿专家的意见!

我们十分赞同审稿专家的这一观点, 这亦是我们在讨论中称其为“可能原因”的缘故。在修改稿中我们去除了该部分可能引起争议的讨论, 仅针对较为明确的“N1 线索效应标识知觉加工”进行保守的讨论。

意见 5: 论文写作规范性:

1. 部分研究结果描述不清晰。例如, 反应时结果部分, 本研究设计了“有中央线索”和“无中央线索”两种条件, 这两个条件下的行为训练效应究竟是否存在显著差异? 这是本研究设计所关心的一个重要问题, 但是在结果描述时没有清晰的文字表达, 而只是罗列了一堆统计数据。

回复: 感谢审稿专家的中肯意见!

对该交互效应的简单效应分析有两种方向, 一是分析这两种条件下的训练效应是否存在差异, 我们的结果发现这两种条件下都存在显著的练习效应(我们亦有尝试计算出有、无中央线索化条件下的练习效应量[练前 - 练后], 并对进行分析, 结果也未发现有无中央线索化因素在练习效应量上的显著主效应, $F = 1.25, p > 0.275$), 虽然可以说两种条件下的一般反应时可能随训练有着不同的变化(因为交互效应显著), 但这一点却很难从简单效应的结果上去推论, 因为两种条件下都有显著的练习效应。因而, 我们对于该交互效应的解释强调了另一个方向的交互, 即有、无中央线索化条件间的反应时差异是否随着训练的变化而不同。结果发现这两者的差异并没有在 5,6 两天达到显著水平。尽管有、无中央线索化条件下都存在显著的练习效应, 也存在显著一般反应时的差异, 但这种差异却未在第 5、6 两天中达到显著(这导致了“有、无中央线索化”和“训练”的显著交互效应)。在初稿中我们将“有无中央线索化”同“训练”的交互效应, 放到了最后的部分而非紧跟着, 有无中央线索化的主效应结果, 这样的设置可能导致了审稿专家觉得有些疑惑。为让读者更清楚了解这一结果, 我们在修改稿中, 将该部分内容移到了对有无中央线索化主效应的分析之后。

这里可能需要指出的是, “有、无中央线索化”条件在练习效应上是否存在显著的差异, 并不是当前研究关注的重点, 因为其反映的是一般反应能力的练习效应是否受到了中央线索刺激的调控。我们研究对该部分主要的关注点在于 IOR 的练习效应是否会在有 vs 无中央线索化条件下表现出显著的不同。研究结果并未发现 IOR 的练习效应受到中央线索化刺激的调控(这也是讨论的 4.3 部分涉及的内容)。为避免读者对该部分内容产生疑惑, 在修改稿中, 我们按照审稿专家的建议增添了部分文字来对行为结果部分进行更为清楚地描述, 如“IOR 的训练效应并未在有、无中央线索化条件间表现出显著的差异”(3.1.2 部分标蓝部分)。

:意见 6. 文中出现了“ $p=0.000$ ”的低级错误描述

回复: 感谢审稿专家的细心意见!

抱歉犯如此低级的错误。之前采用的是科学计数法, 取小数点后三位时, 由于第 4 位小

于 5 导致，出现 0.000 的问题，在修改稿中已修改为 $p < 0.001$ 。

意见 7. 重要的统计数据(p 值等)应该在正文中介绍，而不是在图中无注明地出现（例如，图 3B, 0.019, 0.018, 难道让读者去猜测这是 p 值？？？）

回复：感谢审稿专家的细心意见！

在修改稿中，我们做了已对相关的部分进行了修改。具体而言，将图中的数字替换为了符号“*”，并在图注中对符号的意义进行了说明。

参考文献

- Chica, A., & Lupiáñez, J. (2009). Effects of endogenous and exogenous attention on visual processing: an Inhibition of Return study. *Brain research*, 1278, 75-85.
- Clark, K., Appelbaum, L. G., van den Berg, B., Mitroff, S. R., & Woldorff, M. G. (2015). Improvement in visual search with practice: mapping learning-related changes in neurocognitive stages of processing. *The Journal of neuroscience*, 35(13), 5351-5359.
- Hopfinger, J., & Mangun, G. (2001). Tracking the influence of reflexive attention on sensory and cognitive processing. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 1(1), 56-65.
- Hopfinger, J. B., & Mangun, G. R. (1998). Reflexive Attention Modulates Processing of Visual Stimuli in Human Extrastriate Cortex. *Psychological Science*, 9(6), 441-447.
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique* (2 ed.). MIT Press.
- Martín-Arvaló, E., Chica, A. B., & Lupiáñez, J. (2014). Electrophysiological modulations of exogenous attention by intervening events. *Brain and Cognition*, 85, 239-250.
- McDonald, J., Ward, L., & Kiehl, K. (1999). An event-related brain potential study of inhibition of return. *Perception & Psychophysics*, 61(7), 1411-1423.
- Prime, D. J., & Ward, L. (2004). Inhibition of return from stimulus to response. *Psychological Science*, 15(4), 272-276.
- Prime, D. J., & Ward, L. M. (2006). Cortical expressions of inhibition of return. *Brain Research*, 1072(1), 161-174.
- Qu, Z., Song, Y., & Ding, Y. (2010). ERP evidence for distinct mechanisms of fast and slow visual perceptual learning. *Neuropsychologia*, 48(6), 1869-1874.
- Satel, J., Hilchey, M. D., Wang, Z., Reiss, C. S., & Klein, R. M. (2014). In search of a reliable electrophysiological marker of oculomotor inhibition of return. *Psychophysiology*, 51(10), 1037-1045.
- Satel, J., Hilchey, M. D., Wang, Z., Story, R., & Klein, R. M. (2013). The effects of ignored versus foveated cues upon inhibition of return: an event-related potential study. *Attention, Perception, & Psychophys*, 75(1), 29-40.
- Tian, Y., Klein, R. M., Satel, J., Xu, P., & Yao, D. (2011). Electrophysiological Explorations of the Cause and Effect of Inhibition of Return in a Cue-Target Paradigm. *Brain Topography*, 24(2), 164-182.
- Van der Lubbe, R., Vogel, R., & Postma, A. (2005). Different effects of exogenous cues in a visual detection and discrimination task: delayed attention withdrawal and/or speeded motor inhibition? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(12), 1829-1840.
- Wang, F., Zhong, X., Huang, J., Ding, Y., & Song, Y. (2013). Comparison of perceptual learning of real and virtual line orientations: An event-related potential study. *Vision Research*, 93, 1-9.

- Wascher, E., & Tipper, S. P. (2004). Revealing effects of noninformative spatial cues: an EEG study of inhibition of return. *Psychophysiology*, 41(5), 716-728.
- Zhang, Y., Zhou, X., & Zhang, M. (2012). Temporary inhibitory tagging at previously attended locations: evidence from event-related potentials. *Psychophysiology*, 49(9), 1191-1199.
-

第二轮

尊敬的审稿专家、编辑，
您们好！

多谢审稿专家拨冗对我们文章给出的富有建设性的意见，这些意见对提高文章质量有着很重要的帮助。我们在修改稿中按照审稿专家的意见进行了逐条修改，下面是我们对审稿意见的具体回复。为方便审稿专家阅读我们将审稿专家的意见标示为了蓝色楷体，将我们的回复标为了黑色宋体，并将正文相应的修改部分标为了蓝色。

审稿人 1 意见：

本研究为了探究稳定的返回抑制（IOR）训练效应背后的认知神经机制，采用 ERP 技术结合长时训练和线索-靶子范式，研究发现 ERP 成分 N1 和 Nd250 而非 P1 表现出了随 IOR 量的变化而变化，提示 N1 和 Nd250 可能才是有效的标识 IOR 的 ERPs 指标。该文章试验设计合理，方法可靠，结论合理，在修改中很好地回答了审稿人的意见，建议发表

回复：感谢审稿专家对我们研究的肯定！

审稿人 2 意见：

意见 1：我很高兴作者根据审稿意见对文章进行了认真修改，修正稿相对于第 1 稿有了很大的提高。关于修正稿，我还有一个问题是，为什么本研究没有在早期 P1 成分上发现线索化效应（相应地，也没有发现训练对 P1 线索化效应的调控）？这是否与实验任务的难度等因素有关（例如，本研究的正确率>95%，而前人 Hopfinger 等 1998,2001 的经典研究中正确率只有~90%）：不同的知觉/注意负载条件下，被试的注意状态会有所差异，从而调控了视皮层信息处理的时间进程，对实验观测结果产生影响（e.g., Wang,Song,Qu,Ding,International Journal of Psychophysiology, 2010; Ding,Martinetz,Qu,Hillyard,Human Brain Mapping, 2014 Qu,Wang,Zhen,Hu,Song,Ding,Vision Research,2014）？此外，本研究采用的中线外周视觉刺激呈现方式，以及有无中央线索条件的混合设计（关于这一点，作者可能需要在文中更加详细地说明这两种条件在实验过程中的测试顺序），也有可能不利于早期偏侧化 P1 线索效应的检测。

建议作者在讨论部分对此问题进行更加深入的讨论。

回复：感谢审稿专家的中肯意见！

根据审稿转件的意见，我们在修改稿的讨论中增加了部分内容来讨论上述可能性，感谢审稿专家提供的这一可能解释和相关的研究文献（P27，4.3 标蓝部分）。但这里需要指出的是我们的结果并未与 Hopfinger 等（1998,2001）的结果相矛盾，事实上当前研究同他们的研究结果是一致的，他们的结果也是不支持 IOR 同 P1 有关系的，具体而言，尽管 Hopfinger 等（1998）发现在长 SOA 条件下（同当前研究具有可比性的条件）线索化位置有更小的 P1 幅度，但值得注意的是他们却未在行为上并未发现显著的 IOR 效应（效应量仅为 2 ms）；也正因为这一有些奇怪的发现，Hopfinger 等（2001）才改变了任务类型（改为了检测任务），结

果同本研究相一致，尽管行为上有显著的 IOR 效应，在 ERP 结果上却未有发现显著的 P1 线索化效应。

另外对于有、无中央线索化条件在试验中的我们是以完全随机的方式进行呈现，多谢审稿人的提醒，在修改稿中我们也增加了部分内容对这一点进行了明确的说明。

意见 2: 与以上问题相关，本研究第 2 个结论“提示 N1 和 Nd250 而非 P1 可能才是有效的标识 IOR 的 ERPs 指标”，并不能很好解释 Hopfinger 等 1998,2001 的研究，建议删除这个结论，或者至少加入一些限定词语，避免泛化这个结论。

回复: 感谢审稿专家的中肯意见！

按照审稿专家的意见，我们在修改稿对该部分进行了弱化，具体而言我们在结论部分去除了关于 P1 不是有效指标的论述，转而只强调 N1 和 Nd250 是更有效的 ERP 指标。

“N1 和 Nd250 表现出了随 IOR 量的变化而变化，提示 N1 和 Nd250 可能是标识 IOR 的有效 ERPs 指标”。

另外需要指出的是，当前研究并未同 Hopfinger 等（1998,2001）的研究结果相悖，事实是当前研究结果同 Hopfinger（2001）的研究结果是相一致的，都是发现了显著的行为 IOR 效应，却未发现显著的 P1 效应。尽管 Hopfinger（1998）有在长 SOA 条件下发现了显著的 P1 线索化效应（线索化条件下更小的 P1 幅度），却未有伴随着显著的行为 IOR 效应（行为效应量仅为 2 ms）。

意见 3: 此外，需要澄清一些 ERP 技术的基本概念：

在 ERP 研究中，只要所有 EEG 电极（包括乳突电极和头皮电极）在 EEG 记录时使用的是同一个物理参考，那么在离线处理过程中，“先以双侧乳突平均为参考再以所有 EEG 电极的平均为参考”，最终所得到的结果将等同于“直接以所有 EEG 电极的平均为参考”；此时无论最终的参考是什么，地形图所显示的（同极性）最大效应分布（即不同头皮电极 ERP 振幅的相对大小）都是一致的。

回复: 感谢审稿专家的观点！

这个问题可能与不同的脑电采集系统有一定的关系，若脑电系统采集的数据有提供采集参考电极的数据（一个全为 0 的通道），则确如审稿人所述两者是等同的（论述参见下面详细公式），但就当前研究所使用的 Neuroscan 系统而言，并不提供采集参考电极的数据（全为 0 的通道），这样的情况下，上述两种方法（“直接以所有 EEG 电极的平均为参考” vs. “先以双侧乳突平均为参考再以所有 EEG 电极的平均为参考”）在结果上的确存在一定的差异。

假定采集的时候以 m2 为参考电极，则在 Neuroscan 系统采集到的数据会有 n 个头皮电极的原始数据（记为 R1 ~ Rn，R 意味着 Raw，即采集时候的原始数据，因而 R1 就意味着第一个头皮电极的原始采集数据）和一个单侧乳突电极数据 m1（记为 Rm1）。值得注意的是在 Neuroscan 的系统中是没有参考电极这个通道的数据的（毕竟我们假定参考电极为 0）。那么，按照方法 2（直接平均法），我们最后一共会有 n+1 个电极的数据（n 个皮层电极和一个乳突电极 m1）。我们将转换后的电极数据记为 Ni，其 N 代表 new，i 代表某个电极：

$$Nm1 = Rm1 - \frac{(R1 + \dots + Rn + Rm1)}{n+1}$$

$$Ni = Ri - \frac{(R1 + \dots + Rn + Rm1)}{n+1} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

若按方法 1，则首先需要增加一个采集时候不存在的电极 m2（既采集时候所用的参考电极），因而在第一次转变为双侧乳突参考后（我们将第一次转换后的电极数据记为 T）：

$$Tm1 = Rm1 - \frac{Rm1}{2}$$

$$Tm2 = -\frac{Rm1}{2}$$

$$Ti = Ri - \frac{Rm1}{2}$$

然后经过全局转换参考后的新电极为：

$$Nm1 = Tm1 - \frac{(T1+\dots+Tn+Tm1+Tm2)}{n+2}$$

将 T 替换为原始 R 数据则，

$$Nm1 = \left(Rm1 - \frac{Rm1}{2} \right) - \frac{\left[\left(R1 - \frac{Rm1}{2} \right) + \dots + \left(Rn - \frac{Rm1}{2} \right) + \left(Rm1 - \frac{Rm1}{2} \right) + \left(-\frac{Rm1}{2} \right) \right]}{n+2}$$

$$Nm1 = Rm1 - \frac{Rm1}{2} - \frac{\left[(R1+\dots+Rn+Rm1) + (n+2) \times \left(-\frac{Rm1}{2} \right) \right]}{n+2}$$

$$Nm1 = Rm1 - \frac{Rm1}{2} - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2} + \frac{Rm1}{2}$$

$$Nm1 = Rm1 - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2}$$

同理 Ni 和 Nm2 可以分别简化为：

$$Ni = Ti - \frac{(T1+\dots+Tn+Tm1+Tm2)}{n+2}$$

$$Ni = \left(Ri - \frac{Rm1}{2} \right) - \frac{\left[\left(R1 - \frac{Rm1}{2} \right) + \dots + \left(Rn - \frac{Rm1}{2} \right) + \left(Rm1 - \frac{Rm1}{2} \right) + \left(-\frac{Rm1}{2} \right) \right]}{n+2}$$

$$Ni = Ri - \frac{Rm1}{2} - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2} + \frac{Rm1}{2}$$

$$Ni = Ri - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2}$$

$$Nm2 = Tm2 - \frac{(T1+\dots+Tn+Tm1+Tm2)}{n+2}$$

$$Nm2 = \left(-\frac{Rm1}{2} \right) - \frac{\left[\left(R1 - \frac{Rm1}{2} \right) + \dots + \left(Rn - \frac{Rm1}{2} \right) + \left(Rm1 - \frac{Rm1}{2} \right) + \left(-\frac{Rm1}{2} \right) \right]}{n+2}$$

$$Nm2 = -\frac{Rm1}{2} - \frac{\left[(R1+\dots+Rn+Rm1) + (n+2) \times \left(-\frac{Rm1}{2} \right) \right]}{n+2}$$

$$Nm2 = -\frac{Rm1}{2} - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2} + \frac{Rm1}{2}$$

$$Nm2 = -\frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2}$$

最后简化的结果对比：

方法 1

$$Nm1 = Rm1 - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+1}$$

$$Ni = Ri - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+1}$$

方法 2

$$Nm1 = Rm1 - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2}$$

$$Ni = Ri - \frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2}$$

$$Nm2 = -\frac{(R1+\dots+Rn+Rm1)}{n+2}$$

从两种方法最后结果的对比不难看出，方法 1 和方法 2 实际上仅在一种情况下有完全相等的效果，即脑电采集系统的原始数据中有参考电极的数据时（数值全为 0），考虑到本研

研究所采用的 Neuroscan 系统并未在采集的原始数据中提供采集参考电极的数据，因而我们还是选择了保留对计算过程的较为详细的描述（即方法 1 的两步转换法）。

第三轮

尊敬的审稿专家、编辑， 您们好！

多谢审稿专家拨冗对我们文章给出的建议。我们在修改稿中按照审稿专家的意见进行了逐条修改，下面是我们对审稿意见的具体回复。为方便审稿专家阅读我们将审稿专家的意见标示为了蓝色楷体，将我们的回复标为了黑色宋体，并将正文相应的修改部分标为了蓝色。

审稿人 2 意见：

意见 1 . 阅读引用以下综述文献：

Martín-Arvalo E, Chica AB, Lupiáñez J. No single electrophysiological marker for facilitation and inhibition of return: A review. Behav Brain Res. 2016 Mar 1;300:1-10. doi: 10.1016/j.bbr.2015.11.030. Epub 2015 Nov 28.

这篇文献对近年来 IOR 相关 ERP 文献进行了较好的综述,与本文关系密切。请注意在以往的研究中,N1 和 Nd250 效应并不是总是伴随着行为 IOR 效应而出现:有研究发现了明显的 IOR 行为效应,但是并没有显著的 N1 或 Nd250 效应(e.g., Table 2,Martín-Arvalo 2016),请作者更加谨慎思考本文第 2 个结论及其适用范围。

回复：多谢审稿专家的意见和提供的新文献，的确如Martín-Arvalo等（2016）文中table2所示，有研究发现了明显的IOR行为效应，但却未有显著的N1和Nd250效应，但仔细检查Martín-Arvalo等的文献数据不难发现，实际上他们文中漏掉了一些相关的研究结果（如zhang等2012的研究），同时表中也包含了许多没有显著甚至是相反行为IOR效应的研究（图1灰色背景部分），排除这些没有显著IOR效应的研究后，在他们所列举的文献，采用同当前研究类似辨别任务的研究中中仅有一篇文献即Martín-Arvalo等（2014）年的研究明确发现了显著的IOR效应（检查原始文献发现该效应量应是9 ms,而非图1中所展示的11ms,具体参见原文中p243, table1中的EEG group部分）却未有发现N1和Nd250效应。仔细检查Martín-Arvalo等（2014）的数据不难发现（图2）他们研究中在有显著行为IOR效应的ERP结果上几乎是从约50ms开始，线索化条件下相较非线索化条件而言有一个整体的正偏向，这样的结果在IOR或者注意的ERP研究中是很少见到的，这提示该研究的结果很有可能这两种条件间存在某种整体水平加工上的差异，因而很难将该特例同其它和当前的研究结果进行比较。同时值得注意的是Martín-Arvalo等（2014）的研究在有、无IOR条件下均发现P1在非线索化条件下的增强效应（这实际上在一定程度上是同本研究认为的P1可能并不是一个较好的表示IOR的ERP指标相吻合），这也提示他们研究的结果可能仅仅是反应了他们任务设置的特殊性，而非是对IOR的反应。

另外，Martín-Arvalo等（2014）的研究如我们在文中讨论部分所述（4.2最后一段），他们的研究中仅仅在线索和靶子间采用了较短（200 ms）和较为特别的（中央线索刺激前后各100 ms的随机随机区间）随机区间，相较当前研究而言，这并不能很好的去除外周线索和中央线索刺激等诱发ERP对靶子刺激诱发ERP的混淆，这可能在一定程度上也解释了为何Martín-Arvalo等（2014）的研究结果的波形（非线索化条件整体偏正漂移）同大多数的研究结果并不一致（如Prime和ward等的研究结果）。

最后也是最重要的是，正如本文讨论部分所述，当前研究同前人ERP的研究相比，在变量控制上更加严格，很好地排除了一些混淆变量对实验结果解释的干扰（“这些研究的一个共性问题是在改变IOR的同时也引入了新的可能的混淆变量，如有、无中央线索化可能导致有中央线索化条件下存在ERPs混叠等问题。当前研究由于在训练前后采用的是完全相同的任务、刺激和程序，相较而言更好地匹配了实验条件间的这些差异，排除了这些混淆变量的可能干扰。”），无疑使得本研究具有更高的效度和信度来探讨IOR的ERP指标这一问题。因而，无论对Martín-Arvalo等（2014）的研究结果的解释为何，考虑到他们研究并未能很好的控制上述的ERP混叠等无关变量的干扰和ERP数据本身表现出来的奇异性，很难将之作为我们研究结论的反证。

尽管如上所述，有理由相信当前研究的结论是合适的，为更加谨慎的给出我们研究结果的结论，我们还是在修改稿中按照审稿人的要求对我们的结论进行了更为谨慎的推论，即将我们讲结论严格限定在采用了同我们研究类似任务的范围内“提示N1和Nd250，至少在当前任务所采用的范式中，可能是标识IOR的有效ERPs指标”。

| Discrimination | Hopfinger and Mangun [26] | Exp. 1: Predictive Cue | Exp. 2: Nonpredictive Cue | Stimuli above/below fixation | Prime and jolicoeur [55] | Doallo et al. [11] | Doallo et al. [12] | Van der Lubbe et al. [67] | Chica and Lepíñer [6] | Martin-Arvalo et al. [45] | Gutiérrez-Domínguez et al. [22] |
|--------------------------|---|------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|---------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| | Cue: Four dots in each visual field (right/left). Target: Short or tall vertical bars | 34-234 | 34 | Absent | 50 | 18 | Enhancement | None? | Not reported | Enhancement | |
| Eimer [17] | 566-766 | 34 | Absent | 50 | -2 (n.s.) | Reduction | Enhancement? | Not reported | n.s. | | |
| Prime and Ward [56] | 700 | 200 | Absent | 100 | 13 | n.s. | Enhancement | Yes | Reduction | | |
| Prime and jolicoeur [55] | 900-1200 | 200 | Always present | 1000 | -21 | Reduction (ipsilateral) | Enhancement | Yes | Reduction | | |
| Doallo et al. [11] | 800-1100 | 200 | Present | 800 | -14 | Reduction | Reduction | n.s. | Enhancement | | |
| | 800-1100 | 200 | Absent | 800 | -1 (n.s.) | n.s. | n.s. | Yes | n.s. | | |
| | 100 | 34 | Absent | 75 | 43 | Enhancement at occipital electrodes | Not reported | Not reported | Not reported | | |
| | 300 | 34 | Absent | 75 | 12 (n.s.) | Reduction | Not reported | Not reported | Not reported | | |
| | 500 | 34 | Absent | 75 | 4 (n.s.) | Reduction | Not reported | Not reported | Not reported | | |
| | 700 | 34 | Absent | 75 | 2 (n.s.) | Reduction | Not reported | Not reported | Not reported | | |
| | 100 | 34 | Absent | 75 | 43 | Not reported | Enhancement at one right temporal electrode | Not reported | Not reported | | |
| | 300 | 34 | Absent | 75 | 12 (n.s.) | Not reported | Enhancement ipsilateral | Not reported | Not reported | | |
| | 500 | 34 | Absent | 75 | 4 (n.s.) | Not reported | n.s. | Not reported | Not reported | | |
| | 700 | 34 | Absent | 75 | 2 (n.s.) | Not reported | n.s. | Not reported | Not reported | | |
| | 588 | 50 | Absent | 200 | 8 (n.s.) | n.s. | n.s. | Not reported | Not reported | | |
| | 940 | 50 | Absent | 200 | 19 | Enhancement | n.s. | Not reported | Not reported | | |
| | 1000 | 50 | Absent | 100 | 18 | Reduction ipsilateral | Reduction | Not reported | Reduction ipsilateral | | |
| | 1000-500 | 50 | Present | 100 | -27 | Reduction ipsilateral | None? | Yes? | None | | |
| | 500-700 | 50 | Absent | Until response | -11 | Reduction | None | None | None | | |
| | 300-700 | 50 | Absent | Until response | 10 | Reduction | Enhancement | Yes | Enhancement | | |
| | 2000 | 100 | Always present | Until response | -12 | Not reported/None | Reduction LVP | Yes LVS | Not reported/None | | |

图1 Martín-Arvalo等（2016）文中table2同当前研究类似的辨别任务部分截图，注意倒数第2和第3列对应的分别是Nd和N1的结果（另外也请注意Chica等的研究中有显著IOR的条件并非传统的cue和uncued条件）

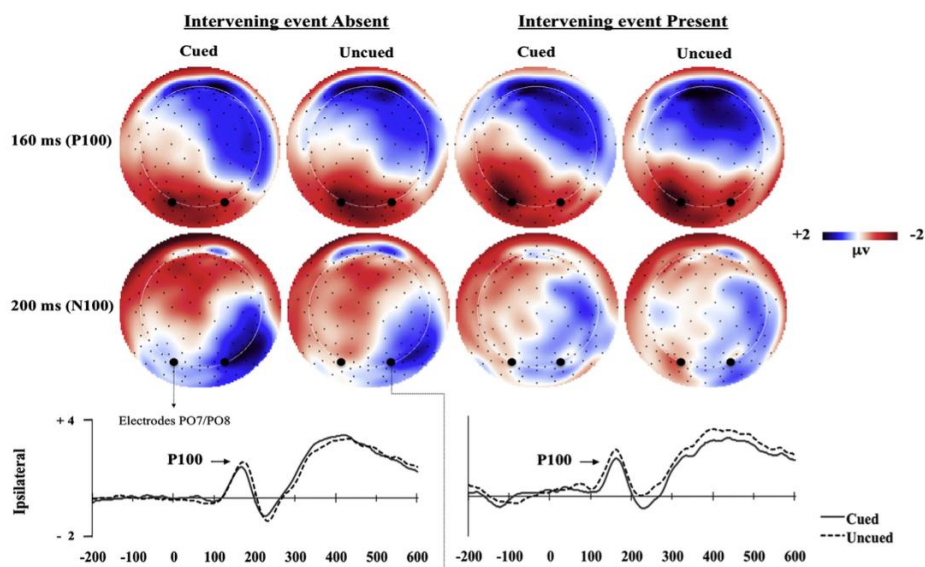


图2 Martín-Arvalo等（2014）研究中ERP结果截图，注意左侧是易化行为效应（效应量8 ms）条件下的结果，右侧是显著IOR效应（效应量9 ms）条件下的结果。

意见2. 在作者进行两种参考计算比较(1“直接以所有 EEG 电极的平均为参考” vs. 2“先以双侧乳突平均为参考再以所有 EEG 电极的平均为参考”)的过程中,其计算结果出现的差异,本质并非是否采用了“先以双侧乳突平均为参考”,而是“所有 EEG 电极”的定义出现了差异。在第 1 种算法中,“所有 EEG 电极”未包括物理参考电极(左侧乳突),而在第 2 种算法中,“所有 EEG 电极”包括了物理参考电极;因此两者算法的平均参考电极数目不一样(后者比前者多 1 个),导致最后结果产生差异。因此,作者在介绍“以所有 EEG 电极的平均为参考”时,需要介绍清楚这些 EEG 电极究竟包括了哪些电极(比如,是否包括左右乳突电极),而不是强调是否采用了“先以双侧乳突平均为参考”这种方法。

另外,这种使用“所有 EEG 电极的平均为参考”的方法,特别需要详细介绍 EEG 电极的头皮分布情况(可以使用 10-10 系统的标准电极名称来介绍)。

回复: 多谢审稿专家的意见,对于此问题我们的观点同审稿专家完全一致,正如我们在 2 审回复意见中所述,我们也是认为两种算法是因为“因此两者算法的平均参考电极数目不一样(后者比前者多 1 个),导致最后结果产生差异”,之所以强调“先以双侧乳突平均为参考”,是考虑到在实际操作中(至少是对 Neuroscan 系统而言),不明确这一关键步骤会误导今后参照我们研究的研究者漏掉在 scan 的原始数据中不存在的物理参考电极。因而虽然显得稍微啰嗦我们还是选择了这种更为具体的表达方式。同时遵照审稿专家的意见在修改稿中,我们明确提出了最后做平均参考时是以包含了双侧乳突在内的所有 EEG 电极的平均为参考。

另外,关于 EEG 电极的头皮分布,我们采用的是得到广泛认可的由 10-20 系统扩展而成的 64 导的 Quick-cap 电极帽,这一点遵照审稿专家意见在修改稿中进行了明确的说明“利用 10-20 系统扩展的 64 导的 Quick-cap 电极帽”(参见 2.4 第一段标蓝部分)。