

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：返回抑制对于视听跨通道对应的影响

作者：祖光耀 李舒淇 张天阳 王爱君 张明

第一轮

审稿人 1 意见：

研究 1 发现, IOR 对“跨通道对应效应”有调节作用; 研究 2 进一步排除了听觉信号的“警觉”效应的混淆。

本论文逻辑清晰, 撰写规范, 是一篇很不错的实证研究论文。我的整体评估是本论文报告了一个有趣的发现, 但是没有继续深究背后的机理。

具体来讲, 如何解释 IOR 对“跨通道对应效应”的这种调节作用?

作者发现, “被抑制”的线索位置的“跨通道对应效应”反而更强并给出了一个基于“反比效应原则”的解释。即视觉信号被 IOR 减弱后, “跨通道对应效应”反而会更强。这是一个有趣的假设。如有实证支持, 该论文的理论深度会更高。比如, 线索范式中, SOA 较短时 (<300 ms), 线索位置会产生一个促进效应。按照“反比效应原则”, 该实验条件下“跨通道对应效应”是否应该减弱或者消失? 再比如, 当 SOA 较长时 (比如 > 2000 ms) IOR 效应会衰减; 如果“反比效应原则”的解释正确的, 当 IOR 因 SOA 增长而变弱时, “跨通道对应效应”是否也应该减弱或者消失?

回应: 非常感谢审稿专家提出的建议, 审稿专家建议通过改变 SOA 操纵 IOR 效应大小, 继而探究跨通道对应效应的变化, 这个建议对于我们探究 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节机制至为重要。根据审稿人的建议, 我们开展了实验 3, 在实验 1 现有 600 ms 的 SOA 基础上, 又设置了 1300 ms 的 SOA。根据以往 IOR 的研究(Lupiáñez et al., 1997), 在探测任务中, SOA 为 1300 ms 时的 IOR 效应相比于 600 ms 时会减弱。

实验 3 的结果表明, 随着线索和视觉目标间的 SOA 延长, IOR 效应量显著降低, 这与预期相一致。并且随着 IOR 效应的变小, 线索化位置的视听跨通道对应效应减弱; 同时 1300 ms 时线索化位置的跨通道对应效应与非线索化位置没有显著差异。实验 3 的结果符合反比效应原则 (Meredith & Stein, 1983), 即当 IOR 效应变小时, 线索化位置目标的感知觉显著性相对提升, 更强的单通道感觉(视觉)信号输入产生了更弱的跨通道对应效应; 同时, 在长 SOA 条件下, IOR 效应的变小也使得线索化位置和非线索化位置间的目标感知觉显著性的差异减少, 可能导致了不同线索条件下视听跨通道对应效应没有显著差异。当然, 由于长 SOA 下 IOR 效应仍然存在, 线索化位置目标感知觉显著性仍然相对较低, 因而统计检验结果可以看到线索化位置出现的跨通道对应效应要比非线索化位置更加稳定。总之, 实验 3 支持了反比效应原则也适用于视听跨通道对应。目前的研究结果扩展了反比效应原则在多感觉反应增强领域的适用范围。

对于增加的实验 3, 我们对于文章整体进行了修改, 在摘要(正文第 1 页)、引言(正文第 4 页第 2 段和第 5 页第 1 段)、研究方法(正文第 11 页至 14 页)、讨论(正文第 16 页第 4 段)和结论(正文第 18 页)增加了有关实验 3 的内容, 所有的地方都用灰色高亮标记。实验 3 的主要有关内容如下:

引言部分: 实验 3 通过操纵线索和目标之间的 SOA 来操纵 IOR 效应的大小, 探究 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节机制。根据多感觉反应增强中的反比效应原则(principle of inverse effectiveness)(Meredith & Stein, 1983 ;van der Stoep et al., 2016), 研究预期随着线索和目标之间的 SOA 增加, IOR 效应变小(Lupi áñez et al., 1997), 进而使得线索化位置的视听跨通道对应效应变小。(正文第 5 页第 1 段灰色标亮)

实验仪器与材料: 实验 3 在实验 1 的基础上, 将线索与目标之间的 SOA 设置为 600 ms 和 1300 ms 两种水平。600 ms 为实验 1 中的线索和目标间的 SOA, 1300 ms 是通过延长外源性线索与中央线索之间的间隔时间实现的。其余的实验仪器与实验材料与实验 1 相同。(正文第 11 页第 2 段灰色标亮)

实验设计: 实验 3 采用 2(空间线索有效性: 线索有效 vs. 线索无效) × 2(跨通道对应一致性: 对应一致 vs. 对应不一致) × 2(SOA: 600 ms vs. 1300 ms)的被试内设计, 因变量为反应时和正确率。正式实验一共 6 组, 每组 69 个试次, 其中包含 5 个捕获试次, 共 414 个试次。被试在进行正式实验前完成 35 个试次的练习实验, 整个实验大约进行 50 分钟。其余实验流程均与实验 1 保持一致。(正文第 11 页第 3 段灰色标亮)

结果与分析:

错误反应、没有反应和反应时异常(100 ms 以内或超出平均反应时正负 3 个标准差)的数据不计入反应时分析, 剔除的数据量占总数据量的 1.22 %。实验 3 为简单的探测反应任务, 被试的平均正确率达到 99 % 以上, 因此不针对正确率进行进一步的统计分析。

反应时的分析:

对反应时(见表 1)进行 2(线索有效性: 线索有效 vs. 线索无效) × 2(跨通道对应一致性: 对应一致 vs. 对应不一致) × 2(SOA: 600 ms vs. 1300 ms)的重复测量方差分析。结果显示, 线索有效性主效应显著, $F(1, 33) = 89.44, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.73$, 线索有效条件下的反应时(355 ms)显著慢于线索无效条件(336 ms), IOR 效应出现。跨通道对应一致性主效应显著, $F(1, 33) = 9.57, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.23$, 对应一致条件下的反应时(343 ms)显著快于对应不一致条件(348 ms), 视听跨通道对应效应出现。SOA 主效应不显著, $F(1, 33) = 0.56, p = 0.46$ 。SOA 和线索有效性的交互作用显著, $F(1, 33) = 6.89, p = 0.013, \eta_p^2 = 0.17$, SOA 对于 IOR 效应产生了调节作用。简单效应分析表明, 当 SOA 为 600 ms 时, 线索有效条件下的反应时(356 ms)显著慢于线索无效条件(334 ms), $t(33) = 8.34, p < 0.001, \text{Cohen's } d = 1.43, 95\% \text{ CI} = [16.33, 26.86]$, IOR 效应出现; 当 SOA 为 1300 ms 时, 线索有效条件下的反应时(354 ms)显著慢于线索无效条件(339 ms), $t(33) = 8.52, p < 0.001, \text{Cohen's } d = 1.46, 95\% \text{ CI} = [12.13, 19.74]$, IOR 效应同样出现。SOA 对于 IOR 效应的调节体现在 SOA 为 600 ms 时 IOR 效应量(22 ms)显著大于 1300 ms 时(16 ms), $t(33) = 2.63, p = 0.013, \text{Cohen's } d = 0.45, 95\% \text{ CI} = [1.27, 10.05]$, 随着 SOA 的延长, IOR 效应变小。

重要的是, 线索有效性、视听跨通道对应一致性和 SOA 三因素交互作用显著, $F(1, 33) = 6.40, p = 0.016, \eta_p^2 = 0.16$ 。当 SOA 为 600 ms 时, 线索有效性和跨通道对应一致性的交互作用显著, $F(1, 33) = 19.45, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.37$, IOR 效应对于视听跨通道对应产生了调节。简单效应分析表明, 当线索有效时, 跨通道对应一致条件下的反应时(350 ms)显著快于对应不一致条件(361 ms), $t(33) = -4.97, p < 0.001, \text{Cohen's } d = 0.85, 95\% \text{ CI} = [-15.36, -6.43]$, 出现了视听跨通道对应效应; 当线索无效时, 跨通道对应一致条件下的反应时(334 ms)和对应不一致条件(335 ms)没有显著差异, $t(33) = -0.46, p = 0.648$, 没有出现视听跨通道对应效应。当 SOA 为 1300 ms 时, 跨通道对应一致性主效应显著, $F(1, 33) = 5.41, p = 0.026$,

$\eta_p^2 = 0.14$, 对应一致条件下的反应时(344 ms)显著快于对应不一致条件(349 ms), 视听跨通道对应效应出现。线索有效性和跨通道对应一致性的交互作用不显著, $F < 1$, 无论是线索化位置还是非线索化位置都出现了跨通道对应, 但值得注意的是, 此时线索化位置的跨通道对应效应在统计上显著($t(33) = -2.11, p = 0.042, \text{Cohen's } d = 0.36, 95\% \text{ CI} = [-9.73, -0.19]$), 而非线索化位置的跨通道对应效应达到边缘显著($t(33) = -1.78, p = 0.084, \text{Cohen's } d = 0.31, 95\% \text{ CI} = [-9.44, 0.63]$), 这意味着在长 SOA 下, 线索化位置的视听跨通道对应效应更加稳定。

表 1 实验 3 中不同条件下的平均反应时(M \pm SD)

SOA	线索有效条件		线索无效条件	
	对应一致	对应不一致	对应一致	对应不一致
600 ms	350 \pm 52	361 \pm 51	334 \pm 55	335 \pm 53
1300 ms	352 \pm 53	357 \pm 56	336 \pm 57	341 \pm 57

视听跨通道对应效应的分析:

首先计算出不同 SOA 条件下不同线索有效性的跨通道对应效应量(对应不一致减去对应一致的平均反应时), 再对其进行 2 (SOA: 600 ms vs. 1300 ms) \times 2 (线索有效性: 线索有效 vs. 线索无效)的重复测量方差分析。

结果如图 4 所示。线索有效性主效应显著, $F(1, 33) = 10.45, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.24$, 线索有效条件下的跨通道对应效应量(8 ms)显著大于线索无效条件(3 ms)。SOA 主效应不显著, $F(1, 33) = 0.52, p = 0.477$ 。线索有效性与 SOA 的交互作用显著, $F(1, 33) = 6.40, p = 0.016, \eta_p^2 = 0.16$ 。简单效应分析表明, 在线索有效条件下, SOA 为 600 ms 时的跨通道对应效应量(11 ms)显著大于 SOA 为 1300 ms 时(5 ms), $t(33) = 2.20, p = 0.035, \text{Cohen's } d = 0.38, 95\% \text{ CI} = [0.44, 11.44]$; 而在线索无效条件下, SOA 为 600 ms 时的跨通道对应效应量(1 ms)与 1300 ms 时(4 ms)没有显著差异, $t(33) = -1.45, p = 0.156$ 。

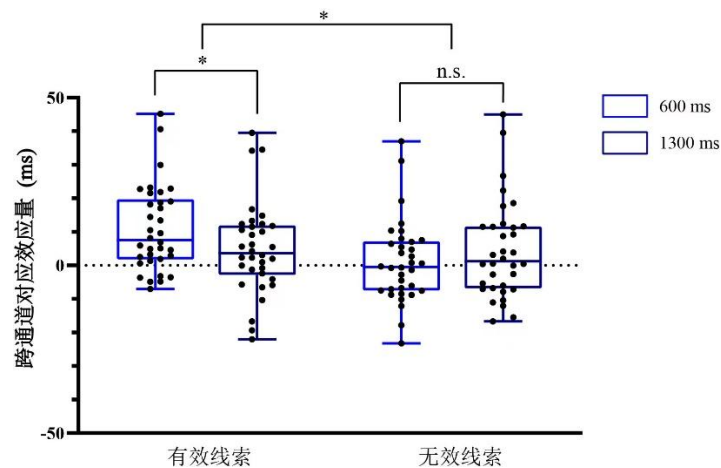


图 4 实验 3 不同 SOA 条件下不同线索有效性的跨通道对应效应量的箱线图。线条自上而下为上限、上四分位数、中位数、下四分位数、下限。散点为个体平均跨通道对应量。(注: $*p < 0.05$, n.s.代表无显著差异)

IOR 效应的分析:

首先计算出不同 SOA 条件下不同线索有效性下的 IOR 效应量, 再对 IOR 效应量进行 2(SOA: 600 ms vs. 1300 ms) \times 2(跨通道对应一致性: 对应一致 vs. 对应不一致)的重复测量方差分析。

结果显示, SOA 主效应显著, $F(1, 33) = 6.89$, $p = 0.013$, $\eta_p^2 = 0.17$, SOA 为 600 ms 时的 IOR 效应量(22 ms)显著大于 SOA 为 1300 ms 时(16 ms), 随着 SOA 的延长, IOR 效应量显著降低。跨通道对应一致性主效应显著, $F(1, 33) = 10.45$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.24$, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(16 ms)显著小于对应不一致条件(21 ms)。SOA 与跨通道对应一致性的交互作用显著, $F(1, 33) = 6.40$, $p = 0.016$, $\eta_p^2 = 0.16$ 。简单效应分析表明, 当 SOA 为 600 ms 时, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(17 ms)显著小于对应不一致条件(27ms), $t(33) = -4.41$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 0.76$, 95% CI = [-14.50, -5.35], 视听跨通道对应产生的促进作用抵消了部分 IOR 效应; 当 SOA 为 1300 ms 时, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(16 ms)与对应不一致条件(16ms)没有显著差异, $t(33) = -0.21$, $p = 0.836$ 。(正文第 11 页至 14 页灰色标亮)

实验小结:

实验 3 通过操纵线索和目标之间的 SOA 来操纵 IOR 效应的大小, 探究 IOR 效应的大小对视听跨通道对应的影响。对于 IOR 效应量的分析发现, 随着 SOA 的延长, IOR 效应减弱, 这与人研究结果相一致(Lupi áñez et al., 1997)。综合统计结果发现, 当 SOA 为 600 ms 时, IOR 效应与视听跨通道对应产生了交互作用, 线索有效条件出现了视听跨通道对应效应, 而线索无效条件下没有出现跨通道对应效应, 这与实验 1 的结果相一致。随着 SOA 延长至 1300 ms, 一方面线索有效条件下的跨通道对应效应相比于 SOA 为 600 ms 时显著减弱, 另一方面线索有效条件下的跨通道对应效应与线索无效条件没有显著差异(线索有效性与跨通道对应一致性之间交互作用不显著)。当前结果符合反比效应原则(Meredith & Stein, 1983), 即当 IOR 减弱时, 线索化位置视觉目标的感知觉显著性增加, 更强的视觉信号输入引发了更弱的视听跨通道对应; 同时, 由于 IOR 效应减弱, 非线索化位置的知觉加工优势降低, 使得长 SOA 下非线索化位置出现了跨通道对应效应趋势。由于在 1300 ms 条件下 IOR 效应仍然存在, 线索化位置目标感知觉显著性仍然相对较低, 因此统计结果显示线索化位置的视听跨通道对应效应相比于非线索化位置更加稳定。此外, 相比于 600 ms 条件下, SOA 为 1300 ms 时跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量与对应不一致条件没有显著差异, 可能是跨通道对应效应的减弱导致其对于 IOR 效应的抵抗能力降低。(正文第 14 页第 2 段灰色标亮)

讨论部分:

实验 3 的结果发现, 随着 IOR 效应减弱, 线索化位置的跨通道对应效应变小, 直接验证了反比效应原则对于视听跨通道对应的适用性。在多感觉反应增强的研究中, 反比效应原则不仅存在于无意义的视、听刺激整合中(Senkowski et al., 2011), 也存在于多感觉输入下的言语知觉中(van de Rijt et al., 2019), 研究者发现无论是听觉输入还是视觉输入, 更难以感知的单词输入引发了更大的多感觉反应增强。目前的研究结果支持视听跨通道对应的发生也符合反比效应原则, 扩展了反比效应原则在多感觉反应增强领域的适用范围。(正文第 16 页第 4 段灰色标亮)

结论部分: IOR 效应对视听跨通道对应产生了调节作用, IOR 发生时线索化位置出现了稳定的视听跨通道对应效应, 而非线索化位置没有出现。听觉刺激引发的警觉效应没有与 IOR 效应产生交互。随着 IOR 效应的减弱, 视听跨通道对应效应也减弱。当前研究结果支持了听觉音调与视觉空间位置之间的视听跨通道对应发生在知觉水平, 且视听跨通道对应的发生符合反比效应原则。(正文第 18 页灰色标亮)

我们之所以没有将 SOA 设置得更短(如 300 ms)去探究外源性线索产生的易化效应对于 IOR 效应的影响,是因为本研究中声音刺激与视觉目标的间隔时间设置为 200 ms 以避免视听觉整合出现,如果将 SOA 缩短,会导致外源性线索与声音刺激的间隔时间过短(SOA 为 300 ms 时,去掉声音呈现的时间,线索与声音的呈现间隔时间仅为 50 ms),继而导致外源性线索和听觉刺激之间发生视听觉整合(van der Stoep et al., 2015a),可能对于结果造成混淆,因此我们实施了审稿专家延长 SOA 的建议。当然,探究易化效应对于视听跨通道对应效应的影响,对于验证反比效应原则,以及探究视听跨通道对应的发生机制都是重要的,未来的研究可以通过改进行为研究范式,在排除视听觉整合影响的基础上探究易化效应对于视听跨通道对应的影响,进而全面探究外源性线索效应对于视听跨通道对应的影响。

参考文献:

- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Science*, 4(4), 138–147.
- Lupi áñez, J., Mil án, E. G., Tornay, F. J., Madrid, E., & Tudela, P. (1997). Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later. *Perception & Psychophysics*, 59(8), 1241–1254.
- Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1983). Interactions among converging sensory inputs in the superior colliculus. *Science*, 221, 389–391.
- Otto, T. U., Dassy, B., & Mamassian, P. (2013). Principles of multisensory behavior. *Journal of Neuroscience*, 33(17), 7463–7474.
- Senkowski, D., Saint-Amour, D., Höfle, M., & Foxe, J. J. (2011). Multisensory interactions in early evoked brain activity follow the principle of inverse effectiveness. *Neuroimage*, 56(4), 2200–2208.
- van de Rijt, L. P. H., Roye, A., Mylanus, E. A. M., van Opstal, A. J., & van Wanrooij, M. M. (2019). The Principle of Inverse Effectiveness in Audiovisual Speech Perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 335.
- van der Stoep, N., Spence, C., Nijboer, T. C., & Van der Stigchel, S. (2015a). On the relative contributions of multisensory integration and crossmodal exogenous spatial attention to multisensory response enhancement. *Acta Psychologica*, 162, 20–28.
- van der Stoep, N., van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., & Spence, C. (2016). Visually induced inhibition of return affects the integration of auditory and visual information. *Perception*, 46(1), 6–17.
-

审稿人 2 意见:

研究通过线索靶子范式探究返回抑制对视听跨通道对应的影响,研究一发现 IOR 效应和视听跨通道对应存在交互作用,研究 2 进一步排除了警觉效应对结果的混淆。研究设计较为合理,写作思路也较为清晰。研究将返回抑制范式与视听跨通道对应相结合有一定的创新性,这为研究视听跨通道对应的机制问题提供了新的思路。一些建议希望作者完善。

意见 1: 研究主要关注的是返回抑制范式对视听跨通道对应的影响,建议研究 1 在分析交互作用时可以从另一个维度分析视听跨通道对应对于 IOR 的调节作用。

回应: 感谢审稿专家的建议。一些视听觉整合的研究在探究 IOR 效应与视听觉整合之间的关系时,也会从两个方向上进行简单效应分析,这有利于探究两者间的相互作用。根据审稿专家的建议,本研究在实验 1 中对于 IOR 效应和视听跨通道对应的交互作用进行了另一个维度的简单效应分析,在新增的实验 3 中探究了不同 SOA 下视听跨通道对应对于 IOR 效应的影响,并在小结部分做了小结,讨论部分做了讨论,具体如下:

实验 1

结果与分析: 另一个维度的简单效应分析表明, 当跨通道对应一致时, 线索有效条件下的反应时(322 ms)显著慢于线索无效条件(288 ms), $t(30) = 10.19$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.83$, 95% CI = [26.76, 40.19], IOR 效应出现; 当跨通道对应不一致时, 线索有效条件下的反应时(327 ms)显著慢于线索无效条件(288 ms), $t(30) = 10.76$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.93$, 95% CI = [31.79, 40.69], IOR 效应同样出现。对于 IOR 效应量(线索有效条件减去线索无效条件的平均反应时)进行配对样本 t 检验, 结果发现跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(33 ms)显著小于不一致条件(39 ms), $t(30) = -2.59$, $p = 0.015$, Cohen's $d = 0.47$, 95% CI = [-10.31, -1.21], 视听跨通道对应产生的促进作用抵消了部分 IOR 效应。(正文第 7 页第 1 段蓝色标亮)

小结: 实验 1 还发现跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量更小, 意味着视听跨通道对应部分抵消了 IOR 效应对于目标在早期感知觉上的抑制, 这与视听觉整合研究中的发现相一致 (Tang et al., 2019)。(正文第 8 页第 2 段蓝色标亮)

实验 3

结果与分析: 首先计算出不同 SOA 条件下不同线索有效性下的 IOR 效应量, 再对 IOR 效应量进行 $2(\text{SOA: } 600 \text{ ms vs. } 1300 \text{ ms}) \times 2(\text{跨通道对应一致性: 对应一致 vs. 对应不一致})$ 的重复测量方差分析。

结果显示, SOA 主效应显著, $F(1, 33) = 6.89$, $p = 0.013$, $\eta_p^2 = 0.17$, SOA 为 600 ms 时的 IOR 效应量(22 ms)显著大于 SOA 为 1300 ms 时(16 ms), 随着 SOA 的延长, IOR 效应量显著降低。跨通道对应一致性主效应显著, $F(1, 33) = 10.45$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.24$, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(16 ms)显著小于对应不一致条件(21 ms)。SOA 与跨通道对应一致性的交互作用显著, $F(1, 33) = 6.40$, $p = 0.016$, $\eta_p^2 = 0.16$ 。简单效应分析表明, 当 SOA 为 600 ms 时, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(17 ms)显著小于对应不一致条件(27ms), $t(33) = -4.41$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 0.76$, 95% CI = [-14.50, -5.35], 视听跨通道对应产生的促进作用抵消了部分 IOR 效应; 当 SOA 为 1300 ms 时, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量(16 ms)与对应不一致条件(16ms)没有显著差异, $t(33) = -0.21$, $p = 0.836$ 。

(正文第 13 页第 3、4 段灰色标亮)

小结: 此外, 相比于 600 ms 条件下, SOA 为 1300 ms 时跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量与对应不一致条件没有显著差异, 可能是跨通道对应效应的减弱导致其对于 IOR 效应的抵抗能力降低。(正文第 14 页第 2 段蓝色标亮)

讨论

研究同样发现, 视听跨通道对应也对 IOR 效应产生了影响。具体来讲, 当 SOA 为 600 ms 时, 无论在实验 1 还是实验 3 中, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应量都显著小于对应不一致条件, 这是由于听觉刺激与视觉目标之间的跨通道对应增加了视觉目标的感知觉显著性, 部分抵消了 IOR 效应导致的目标感知觉显著性降低。而随着 SOA 延长, 跨通道对应一致条件下的 IOR 效应和对应不一致条件没有显著差异。这是由于长 SOA 下, 视听跨通道对应效应减弱, 进而抵抗 IOR 效应的能力也随之降低, 从而使得不同对应一致性条件下的 IOR 效应无显著差异。(正文第 16 页最后一段蓝色标亮)

参考文献:

Tang, X., Gao, Y., Yang, W., Ren, Y., Wu, J., Zhang, M., & Wu, Q. (2019). Bimodal-divided attention attenuates visually induced inhibition of return with audiovisual targets. *Experimental Brain Research*, 237(4), 1093–1107.

意见 2: 研究发现音调与空间位置之间的跨通道对应可以在知觉水平发生, 这或许是由于音调和位置这样的基本刺激特征的对应不需要语义进行中介, 但是更复杂刺激之间的跨通道可能需要语义中介, 如声音与特殊形状之间的对应 (Kovic et al., 2010), 作者在讨论中对此问题进行进一步讨论。

回应: 感谢审稿专家的建议, 我们对于审稿专家的观点十分认同。事实上, 证明视听跨通道对应可以独立于语义编码的研究主要集中于音调和视觉空间位置之间的对应(Dolscheid et al., 2014; Parkinson et al., 2012)。而听觉刺激的频率与视觉刺激的空间位置都是基本的刺激特征, 且两者之间存在自然的相关性(Spence, 2011), 自然界中质量较重的生物往往发声频率较低, 而较重的生物不太可能存在于高位置。如空中鸟的叫声比较清脆(高音), 而陆地上牛的叫声比较低沉(低音)。因而音调与位置之间的跨通道对应可能不需要语义为中介, 而是在纯知觉层面发生。但一些不存在自然的相关性的刺激特征之间, 或者是更复杂刺激之间的跨通道对应可能需要语义中介。

我们在手稿的讨论部分做了如下讨论: “当然目前研究结果并不否认语义编码可能在跨通道对应中发挥作用。本研究中的跨通道对应是两个基本刺激特征(音调、空间位置)之间的对应, 而声音频率和视觉空间位置本身就存在自然的相关性(Spence, 2011), 在自然界中质量较重的生物的发声频率往往较低(如牛的叫声), 而较重的生物不太可能存在于高位置(如空中)。同时, 人类的喉头在发出较低的音调时下降, 在发出较高的音调时上升(Parkinson et al., 2012), 这都可能导致音调和空间位置之间存在感知上的对应而不需要通过语义产生。而一些不存在自然相关性的刺激特征之间, 或是更复杂的刺激之间的跨通道对应可能需要语义编码来产生(Parise & Spence, 2012)。此外, 以往视听跨通道对应的语义研究中, 实验任务鼓励被试进行语义编码(Martino, & Marks, 1999), 也可能导致了语义在跨通道对应中的作用增加”。(正文第 15 页第 2 段蓝色标亮)

参考文献:

- Dolscheid, S., Hunnius, S., Casasanto, D., & Majid, A. (2014). Prelinguistic Infants Are Sensitive to Space-Pitch Associations Found Across Cultures. *Psychological Science*, 25, 1256–1261.
- Martino, G., & Marks, L. E. (1999). Perceptual and linguistic interactions in speeded classification: tests of the semantic coding hypothesis. *Perception*, 28(7), 903–923.
- Parise, C., & Spence, C. (2012). Audiovisual crossmodal correspondences and sound symbolism: a study using the implicit association test. *Experimental Brain Research*, 220(3-4), 319–333.
- Parkinson, C., Kohler, P.J., Sievers, B., & Wheatley, T. (2012). Associations between Auditory Pitch and Visual Elevation Do Not Depend on Language: Evidence from a Remote Population. *Perception*, 41, 854–861.
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 971–995.

意见 3: 引言部分第三段: “....., 支持了跨通道对应由语义介导的观点”。“介导”一词具体指代什么意思, 心理学研究中使用这一词较少, 建议作者再思考。

回应: 感谢审稿专家的建议, 我们想表达的意思为, 部分研究者认为视听跨通道对应的产生可能是由于高、低音调和低、高空间位置激活了相同的语义编码。用“介导”一词的确并不合适, 我们将“支持了跨通道对应由语义介导的观点”改写为“支持了跨通道对应发生在语义层面的观点”。(正文第 2 页第 2 段蓝色标亮)

意见 4: 实验 2 中的听觉刺激为 1600Hz 的正弦音, 尽管作者在引言部分介绍只呈现单一的音调不会产生跨通道对应, 但是作者最好在讨论部分详细声明这一点, 即单独呈现一个较高的音调不会同高位置产生对应。

回应: 感谢审稿专家的建议。我们在讨论部分详细声明了这一点: “由于视听跨通道对应是一种相对的映射(Chiou & Rich, 2012), 需要两个有相对高、低关系的音调才能与高、低位置相对应, 因此单独的纯音不会引发跨通道对应。结果发现 IOR 效应与听觉刺激是否出现不存在交互作用”。(正文第 17 页第 2 段蓝色标亮)

参考文献:

Chiou, R. and Rich, A. N. (2012). Cross-modality correspondence between pitch and spatial location modulates attentional orienting, *Perception*, 41, 339–353.

意见 5: 研究发现, 外源线索引发的返回抑制与视听跨通道对应之间的交互, 作者应该再进一步阐述明确为什么采用返回抑制影响跨通道对应, 本质上揭示了什么问题。以及作者需要思考注意的易化和抑制效应与视听跨通道对应之间分别存在什么关系。

回应: 感谢审稿专家的建议。我们从为什么探究 IOR 与视听跨通道对应的关系、研究揭示了什么问题、易化效应和 IOR 效应与视听跨通道对应之间分别存在什么关系三个方面回答。

为什么探究 IOR 与视听跨通道对应的关系:

在知觉和意识研究中, 自下而上的刺激强度、注意力和警觉水平被认为是知觉和意识的先决条件(Dehaene et al., 2006)。研究者们关注这三种因素如何相互作用影响人类的知觉和意识过程(Botta et al., 2017), 探究了刺激强度与注意(Reynolds & Chelazzi, 2004), 刺激强度与警觉水平(Botta et al., 2017), 注意与警觉水平之间的关系(Botta et al., 2014; Fischer et al., 2008)。而注意的线索化效应与双通道视听刺激之间关系的研究也属于这一范畴(Botta et al., 2017), 因为不同形式的双通道视听刺激可以影响刺激的感知觉显著性(van der Burg, 2008), 或是个体的警觉水平(Botta et al., 2017)。其中外源性线索效应和视听觉整合的研究被广泛关注(彭姓 等, 2019; 唐晓雨 等, 2020; Tang et al., 2019; van der Stoep et al., 2015b, 2016)。这是由于外源性线索效应和视听觉整合两者都有引导注意定向、影响刺激知觉的作用(van der Stoep et al., 2016), 探究两者之间的关系对于探究人类的知觉和意识过程具有重要意义。特别是外源性线索在不同 SOA 下引发的易化效应和 IOR 效应可以影响刺激的感知觉显著性(Klein, 2000; Satel et al., 2013), 因而研究者通过考察不同 SOA 条件下外源性线索效应对视听觉整合效应的调节作用(彭姓 等, 2019), 发现了发生在知觉阶段的外源性线索效应(包括 IOR)对于同样发生在知觉阶段的视听觉整合效应产生了影响, 总结出了关于视听觉整合效应的不同假说(van der Stoep et al., 2015b; van der Stoep et al., 2016), 促进了对于视听觉整合的发生阶段和发生机制的探究, 所有这一切最终都加深了人们对于知觉和意识过程的理解。

当前研究的直接动机也是延续外源性线索效应与双通道视听刺激之间关系的研究思路, 通过研究 IOR 效应与视听跨通道对应之间的交互作用, 探究视听跨通道对应的发生阶段及其发生机制。我们在问题提出部分明确了这一点: “尽管视听觉整合和视听跨通道对应以不同的方式导致多感觉反应增强, 前者通过时间和空间上的临近提供冗余的信息(Noesselt et al., 2007; Santangelo et al., 2008), 后者通过不同维度信息间的相互映射促进当前的行为(Chiou & Rich, 2012; McCormick et al., 2018)。但如果视听跨通道对应发生在知觉阶段, 结合以往研究发现的多感觉刺激与包括 IOR 在内的注意线索效应之间的相互作用(Botta et al.,

2017; Chica et al., 2011; Tang et al., 2019; 唐晓雨 等, 2020), 以及加因素法反应时的实验逻辑 (Sternberg 1969), 则 IOR 发生时, 线索化位置目标的知觉显著性降低会对于视听跨通道对应产生影响; 而如果视听跨通道对应发生在语义或者决策水平, 则 IOR 不会对于视听跨通道对应产生影响”。(正文第 3 页第 3 段蓝色标亮)

研究揭示了什么问题:

研究结果不仅发现了 IOR 效应对于视听觉整合效应产生了调节作用(实验 1), 其调节作用的机制也符合视听觉整合和言语知觉中存在的反比效应原则(实验 3)。这一方面支持了视听跨通道对应可以发生在纯知觉层面, 另一方面也支持了视听跨通道对应的发生符合反比效应原则, 扩展了反比效应原则在多感觉反应增强领域的适用范围。我们在讨论部分进行了讨论:

“实验 1 发现 IOR 与视听跨通道对应存在交互作用, 根据加因素法反应时的逻辑, 两个因素存在交互作用则两个因素作用于同一个加工阶段(Sternberg, 1969)。因此, 本研究支持视听跨通道对应发生在与 IOR 效应相同的知觉加工阶段, 这与以往一些研究发现一致(Kovic et al., 2010; Maeda et al., 2004)。”(正文第 15 页第 2 段蓝色标亮)

“在实验 1 中, 视听跨通道对应仅在线索化位置出现, 这与部分视听觉整合的研究结果相类似。以往视听整合的研究中, 有研究发现 IOR 效应发生时, 线索化位置的视听觉整合效应更大(唐晓雨 等, 2020), 研究者使用反比效应原则对于结果进行解释, 即视、听感觉信号的输入强度会影响视听觉整合效应大小。根据反比效应原则(Otto et al., 2013), 视觉或听觉感觉信号输入强度弱时, 视听觉整合效应更大; 而视觉或听觉感觉信号输入强度强时, 视听觉整合效应更小(Senkowski et al., 2011)。反比效应原则最初是在动物的单神经元研究中发现的(Meredith & Stein, 1983; Stein and Meredith, 1993), 行为和神经上的研究表明人类被试的多感觉反应增强仍然遵循这一原则(Rach et al., 2011; Senkowski et al., 2011; van de Rijdt et al., 2019)。反比效应原则本质上反映的是更弱的冗余性信息引发了更强的整合。本研究的视听跨通道对应中, 尽管视、听刺激在形式上是非冗余性的, 但有研究者们认为这些刺激处于心理坐标中的相同一端, 如高音和高空间位置都意味着相比于低音和低空间位置更“高”的一端(McCormick et al., 2018), 因此可能存在共同的神经编码, 产生了冗余性, 因而反比效应原则可能也适用于视听跨通道对应。当 IOR 效应发生时, 线索化位置的目标感知觉显著性降低(Slagter et al., 2016), 视觉信号输入减弱, 因而产生了稳定的视听跨通道对应效应, 而非线索化位置相对高的目标感知觉显著性没有产生跨通道对应效应。”(正文第 16 页第 3 段蓝色标亮)

“实验 3 的结果发现, 随着 IOR 效应减弱, 线索化位置的跨通道对应效应变小, 直接验证了反比效应原则对于视听跨通道对应的适用性。在多感觉反应增强的研究中, 反比效应原则不仅存在于无意义的视、听刺激整合中(Senkowski et al., 2011), 也存在于多感觉输入下的言语知觉中(van de Rijdt et al., 2019), 研究者发现无论是听觉输入还是视觉输入, 更难以感知的单词输入引发了更大的多感觉反应增强。目前的研究结果支持视听跨通道对应的发生也符合反比效应原则, 扩展了反比效应原则在多感觉反应增强领域的适用范围。”(正文第 16 页第 4 段灰色标亮)

易化效应与 IOR 效应与视听跨通道对应之间分别存在什么关系:

本研究只探究了 IOR 效应对于视听跨通道对应的影响, 发现随着 IOR 效应减小, 线索化位置的视听跨通道对应效应也减少, 而没有探究易化效应。这是因为当相互映射的视、听刺激同时呈现, 或者在短时间内相继呈现时, 产生的多感觉反应增强既包括视听跨通道对应, 也包括视听觉整合, 会对结果产生混淆。考虑视、听觉刺激在时间上的邻近性是发生视听觉

整合的必要条件(Spence, 2011), 本研究在视觉目标呈现前 200 ms 呈现完毕听觉刺激, 以此排除视听觉整合的影响。但是在外源性线索范式中, 探测任务中的易化效应需要线索和目标间的 SOA 在 300 ms 内才能出现(Klein, 2000), 如果此时探究易化效应与视听跨通道对应的关系, 声音刺激与外源性线索之间的呈现间隔时间仅为 50 ms(声音本身呈现需要 50 ms), 此时的声音会与外源性线索产生整合(van der Stoep et al., 2015a), 同样会对结果产生混淆。

但是这并不妨碍我们预期当外源性线索引发易化效应时, 根据反比效应原则(Otto et al., 2013), 线索化位置的视听跨通道对应效应会削弱或者是消失, 而非线索化位置的跨通道对应效应则会相对更强, 事实上易化效应与视听觉整合的研究结果也是如此(van der Stoep et al., 2015b)。未来的研究中, 可以通过修改行为研究范式, 在排除视听觉整合的基础上探究易化效应对于视听跨通道对应的影响。

参考文献:

- Botta, F., Lupi áñez, J., & Chica, A. B. (2014). When endogenous spatial attention improves conscious perception: effects of alerting and bottom-up activation. *Consciousness and Cognition*, 23, 63–73.
- Botta, F., Ródenas, E., & Chica, A. B. (2017). Target bottom-up strength determines the extent of attentional modulations on conscious perception. *Experimental Brain Research*, 23, 5(7), 2109–2124.
- Chica, A. B., Lasaponara, S., Chanes, L., Valero-Cabr é A., Doricchi, F., Lupi áñez, J., & Bartolomeo, P. (2011). Spatial attention and conscious perception: the role of endogenous and exogenous orienting. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73(4), 1065–1081.
- Chiou, R. and Rich, A. N. (2012). Cross-modality correspondence between pitch and spatial location modulates attentional orienting. *Perception*, 41, 339–353.
- Dehaene, S., Changeux, J. P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204–211.
- Fischer, T., Langner, R., Birbaumer, N., & Brocke, B. (2008). Arousal and attention: self-chosen stimulation optimizes cortical excitability and minimizes compensatory effort. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1443–1453.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Science*, 4(4), 138–147.
- Ković, V., Plunkett, K., & Westermann, G. (2010). The shape of words in the brain. *Cognition*, 114, 19–28.
- Maeda, F., Kanai, R., & Shimojo, S. (2004). Changing pitch induced visual motion illusion. *Current Biology*, 14, 990–991.
- McCormick, K., Lacey, S., Stilla, R., Nygaard, L. C., & Sathian, K. (2018). Neural basis of the crossmodal correspondence between auditory pitch and visuospatial elevation. *Neuropsychologia*, 112, 19–30.
- Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1983). Interactions among converging sensory inputs in the superior colliculus. *Science*, 221, 389–391.
- Noesselt, T., Rieger, J. W., Schoenfeld, M. A., Kanowski, M., Hinrichs, H., Heinze, H. J., & Driver, J. (2007). Audiovisual temporal correspondence modulates human multisensory superior temporal sulcus plus primary sensory cortices. *Journal of Neuroscience*, 27(42), 11431–11441.
- Otto, T. U., Dassy, B., & Mamassian, P. (2013). Principles of multisensory behavior. *Journal of Neuroscience*, 33(17), 7463–7474.
- [彭姓, 常若松, 李奇, 王爱君, 唐晓雨. (2019). 不同 SOA 下视觉返回抑制对视听觉整合的调节作用. *心理学报*, 51(7), 759–771.]
- Rach, S., Diederich, A., & Colonius, H. (2011). On quantifying multisensory interaction effects in reaction time and detection rate. *Psychological Research*, 75(2), 77–94.
- Reynolds, J. H., & Chelazzi, L. (2004). Attentional modulation of visual processing. *Annual Review of*

- Neuroscience*, 27, 611–647.
- Santangelo, V., Ho, C., & Spence, C. (2008). Capturing spatial attention with multisensory cues. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(2), 398–403.
- Satel, J., Hilchey, M. D., Wang, Z. G., Story, R., & Klein, R. M. (2013). The effects of ignored versus foveated cues upon inhibition of return: An event-related potential study. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(1), 29–40.
- Senkowski, D., Saint-Amour, D., Hölle, M., & Foxe, J. J. (2011). Multisensory interactions in early evoked brain activity follow the principle of inverse effectiveness. *Neuroimage*, 56(4), 2200–2208.
- Slagter, H. A., Prinszen, S., Reteig, L. C., & Mazaheri, A. (2016). Facilitation and inhibition in attention: Functional dissociation of pre-stimulus alpha activity, P1, and N1 components. *Neuroimage*, 125(6), 25–35.
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 971–995.
- Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). The merging of the senses. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(3), 373–374.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, 30, 276–315.
- [唐晓雨, 孙佳影, 彭姓. (2020). 双通道分配性注意对视听觉返回抑制的影响. *心理学报*, 52(3), 257–268.]
- Tang, X., Gao, Y., Yang, W., Ren, Y., Wu, J., Zhang, M., & Wu, Q. (2019). Bimodal-divided attention attenuates visually induced inhibition of return with audiovisual targets. *Experimental Brain Research*, 237(4), 1093–1107.
- van der Burg, E., Olivers, C. N. L., Bronkhorst, A. W., & Theeuwes, J. (2008). Pip and pop: Nonspatial auditory signals improve spatial visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(5), 1053–1065.
- van de Rijt, L. P. H., Roye, A., Mylanus, E. A. M., van Opstal, A. J., & van Wanrooij, M. M. (2019). The Principle of Inverse Effectiveness in Audiovisual Speech Perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 335.
- van der Stoep, N., Spence, C., Nijboer, T. C., & Van der Stigchel, S. (2015a). On the relative contributions of multisensory integration and crossmodal exogenous spatial attention to multisensory response enhancement. *Acta Psychologica*, 162, 20–28.
- van der Stoep, N., van der Stigchel, S., & Nijboer, T. C. W. (2015b). Exogenous spatial attention decreases audiovisual integration. *Attention Perception & Psychophysics*, 77(1), 464–482.
- van der Stoep, N., van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., & Spence, C. (2016). Visually induced inhibition of return affects the integration of auditory and visual information. *Perception*, 46(1), 6–17.

第二轮

审稿人 1 意见：作者已经回复了我的全部意见。建议小修，具体问题如下。

意见 1：统计结果部分，我记得 t 值通常报告绝对值。请查阅 APA 相关规范，确认后订正。

回应：感谢审稿专家的建议。我们查阅了 APA 的手册，但是暂时没有在相关的章节中发现有关 t 值报告为绝对值的规定。鉴于 t 值的正负仅代表比较的方向，以往文献也通常将 t 值报告为绝对值，以及目前研究在结果部分已经用文字描述了统计结果的方向，因此我们将统计部分的 t 值报告为绝对值。

APA 相关的规范如下：

在 APA 手册第 2 章第 7 节(2.07)的统计分析(Statistics and data analysis)部分，里面相关的内容主要是规范统计报告的信息，没有规范 t 值的书写：For inferential statistical tests (e.g., t , F , and χ^2 tests), include the obtained magnitude or value of the test statistic, the degrees of freedom, the probability of obtaining a value as extreme as or more extreme than the one obtained (the exact p value), and the size and direction of the effect. When point estimates (e.g., sample means or regression coefficients) are provided, always include an associated measure of variability (precision), with an indication of the specific measure used (e.g., the standard error).

第 4 章第 44 节(4.44)的文字统计(Statistics in Text)部分，里面亦是要求报告足够多的统计信息，而没有规范 t 值的书写：When reporting inferential statistics (e.g., t , F , and χ^2 tests, and associated effect sizes and confidence intervals), include sufficient information to allow the reader to fully understand the analyses conducted. The data supplied, preferably in the text but possibly in an online supplemental archive depending on the magnitude of such data arrays, should allow the reader to confirm the basic reported analyses (e.g., cell means, standard deviations, sample sizes, and correlations) and should enable the interested reader to construct some effect-size estimates and confidence intervals beyond those supplied in the paper perse. In the case of multilevel data, present summary statistics for each level of aggregation. What constitutes sufficient information depends on the analytic approach reported.

意见 2：实验 3 中，1300 ms 条件下的结果很明显表明，IOR 效应衰减到一定程度以后，不再与跨通道对应效应有交互作用。这个发现并不影响实验 3 支持“反比效应原则”，建议作者对相关的结果和讨论做进一步的调整和修改。

回应：非常感谢审稿专家提出的建议。我们从实验 3 的思路、实验 3 的结果和根据审稿专家的建议所做的修改这 3 个方面进行回复，前两个方面是我们进行修改的依据。

实验 3 的思路：

实验 3 的目的是对于反比效应原则在视听跨通道对应中的适用性进行验证。我们在实验 1 中发现 IOR 效应与视听跨通道对应产生了交互作用，IOR 效应发生时，线索有效条件下出现了跨通道对应效应，而线索无效条件下没有出现跨通道对应效应。我们认为实验 1 的结果可能反映了多感觉反应增强中的反比效应原则。

反比效应原则的内容是当视听多感觉刺激输入时，单一感觉信号输入强度越强，所产生的多感觉反应增强越强 (Otto et al., 2013)。在本研究中，当 IOR 效应发生时，线索化位置的目标感知觉显著性降低(Slagter et al., 2016)，视觉信号输入减弱，产生了稳定的视听跨通道对应效应，而非线索化位置相对高的目标感知觉显著性没有产生视听跨通道对应效应。

尽管反比效应原则在不同类型的多感觉反应增强中广泛适用(Senkowski et al., 2011; 唐晓雨 等, 2020; van de Rijt et al., 2019; van der Stoep et al., 2015; 2016)，但是**考虑到尚无研究将其应用于跨通道对应领域，我们在实验 3 中验证了反比效应原则对于视听跨通道对应的适用性。**我们在实验 1 线索和目标间的 SOA 为 600 ms 的基础上，增加了 SOA 为 1300 ms 的水平，我们的研究思路是，根据以往 IOR 的研究(Lupi áñez et al., 1997)，SOA 延长至 1300 ms 时 IOR 效应会减弱，线索化位置的目标感知觉显著性相比于 600 ms 时会提升，同时线

索化位置和非线索化位置目标感知觉显著性间的差异相比于 600 ms 时会缩小。如果反比效应原则适用于视听跨通道对应，则 IOR 效应的减弱会产生两个方面的影响。一方面，相比 600 ms 时，1300 ms 时线索化位置的视听跨通道对应效应会由于输入的视觉感觉信号强度增强而减弱；另一方面，相比于 600 ms 时，1300 ms 时 IOR 效应对于视听跨通道对应效应的调节作用减弱，线索化位置和非线索化位置的视听跨通道对应效应之间的差异将会缩小，在统计上表现为 1300 ms 时 IOR 效应与视听跨通道对应之间的交互作用会减弱或者消失。

实验 3 的结果：

实验 3 的结果也符合这两方面的预期。一方面结果表明，随着线索和目标间的 SOA 延长至 1300 ms，线索有效条件下的跨通道对应效应相比于 SOA 为 600 ms 时显著减弱，具体结果如下：“简单效应分析表明，在线索有效条件下，SOA 为 600 ms 时的跨通道对应效应量(11 ms)显著大于 SOA 为 1300 ms 时(5 ms)， $t(33) = 2.20$ ， $p = 0.035$ ，Cohen's $d = 0.38$ ，95% CI = [0.44, 11.44]；而在线索无效条件下，SOA 为 600 ms 时的跨通道对应效应量(1 ms)与 1300 ms 时(4 ms)没有显著差异， $t(33) = 1.45$ ， $p = 0.156$ ”。(正文第 13 页第 2 段黄色标亮)

另一方面结果表明，当线索和目标间的 SOA 延长至 1300 ms 时，线索有效性和跨通道对应一致性的交互作用不显著，无论是线索化位置还是非线索化位置都出现了跨通道对应，这意味着 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱。具体结果如下：“重要的是，线索有效性、视听跨通道对应一致性和 SOA 三因素交互作用显著， $F(1, 33) = 6.40$ ， $p = 0.016$ ， $\eta_p^2 = 0.16$ 。当 SOA 为 600 ms 时，线索有效性和跨通道对应一致性的交互作用显著， $F(1, 33) = 19.45$ ， $p < 0.001$ ， $\eta_p^2 = 0.37$ ，IOR 效应对于视听跨通道对应产生了调节。简单效应分析表明，当线索有效时，跨通道对应一致条件下的反应时(350 ms)显著快于对应不一致条件(361 ms)， $t(33) = 4.97$ ， $p < 0.001$ ，Cohen's $d = 0.85$ ，95% CI = [-15.36, -6.43]，出现了视听跨通道对应效应；当线索无效时，跨通道对应一致条件下的反应时(334 ms)和对应不一致条件(335 ms)没有显著差异， $t(33) < 1$ ，没有出现视听跨通道对应效应。当 SOA 为 1300 ms 时，跨通道对应一致性主效应显著， $F(1, 33) = 5.41$ ， $p = 0.026$ ， $\eta_p^2 = 0.14$ ，对应一致条件下的反应时(344 ms)显著快于对应不一致条件(349 ms)，视听跨通道对应效应出现。线索有效性和跨通道对应一致性的交互作用不显著， $F < 1$ ，无论是线索化位置还是非线索化位置都出现了视听跨通道对应效应，但值得注意的是，此时线索化位置的跨通道对应效应在统计上显著($t(33) = 2.11$ ， $p = 0.042$ ，Cohen's $d = 0.36$ ，95% CI = [-9.73, -0.19])，而非线索化位置的跨通道对应效应达到边缘显著($t(33) = 1.78$ ， $p = 0.084$ ，Cohen's $d = 0.31$ ，95% CI = [-9.44, 0.63])，这意味着在长 SOA 下，线索化位置的视听跨通道对应效应更加稳定”。(正文第 12 页第 2 段黄色标亮)

对于视听跨通道对应效应量的分析也发现：“当 SOA 为 600 ms 时，线索有效条件下的跨通道对应效应量(11 ms)显著大于线索无效条件(1 ms)， $t(33) = 4.41$ ， $p < 0.001$ ，Cohen's $d = 0.76$ ，95% CI = [5.35, 14.50]；而当 SOA 为 1300 ms 时，线索有效条件下的跨通道对应效应量(5 ms)与无效条件下(4 ms)没有显著差异， $t(33) < 1$ ”。(正文第 13 页第 2 段黄色标亮)

根据审稿专家的建议对于实验 3 有关内容的修改：

审稿专家的意思是，我们先前在结果和讨论中突出了随着 SOA 延长，IOR 效应减弱，线索化位置的视听跨通道对应效应也随之减弱这一方面的结果，而没有突出 IOR 效应减弱使得其对于视听跨通道对应的调节作用减弱这一方面的结果，事实上这两方面的结果同样符合反比效应原则。根据审稿专家的建议，我们将两个方面的结果进行了同等的报告，并在摘要、引言、实验小结、讨论和结论部分对于相关的内容进行了调整和修改，所有的地方都用黄色高亮标记。有关内容如下：

摘要：实验 3 通过延长线索和目标的间隔时间(stimulus onset asynchronies, SOA)，发现伴随着 IOR 效应减弱，线索化位置的跨通道对应效应也相应减弱，且 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱。(正文第 1 页第 1 段黄色标亮)

引言：根据多感觉反应增强中的反比效应原则(principle of inverse effectiveness)(Meredith & Stein, 1983 ;van der Stoep et al., 2016)，研究预期随着线索和目标之间的 SOA 增加，IOR 效应变小(Lupi áñez et al., 1997)，进而使得线索化位置的视听跨通道对应效应变小，且 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱。(正文第 5 页第 1 段黄色标亮)

实验小结：随着 SOA 延长至 1300 ms，一方面线索有效条件下的视听跨通道对应效应相比于 SOA 为 600 ms 时显著减弱，另一方面 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱，表现为线索有效性与跨通道对应一致性之间交互作用不显著(线索有效条件下的跨通道对应效应与线索无效条件没有显著差异)。当前结果符合反比效应原则(Meredith & Stein, 1983)，即当 SOA 为 1300 ms 时，IOR 效应减弱使得线索化位置视觉目标的感知觉显著性相比于 SOA 为 600 ms 时增强，更强的视觉信号输入引发了更弱的视听跨通道对应；同时，由于 IOR 效应减弱，线索化位置与非线索化位置视觉目标的感知觉显著性间的差异减少，使得 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱，导致线索化位置和非线索化位置的视听跨通道对应效应没有显著差异。(正文第 14 页第 3 段黄色标亮)

讨论：实验 3 的结果发现，随着 IOR 效应减弱，线索化位置的视听跨通道对应效应也相应减弱，同时，IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱，表现为线索有效性与跨通道对应一致性之间的交互作用不显著(线索有效条件下的跨通道对应效应与线索无效条件没有显著差异)，直接验证了反比效应原则对于视听跨通道对应的适用性。(正文第 17 页第 2 段黄色标亮)

结论：IOR 效应对于视听跨通道对应产生了调节作用，IOR 发生时线索化位置出现了稳定的视听跨通道对应效应，而非线索化位置没有出现。听觉刺激引发的警觉效应没有与 IOR 效应产生交互。随着 IOR 效应的减弱，线索化位置的视听跨通道对应效应也随之减弱，且 IOR 效应对于视听跨通道对应的调节作用减弱。当前研究结果支持了听觉音调与视觉空间位置之间的视听跨通道对应发生在知觉水平，且视听跨通道对应的发生符合反比效应原则。(正文第 18 页第 2 段黄色标亮)

参考文献：

- Lupi áñez, J., Mil án, E. G., Tornay, F. J., Madrid, E., & Tudela, P. (1997). Does IOR occur in discrimination tasks? Yes, it does, but later. *Perception & Psychophysics*, 59(8), 1241–1254.
- McCormick, K., Lacey, S., Stilla, R., Nygaard, L. C., & Sathian, K. (2018). Neural basis of the crossmodal correspondence between auditory pitch and visuospatial elevation. *Neuropsychologia*, 112, 19–30.
- Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1983). Interactions among converging sensory inputs in the superior colliculus. *Science*, 221, 389–391.
- Otto, T. U., Dassy, B., & Mamassian, P. (2013). Principles of multisensory behavior. *Journal of Neuroscience*, 33(17), 7463–7474.
- Rach, S., Diederich, A., & Colonius, H. (2011). On quantifying multisensory interaction effects in reaction time and detection rate. *Psychological Research*, 75(2), 77–94.
- Senkowski, D., Saint-Amour, D., Höfle, M., & Foxe, J. J. (2011). Multisensory interactions in early evoked brain

- activity follow the principle of inverse effectiveness. *Neuroimage*, 56(4), 2200–2208.
- Slagter, H. A., Prinssen, S., Reteig, L. C., & Mazaheri, A. (2016). Facilitation and inhibition in attention: Functional dissociation of pre-stimulus alpha activity, P1, and N1 components. *Neuroimage*, 125(6), 25–35.
- Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). The merging of the senses. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(3), 373–374.
- [唐晓雨, 孙佳影, 彭姓. (2020). 双通道分配性注意对视听觉返回抑制的影响. *心理学报*, 52(3), 257–268.]
- van de Rijt, L. P. H., Roye, A., Mylanus, E. A. M., van Opstal, A. J., & van Wanrooij, M. M. (2019). The Principle of Inverse Effectiveness in Audiovisual Speech Perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 335.
- van der Stoep, N., van der Stigchel, S., & Nijboer, T. C. W. (2015). Exogenous spatial attention decreases audiovisual integration. *Attention Perception & Psychophysics*, 77(1), 464–482.
- van der Stoep, N., van der Stigchel, S., Nijboer, T. C. W., & Spence, C. (2016). Visually induced inhibition of return affects the integration of auditory and visual information. *Perception*, 46(1), 6–17.

意见 3: 英文摘要还有不少地方可以提升, 建议修改。

回应: 感谢审稿专家的建议, 我们按照心理学报英文摘要的写作要求对于英文摘要的整体进行了修改。在 **Background** 部分, 我们对于理论背景进行了简练, 明确了研究假设。在 **Method** 部分, 我们调整了叙述结构, 使得 3 个实验的描述变得更加清晰。在 **Results** 部分, 我们去掉了有些不重要的统计结果, 将主要的统计结果更加清楚地表述出来。在 **Conclusion** 部分, 我们完善了对于结论和研究贡献的报告。

我们对于英文摘要的内容进行了完善, 书写进行了校对, 并送到了专业的英文润色机构 (AJE) 进行了校对与润色, 润色证书如下。



.....

审稿人 2 意见: 作者已经很好的解答了我所提出的问题, 建议发表!

编委复审意见：根据评审专家的意见，建议发表。

主编终审意见：该论文经两轮评审，审稿专家提出了详细的意见，作者也进行了详尽的修改，修改后的论文水平有较大的提升，整个审稿流程规范。我同意编委的意见，认为该论文已达到心理学报发表的水平，建议发表。