

## 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：睡眠对知觉与动作序列内隐学习离线巩固效应的影响

作者：孙鹏，李雪晴，张庆云，尚怀乾，凌晓丽

---

### 第一轮

#### 审稿人 1 意见：

作者采用改进的序列反应时任务，设定离线时间为 12 小时，通过 3 个实验系统考察了睡眠对知觉序列和动作序列内隐学习离线巩固效应的影响，结果发现动作序列和知觉序列学习离线巩固特点不同，受睡眠的影响也不相同。表明内隐序列知识基于睡眠的离线巩固会受到序列类型及序列复杂程度的调节。研究问题明确，实验逻辑较为缜密，对完善离线巩固内隐学习的理论框架具有重要的理论和实证依据。但论文还存在一些问题，主要是目前的写作在研究的理论和应用价值方面的论证分析尚且不够丰富和深入。以下建议供作者参考：

**意见 1：**正如作者所言，离线时间可能是影响离线巩固内隐学习的重要影响因素，该文为何选择 12 小时的离线时间？有何依据？应该进行清楚的阐述和说明。另外，动作序列学习和知觉序列学习的离线时间可能不同，有何依据，也可以适当阐述和分析。

**回应：**非常感谢您的建议！已根据您的问题与建议在引言和讨论部分进行了相应补充阐述（划下划线部分）。

**（1）本研究中选择 12 小时的离线时间：**主要是考虑到既往关于睡眠对离线巩固影响的研究大都采用 12 个小时的离线时间(Hallgató et al., 2013; Nemeth et al., 2010; Robertson et al., 2004; Sanchez-Mora & Tamayo, 2021; Spencer et al., 2006; Vakil et al., 2021)。这种设计的优点是可以保证晚上组被试有一个完整的睡眠，他们的正常睡眠作息不会受到干扰，而白天组被试可以保持同等长度时间的清醒状态(King et al., 2017; Sanchez-Mora & Tamayo, 2021)。因此，参考既往文献，本研究在实验的两个阶段之间进行了 12 小时的离线。该部分内容我们已在引言部分进行了补充。

**（2）关于动作序列和知觉序列学习的离线时间问题：**既往关于离线巩固时间进程的研究表明，学习阶段后存在一个关键期，这对于记忆痕迹保持稳定或提高是必需的，且因学习任务的不同，其关键时期的长度也不尽相同(Robertson et al., 2005; Walker et al., 2003)。例如，Press 等人(2005)采用标准的 SRT 任务探讨了内隐动作序列学习离线巩固的时间进程。结果

发现, 被试在学习 4 个小时后表现出离线巩固效应, 而且其巩固效应随离线间隔的增加表现出递增的趋势。后续研究采用类似的学习任务进一步发现, 在离线 12 小时, 甚至更长的时间后(24 小时, 一周或一年), 动作序列的离线巩固效应仍然存在(Meier & Cock, 2014; Nemeth & Janacek, 2011; Romano et al., 2010)。而在 Albouy 等人(2006)的研究中, 研究者采用序列眼动反应时任务(serial oculomotor reaction time task, SORT), 通过记录眼动反应时发现, 被试在学习后 30 分钟就表现出了离线巩固效应, 但在间隔 5 小时后该效应消失。在该研究中, 被试不需要做出手指按键反应, 因此只存在眼动/知觉序列学习(Vakil et al., 2021)。类似的, 采用时间辨别任务(temporal discrimination task)的研究也发现, 知觉学习早在间隔 5 分钟后就表现出离线巩固效应(Bratzke et al., 2014)。上述研究结果表明, 相对于动作序列, 知觉序列内隐知识的离线巩固可能是一个更快的过程。鉴于此, 在本研究中纯粹的知觉序列不存在离线巩固, 还可能是因为间隔时间太长, 学习效应得到离线巩固之后又发生了衰退有关。后续研究可以通过设计不同时间间隔后的睡眠与觉醒条件, 进一步探讨纯粹的知觉序列和动作序列基于睡眠的离线巩固效应具体发生的时间点, 以及它们离线巩固的动态轨迹。该部分内容我们已在文中总讨论部分进行了补充。

**意见 2:** 虽然该论文的问题明确, 但是论文所关注和解决的理论问题还应该进行更为深入地讨论和分析。在引言和讨论部分, 应进一步指出该研究可为内隐序列学习领域的研究提供怎样的理论和实证依据? 有何贡献? 内隐序列学习离线巩固有何特点?

**回应:** 非常感谢您的意见, 根据您的建议, 启发我们对文章的理论意义进行了进一步的思考和分析, 并在引言和讨论部分增加了相关内容, 非常感谢。**本研究对于内隐序列学习领域可能能够提供以下方面的理论和实证贡献, 具体来说:**

既往研究已经证实了内隐序列学习与外显序列学习一样, 也存在离线巩固效应, 但这种效应与睡眠之间的关系却没有获得一致性的结论(Genzel et al., 2012; Gregory et al., 2014; Kempler & Richmond, 2012; Nettersheim et al., 2015; Schonauer et al., 2015; Tucker et al., 2016; Wilson et al., 2012)。而外显序列学习的研究发现, 知觉信息表征的巩固与睡眠有关, 而动作信息表征的巩固与睡眠或觉醒无关, 两类序列知识的离线巩固过程是分离的(Albouy et al., 2013; Witt et al., 2010)。为此, 睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响, 是否与外显序列学习相似, 也会受到序列类型的调节, 是非常值得探究的一个问题。对该问题的探讨一方面有助于厘清睡眠对内隐序列知识离线巩固效应的影响这一浅层问题, 另一方面能够从离线巩固角度更深层次的揭示内隐序列学习与外显序列学习的异同, 以及知觉序列与动作序列在内隐学

习过程中可能存在的不同机制。纵观既往探讨内隐学习离线巩固效应的研究,大多采用了经典的序列反应时任务。在该任务中,刺激呈现的顺序(知觉序列)与手指按键顺序(动作序列)是混合在一起的,因此无法确定被试内隐习得的究竟是刺激呈现的顺序还是手指按键的顺序,也就无法确切厘清睡眠对内隐学习离线巩固效应的影响作用。尽管目前有少量研究者尝试在分离知觉序列和动作序列的前提下,考察睡眠对两种序列内隐学习离线巩固的影响,然而,所采用的实验范式并未能对上述两种序列进行完全地分离,且得到的结果也不尽一致。鉴于此,本研究采用 Rose 等人(2011)改进的序列反应时任务,在完全分离动作和知觉序列的情况下,引入序列复杂性这一变量,发现睡眠对内隐序列学习的离线巩固效应的影响受到序列类型与序列复杂程度的调节,两种序列表现出了不同的离线巩固模式。结合外显序列学习离线巩固领域的既往研究,该发现为知觉和动作序列学习的离线巩固是独立的过程提供了进一步的实证依据,也在一定程度上揭示出知觉序列和动作序列在内隐学习与外显学习过程中所依赖的加工机制存在差异,未来可结合脑机制开展进一步的探索。

**此外,关于内隐序列学习离线巩固特点,**目前研究已经证实无论是内隐还是外显序列学习中都存在离线巩固效应,但两者的离线巩固效应受到睡眠、离线时间的调节不尽相同(Albouy et al., 2006; Brawn et al., 2010; Nemeth & Janacsek, 2011; Nettersheim et al., 2015; Robertson et al., 2004; Romano et al., 2010; Song et al., 2007; Urbain et al., 2013)。既往外显序列学习离线巩固的研究表明,相对于动作信息,知觉信息更容易在经过睡眠之后转化为更强更稳定的记忆痕迹,表现出基于睡眠的优势效应。而睡眠对内隐序列学习巩固的影响至今没有一致性的结论,一些研究发现内隐序列的习得存在基于睡眠的离线巩固效应,具体表现为在睡眠状态下存在更大的离线巩固效应(Ertelt et al., 2012; Spencer et al., 2006, 2007);另一些研究则发现睡眠和清醒状态下,内隐学习存在类似的离线巩固效应(Borragán et al., 2015; Nemeth et al., 2010)。然而既往研究,大多采用了经典的序列反应时任务(serial reaction time, SRT)(Nissen & Bullemer, 1987),该任务无法区分知觉序列与动作序列。本研究在完全分离知觉和动作序列的基础上,引入序列复杂性,结果发现内隐序列学习离线巩固是否存在基于睡眠的影响受到序列类型和序列复杂程度的影响,这为探讨睡眠对内隐序列学习巩固的影响提供了实证依据。再者,既往研究表明,内隐序列学习离线巩固效应还受到离线时间的影响。与外显序列学习中随时间推移,离线巩固效应减弱的表现不同(Brawn et al., 2010; Hotermans et al., 2006; Nettersheim et al., 2015),在内隐序列学习中,动作序列在最初获得后,其巩固效应随离线间隔的增加表现出递增的趋势(Press et al., 2005),并且可以保持相当长的时间(一周甚至一年, Meier & Cock, 2014; Nemeth & Janacsek, 2011; Romano et al., 2010)。而知觉序列的

离线巩固效应，则一般出现在学习后较短的时间间隔内，并随着间隔时间的变化产生波动 (Albouy et al., 2006; Bratzke et al., 2014)。

**意见 3:** 作者在引言第二段论述：“2004 年，Robertson 等人提出内隐学习的离线巩固是否受睡眠和清醒状态影响的问题，但是睡眠对内隐学习离线巩固的影响至今没有一致性的结论。一些研究发现内隐序列的习得存在基于睡眠的离线巩固效应，具体表现为在清醒状态下没有离线巩固，而在睡眠状态下存在离线巩固效应(Ertelt et al., 2012; Spencer et al., 2007); 另一些研究则发现睡眠和清醒状态下，内隐学习存在类似的离线巩固效应(Borragan et al., 2015; Nemeth et al., 2010)。”指出：“可能也正是由于没有完全分离知觉序列和动作序列，造成睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响至今没有一致性的结论(Nemeth et al., 2009; Remillard, 2003, 2009; Song et al., 2008; Willingham, 1999)。”这需要进行具体的阐述和分析，才能使得理论依据比较可靠，目前的论证分析有些模糊和笼统。

**回应:** 非常感谢您的审稿意见！已在引言部分补充相关内容，具体如下：

“既往外显序列学习的研究发现，知觉信息表征的巩固与睡眠有关，而动作信息表征的巩固与睡眠或觉醒无关，两类序列知识的离线巩固过程是分离的(Albouy et al., 2015; Albouy et al., 2013; Witt et al., 2010)。脑成像的研究进一步为这一观点提供了神经机制层面的证据，发现知觉信息表征和动作信息表征分别依赖于海马皮层网络(hippocampo-cortical networks)和纹状体皮层网络(striato-cortical networks)，而海马的活动与基于睡眠的离线巩固有关(Albouy et al., 2015)。为此，睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响，是否与外显序列学习相似，也会受到序列类型的调节，是非常值得探究的一个问题。对该问题的探讨一方面有助于厘清睡眠对内隐序列知识离线巩固效应的影响，另一方面能够从离线巩固角度更深层次的揭示内隐序列学习与外显序列学习的异同，以及知觉序列与动作序列在内隐学习过程中可能存在的不同机制。”

**意见 4:** 实验程序部分，作者提到：“目标色块的颜色遵循某一固定序列(如：黄，黑，绿，红，玫红，蓝)，但周围色块的颜色是随机分配的，因此，对应的手指按键序列也是随机的；对于动作组，手指按键顺序遵循某一序列(如：k, j, d, s, l, f)，但目标色块的颜色是随机的(见图 1A)”。建议最好能将文中和图中所举的例子顺序对应起来，便于读者更好地理解该方法。

**回应:** 非常感谢您的审稿意见，我们已进行了相应的修改，使其所举例子的顺序与正文中的

相对应。

**意见 5:** 建议增加结论部分。

**回应:** 非常感谢您的审稿意见，我们已按照您的建议增加了结论部分。

参考文献（仅包括正文参考文献中未列入的参考文献）

Gregory, M. D., Agam, Y., Selvadurai, C., Nagy, A., Vangel, M., Tucker, M., . . . Manoach, D. S. (2014). Resting state connectivity immediately following learning correlates with subsequent sleep-dependent enhancement of motor task performance. *Neuroimage*, *102*(2), 666–673.

Hotermans, C., Peigneux, P., Maertens de Noordhout, A., Moonen, G., & Maquet, P. (2006). Early boost and slow consolidation in motor skill learning. *Learning & Memory*, *13*(5), 580–583.

Remillard, G. (2009). Pure perceptual-based sequence learning: a role for visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory & Cognition*, *35*(2), 528–541.

Schonauer, M., Gratsch, M., & Gais, S. (2015). Evidence for two distinct sleep-related long-term memory consolidation processes. *Cortex*, *63*, 68–78.

Tucker, M. A., Nguyen, N., & Stickgold, R. (2016). Experience Playing a Musical Instrument and Overnight Sleep Enhance Performance on a Sequential Typing Task. *PLoS One*, *11*(7), e0159608.

Willingham, D. B. (1999). Implicit motor sequence learning is not purely perceptual. *Memory & Cognition*, *27*(3), 561–572.

Wilson, J. K., Baran, B., Pace-Schott, E. F., Ivry, R. B., & Spencer, R. M. (2012). Sleep modulates word-pair learning but not motor sequence learning in healthy older adults. *Neurobiology of Aging*, *33*(5), 991–1000.

.....

**审稿人 2 意见:**

作者通过三个系列实验，将序列反应时任务中的知觉序列内隐学习和动作序列内隐学习进行区分，并考察了这两种序列内隐学习的离线巩固和睡眠的关系，以及序列规则复杂性在其中的调节作用。研究回应了睡眠对学习记忆巩固影响这一热点领域中的较重要议题，研究设计思路清晰，逻辑严密，结果可靠，得到了有价值的结论。还存在以下几方面建议完善：

**意见 1:** 内隐学习是否发生离线巩固？对动作序列和知觉序列的内隐学习分别是否能发生离

线巩固？睡眠对上述两种序列的离线巩固是否产生影响？上述这三个问题都与当前研究目标有关，需要在引言部分更有层次地进行回顾，这应有助于研究假设的提出。

回应：非常感谢您的审稿意见！启发我们对三个问题层层递进地进行回顾，逻辑的确更加清晰。结合已有文献，我们已根据您的意见在引言部分进行了调整。具体如下：

“……目前，已有大量研究通过不同的实验范式验证了外显学习中离线巩固效应的存在(Brawn et al., 2010; Kempler & Richmond, 2012; Nettersheim et al., 2015; Sanchez-Mora & Tamayo, 2021; Song et al., 2007; Walker et al., 2003)。……然而，近几十年来许多研究发现学习并非一定是有意识的，也可以是在无意识条件下进行的内隐学习，它是有机体通过与环境接触，自动的、不易察觉的获得知识、规则的过程，在日常生活中，对适应环境和预知事件起着至关重要的作用(Reber, 1967; 郭秀艳, 2003; 郭秀艳 等, 2011; 郭秀艳, 杨治良, 2002)。内隐习得知识是否存在离线巩固效应以及该效应是否依靠睡眠一直是该领域的焦点研究问题(Cajochen et al., 2004; Kemeny & Lukacs, 2016; Nemeth et al., 2010; Robertson et al., 2004; Romano et al., 2010; Sanchez-Mora & Tamayo, 2021; Song et al., 2007; Spencer et al., 2007; Urbain et al., 2013)。目前，既往研究已经证实了内隐习得知识也存在离线巩固效应，但睡眠对内隐学习离线巩固的影响至今没有一致性的结论(Backhaus et al., 2016; Borragnón et al., 2015; Ertelt et al., 2012; Hallgató et al., 2013; Meier & Cock, 2014; Nemeth et al., 2010; Robertson et al., 2004; Sanchez-Mora & Tamayo, 2021; Song et al., 2007; Spencer et al., 2006, 2007; Vakil et al., 2021)。……纵观既往探讨内隐学习离线巩固效应的研究，大多采用了经典的序列反应时任务(serial reaction time, SRT)(Nissen & Bullemer, 1987)，该任务存在的一个问题在于刺激呈现的顺序和手指按键顺序是一一对应的，两者混合在一起，因此无法确定被试内隐习得的究竟是刺激呈现的顺序(知觉学习)还是手指按键的顺序(动作学习)，也就无法确切厘清睡眠对内隐学习离线巩固效应的影响作用。既往外显序列学习的研究发现，知觉信息表征的巩固与睡眠有关，而动作信息表征的巩固与睡眠或觉醒无关，两类序列知识的离线巩固过程是分离的(Albouy et al., 2015; Albouy et al., 2013; Witt et al., 2010)。脑成像的研究进一步为这一观点提供了神经机制层面的证据，发现知觉信息表征和动作信息表征分别依赖于海马皮层网络(hippocampo-cortical networks)和纹状体皮层网络(striato-cortical networks)，而海马的活动与基于睡眠的离线巩固有关(Albouy et al., 2015)。为此，睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响，是否与外显序列学习相似，也会受到序列类型的调节，是非常值得探究的一个问题。对该问题的探讨一方面有助于厘清睡眠对内隐序列知识离线巩固效应的影响这一浅层问题，另一方面能够从离线巩固角度更深层次的揭示内隐序列学习与外显序

列学习的异同，以及知觉序列与动作序列在内隐学习过程中可能存在的不同机制。”

在回顾已有文献，梳理离线巩固的研究脉络时，我们发现，对离线巩固效应的研究首先起源于外显学习领域，此后延伸到内隐学习领域。当研究者开始考察内隐学习的离线巩固效应时，基于内隐学习的无意识性，往往就同时设置了白天组和睡眠组，试图探索睡眠对内隐学习离线巩固的特殊意义。随着研究的开展，当睡眠对内隐学习离线巩固的影响结论不一时，研究者逐渐开始关注所采用的经典的序列反应时任务中存在的动作序列和知觉序列的混淆，并继续开展深入探索。为此，我们在序列类型与睡眠变量引入时，先引入了睡眠变量，再引入序列类型。

**意见 2:** 在三个实验的介绍和结果呈现部分，作者交替使用了“白天组” / “晚上组”和“无睡眠组” / “睡眠组”，建议全文在文字表述上予以统一。

**回应:** 感谢您的建议。已检查全文，将“无睡眠组” / “睡眠组”全部统一换成“白天组” / “晚上组”。

**意见 3:** 当前研究没有发现知觉序列内隐学习的离线巩固效应，即实验中第一阶段的知觉学习效果相对较弱，而到第二阶段这种学习效果倾向于消失。这一数据有没有可能反映实验中知觉序列内隐学习未得到足够充分的练习，因此难以保持？建议作者在讨论部分进一步补充此方面的讨论内容。

**回应:** 非常感谢您的审稿意见，这确实是一个很好的思路！

在本研究中，第一阶段的学习时长、练习的试次数主要参考了既往该领域的已有研究 (Gheysen et al., 2011; Nemeth et al., 2009; Rose et al., 2011; Viczko et al., 2018)。在本研究实验一与实验三中，知觉组的内隐学习效果分别为 11ms 与 16ms，与既往关于纯粹知觉序列的内隐学习研究发现的被试的学习效应(10~20ms)基本相一致(Gheysen et al., 2011; Ling et al., 2015; Rose et al., 2011)。诚如您所言，没有足够充分的练习可能会使得第一阶段的学习成绩较弱，难以保持。我们在设计实验时也考虑到了这一点。本研究中的序列反应时任务采用了 Rose 等人(2011)改进的序列反应时任务，且实验一的序列规则与 Rose 等人的序列规则完全相同。为了让被试有足够充分的练习，我们在 Rose 等人(2011)研究的基础上进一步增加了顺序试次的学习串数，并相应减少了随机试次的串数，以降低随机串的干扰，但成绩并未有提升。根据您的建议，我们也进一步挖掘了实验数据，结果发现三个实验的知觉组在第一阶段的学习效应均表现出随着学习时长逐渐提升的趋势。在未来的研究中，我们将进一步考虑

增加第一阶段的学习时长，依此来尝试提升学习效应。非常感谢审稿人为我们后续的研究提供了宝贵意见！相关内容我们已在总讨论部分进行了讨论、补充。

**意见 4:** 建议摘要部分的文字可做适当精简。

**回应:** 非常感谢您的审稿意见，我们已按照您的建议精简了摘要部分。

---

## 第二轮

**审稿人 1 意见:**

总的来说，作者较好地回答了先前所提问题，但对问题 2 和 3 的回答仍不够清晰。另外，摘要部分还需要完善。以下建议供作者参考：

**意见 1:** 问题 2 和 3 的回答存在如下共同问题：

(1) 作者在文中论述了本研究的理论意义“对于该问题的解决，不仅有助于厘清睡眠在内隐序列学习离线巩固中的确切作用，也为内隐序列学习中的动作与知觉之争，以及两种序列知识的离线巩固过程是否是独立的，提供进一步的实证依据。”前半部分使用了概括性表述，未指明具体贡献。诸如“有助于厘清”这类表述显得空泛；建议作者明确指出本研究究竟能厘清什么。

**回应:** 非常感谢您的建议！已在引言中对该部分内容进行了相应的修改，具体如下：

“综上所述，本研究将采用 Rose 等人(2011)改进的序列反应时任务，在完全分离知觉序列和动作序列的情况下，通过三个实验设置不同复杂程度的序列规则以及 12 小时的离线时间(白天组 vs. 晚上组)，考察睡眠对纯粹的知觉和动作序列内隐习得离线巩固的影响。对于该问题的解决，将有助于探明内隐习得知识的离线巩固是否存在基于睡眠的优势效应，以及知觉与动作序列内隐知识的离线巩固过程是否存在分离，并为内隐序列学习中的动作与知觉之争，提供进一步的实证依据。”

(2) 本研究的发现有何实际应用价值？建议作者做适当阐述。

**回应:** 非常感谢您的建议，已在讨论部分补充相关内容，具体如下：

“本研究结果可以为现实生活中复杂动作信息的内隐学习提供某些方法上的启示。比如学习乐器，掌握运动中的协调动作以及复杂的语音发音等，都可以考虑通过适当安排睡前练

习等方法来改善学习效果。”

(3) 有一处的逻辑性不强“①既往研究已经证实了内隐序列学习与外显序列学习一样，也存在离线巩固效应，但这种效应与睡眠之间的关系却没有获得一致性的结论(Genzel et al.,2012; Gregory et al., 2014; Kempler & Richmond, 2012; Nettersheim et al., 2015; Schonauer et al., 2015; Tucker et al., 2016; Wilson et al., 2012)。②而外显序列学习的研究发现，知觉信息表征的巩固与睡眠有关，而动作信息表征的巩固与睡眠或觉醒无关，两类序列知识的离线巩固过程是分离的(Albouy et al., 2013; Witt et al., 2010)。③为此，睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响，是否与外显序列学习相似，也会受到序列类型的调节，是非常值得探究的一个问题。”。句①②不是句③的因，“为此”的表达有误。如下建议可能会增强该部分的逻辑：外显序列学习领域的研究已揭示出知觉序列与动作序列之间的差异(e.g., 补充)，且知觉信息表征与动作信息表征在神经学上存在差异(e.g., 补充)，这些研究在一定程度上为序列类型可能调节睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响提供了支持。另外，引言的最后一段(见 P13)已经论述了研究意义，为了使句①②③所属段落的逻辑性更强，建议去掉句③后面的研究意义(“对该问题的探讨一方面有助于厘清睡眠对内隐序列知识离线巩固效应的影响，另一方面能够从离线巩固角度更深层次的揭示内隐序列学习与外显序列学习的异同，以及知觉序列与动作序列在内隐学习过程中可能存在的不同机制。”，见 P11)。

**回应：**非常感谢您的意见，根据您的建议，我们对句①②③的逻辑重新进行了梳理，进行了如下修改，并删除了句③后面的研究意义，非常感谢！

“既往研究已经证实了内隐习得知识也存在离线巩固效应，但睡眠对内隐学习离线巩固的影响至今没有一致性的结论。…… 既往外显序列学习领域的研究已揭示出知觉信息与动作信息在离线巩固上存在差异，表现为知觉信息表征的巩固与睡眠有关，而动作信息表征的巩固与睡眠或觉醒无关 (Albouy et al., 2015; Albouy et al., 2013; Witt et al., 2010)。且脑成像的研究也进一步发现两种信息表征在神经层面存在不同：知觉信息表征和动作信息表征分别依赖于海马皮层网络(hippocampo-cortical networks)和纹状体皮层网络(striato-cortical networks)；研究还发现海马的活动与基于睡眠的离线巩固有关，而纹状体在离线巩固过程中的作用并未受到睡眠与否的调节(Albouy et al., 2015; Peigneux et al., 2004)。这些研究在一定程度上为序列类型可能调节睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响提供了支持。”

(4) 有一处内容需要补充。作者论述“脑成像的研究进一步为这一观点提供了神经机制

层面的证据，发现知觉信息表征和动作信息表征分别依赖于海马皮层网络(hippocampo-cortical networks)和纹状体皮层网络(striato-cortical networks)，而海马的活动与基于睡眠的离线巩固有关(Albouy et al., 2015)。”需要说明纹状体皮层是否与基于睡眠的离线巩固有关。

回应：非常感谢您的意见！海马的活动与基于睡眠的离线巩固有关，而纹状体在离线巩固过程中的作用并未受到睡眠与否的调节(Albouy et al., 2015; Peigneux et al., 2004)。我们在文中补充了相关内容。

意见 2：作者虽然已经较好地回答了我提出的关于 12 小时离线时间依据的问题(见问题 1)，但未在文中引用这些参考文献。建议作者引用文献以增加实验的严谨性。

回应：非常感谢您的建议！已在文中引用这些参考文献。具体如下：

“在探究内隐学习离线巩固的研究中，研究者通常设置白天组和晚上组两种条件，并要求被试在第一阶段的学习任务结束之后，间隔白天或晚上的 12 个小时，完成第二阶段的任  
务 (Hallgató et al., 2013; Nemeth et al., 2010; Robertson et al., 2004; Sanchez-Mora & Tamayo, 2021; Spencer et al., 2007; Vakil et al., 2021)。”

意见 3：摘要部分的写作存在两个问题：第一，作者论述“①既往研究发现睡眠对外显学习的离线巩固具有促进作用，但对内隐学习离线巩固的影响尚缺乏一致性的结论。②此外，既往关于内隐学习离线巩固的研究主要采用经典的序列学习范式，未对知觉和动作序列进行区分。③鉴于此，本研究采用改进的序列反应时任务，在完全分离知觉和动作序列的情况下，通过三个实验，系统考察了睡眠对知觉和动作序列内隐学习离线巩固效应的影响。”。这三句话逻辑性不强，句①②也无法揭示以往研究现状。此外，这三句话易让读者认为本研究首次探究序列类型对睡眠影响内隐序列学习离线巩固的调节作用。引言部分作者提到，有研究(Hallgató et al., 2013; Pace-Schott & Spencer, 2013)探究了睡眠对知觉和动作序列内隐学习离线巩固的影响。可见，作者并非首次探究序列类型的调节作用。因此，需要再组织句①②，使本研究对内隐序列学习领域的贡献更清晰。下述建议也许可以增强引言部分的逻辑：“有研究初步探究了睡眠对知觉和动作序列内隐学习离线巩固的影响，发现睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响受序列类型调节。然而，这些研究未能实现知觉与动作序列的分离，仍需进一步检测序列类型是否调节睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响。本研究设计了三个实验检

测这一问题”(类似的表述)。第二,摘要的问题提出和研究目的均未交待序列规则复杂程度,在结果部分突然出现这个变量,有些突兀。建议在方法部分交待一下这个变量的操纵及缘由。

**回应:** 非常感谢您的意见!根据您的建议,我们对摘要逻辑进行了梳理,并在摘要部分补充了复杂程度的相关内容,进行了如下修改:

“离线阶段发生的学习被称为离线巩固,即在最初获得知识之后,即使没有额外的练习,其记忆痕迹也会保持稳定或提高。有研究初步探究了睡眠对知觉和动作序列内隐学习离线巩固的影响,然而,这些研究未能实现知觉序列与动作序列的完全分离,序列类型是否调节睡眠对内隐序列学习离线巩固的影响仍需进一步探讨。此外,既往外显学习的研究发现相对于简单的序列,复杂的序列更容易从睡眠中获益,表现出基于睡眠的离线巩固效应。睡眠对知觉序列与动作序列内隐学习离线巩固的影响是否会受到序列复杂程度的调节尚不明确。为此,本研究在完全分离知觉序列和动作序列的情况下,通过三个实验操纵序列的长度及结构,设置三种不同复杂程度的序列规则,考察了这一问题。结果发现, ..... ”

.....

**审稿人 2 意见:** 作者比较好地回答了审稿人提出的问题,并对论文进行了相应完善。还需要再对文章进行下校对,比如:实验三的标题序号丢失。

**回应:** 非常感谢您的建议!已对文章进行校对并修改。

**编委专家意见:** 本论文在分离知觉序列和动作序列的情况下,通过三个实验系统考察了睡眠对知觉与动作序列内隐学习离线巩固效应的影响,该论文研究思路清晰,数据处理过程规范,得到的研究结论可信且具有较为重要的理论意义。

**主编意见:** 该论文的审稿意见较为一致,一审均认为研究有意义。作者根据一审意见进行了修改,补充了实验逻辑出发点等重要信息。二审过程中,审稿人又提出一些新的意见,作者也均进行了较好的答复。整个审稿流程规范,论文修改态度认真,研究主题有理论和应用价值。同意发表。