

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：高原运动对认知功能的影响

作者：苏瑞、王成志、李昊、马海林、苏彦捷

第一轮

编委 1 和编委 3：同意送审

编委 2 初审意见：稿件还存在以下问题：

意见 1: 学术逻辑性不够，比如反应时间是指什么认知？反应时只是研究认知的方法学指标，如何体现具体的认知？

回应: 感谢您的意见。本文 2.1 部分所讨论的“反应时间”是指一种心理运动能力(psychomotor abilities), 即简单的动作反应能力(motor function)和简单视觉反应时间(simple visual reaction time), 并没有涉及到对具体认知任务的考察。文中所列举的任务范式主要包含了上述两种能力。首先, 手指敲击任务(finger tapping test; FTT)是通过动作速度来衡量动作反应能力(Regard et al., 1989); 其次, 简单视觉反应任务是通过考察一个视觉刺激出现到动作反应前的时间, 衡量简单视觉反应时间(Ando et al., 2010; de Aquino-Lemos et al., 2016), 这是一种动作前时间(premotor time)。

基于您的问题, 我们将文中的 2.1 小标题修改为了“心理运动能力”, 并进一步明确了相关表述(详见 2.1 红字部分): 心理运动能力(psychomotor abilities)是一种运动和心理过程的整合能力, 涵盖感知、动作反应时间、运动控制和协调等方面(Welford, 1984), 其主要通过动作反应的速度和准确性来衡量(Virues-Ortega et al., 2004)。以此来与衡量认知功能的反应时指标进行区分。此外, 为了进一步增加本文的学术逻辑性, 我们结合了审稿专家 2 的意见, 对文章的第二部分和第三部分内容进行了部分调整(详见 2.1, 2.2, 2.3 和 3.2 标红部分)。调整后, 文章的第二部分重点评述了以往研究结果, 对矛盾性结果进行了可能的解释。文章第三部分是在第二部分的基础上, 通过进一步分析以往不同研究的实验条件和实验结果, 归纳出了四种潜在的调节因素。

意见 2:运动一方面导致认知功能降低（运动会马上进行认知活动？很可能对认知带来负面效应），一方面又促进认知。作者罗列了一些决定两者关系的调节变量，和相关的生物学指标，但作者需要进行系统性的思考，并构建相应的理论框架或者模型。

回应:感谢您的建议。运动对认知的影响确实是十分复杂的过程，尤其是当引入低氧条件这个变量后。如您提到的，高原运动对认知可能存在积极或者消极的作用，这正是本文的一个出发点。本文通过对以往文献梳理，尝试总结在何种条件下，高原运动能够对认知表现带来有益的影响。但由于这方面的研究结果有限，无法具体分析您提到的认知任务测量时间窗口（运动后多长时间进行认知测试）的调节作用。但我们尽可能的归纳出了四个主要的调节因素：暴露类型、缺氧程度，运动强度和任务类型。参考您的意见，我们再次对高原运动与认知功能的关系，及其潜在调节因素和可能生理解释进行了系统性的思考和整合，并绘制了高原运动影响认知功能理论解释框架（见图 1）。

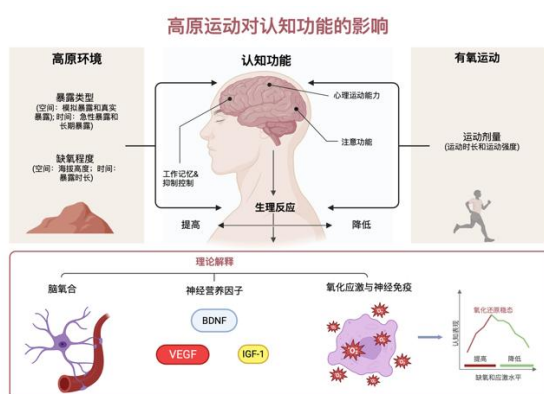


图 1 高原运动影响认知功能的理论解释框架

.....

审稿人 1 意见:

该研究综述了高原运动对认知功能的影响，从认知功能的不同方面、影响的调节因素及现有的理论解释三方面对此问题展开论述，最后对此领域未来的研究方向给出了前瞻性建议。

该文内容详实、条理清晰。虽然高原运动如何（或者是否）影响认知功能是一个非常复杂的问题，但是该文为想要迅速了解此方面研究的读者提供了一个很好开始。

一些小的问题罗列如下:

意见 1: 该文存在较多标点符号误用，尤其是句号和逗号的混淆。

回应：感谢审稿专家的指正。根据您的意见，我们对全文句号和逗号的混用问题进行了检查和修改，并对修改过的标点符号进行了红色标记处理，敬请审阅。

意见 2：该文存在少量文字错误。如，2.4 部分，Flank 任务应为 Flanker 任务；3.3.1 部分，‘两个纬度’似应为两个维度？‘年暴露类型’中年应去掉？3.3 部分，‘Moreau 和 Chou 的(2019) 年的元分析...’应为 Moreau 和 Chou (2019) 的元分析...，‘收益’还是‘受益’？‘也有研究考对比了...’中的考字多余？

回应：非常感谢您在审稿中的细心指正，您的意见对我们研究的表述规范性具有重要的指导意义。根据您的意见，我们在文稿中进行了逐一修改，具体修改内容见文中（2.4，3.1 和 3.3）红色字体部分。此外，我们也进一步核查了全文的表述。

意见 3：不常见英文缩写首次出现时请标注完整写法。

回应：感谢您的意见。根据您的建议，我们已对全文英文缩写进行了检查和规范修改。例如，将下列文中首次出现的缩写均已标注全称：attention network test, ANT; neurovascular coupling, NVC; brain-derived neurotrophic factor, BDNF; hypoxia inducible factor-1-alpha, HIF-1-alpha; monocarboxylate transporter, MCTs; vascular endothelial growth factor, VEGF; insulin-like growth factor 1, IGF-1; reactive oxygen species, ROS; enzyme linked immunosorbent assay, ELISA; chronic mount sickness, CMS。我们对文章中仅出现了一次的专有名词只保留了全称，删除了缩写，并对补充的英文全称在文中进行了标红处理。

意见 4：3.2 部分的缺氧程度计算方法有参加文献吗？

回应：感谢您的指正。结合您的建议，我们补充了急性暴露条件下，缺氧程度计算方式的参考文献（Jung et al., 2020）。在长期暴露条件下缺氧程度的计算方式参考了 Zubieta-Calleja 等人（2007）提出的高原适应指数。他们认为高原适应水平=暴露时长（day）/海拔高度（km），适应程度越好，机体所感受到缺氧的程度越低。因此，长期暴露下的缺氧程度（适应指数的倒数）= 海拔高度（km）/暴露时长（day）。

参考文献:

Jung, M., Zou, L., Yu, J. J., Ryu, S., & Loprinzi, P. D. (2020). Does exercise have a protective effect on cognitive function under hypoxia? a systematic review with meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 9(6), 562-577. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.004>

意见 5: 第 5 部分的第四点似乎没有写完。

回应: 感谢您的指正。基于您的意见,我们对本文讨论部分的逻辑顺序进行了调整,删除了第四点内容。调整后,前三点展望从研究设计层面强调了未来的研究方向;最后一点从高原运动研究的生态效度层面展望了临床方面的应用。

.....

审稿人 2 意见:

本文分三个部分逐步推进地梳理、分析了高原运动对认知功能的影响及其理论解释,并在此基础上展望了这一主题的未来研究方向。本综述的发表有助于推进高原运动的作用及其机制研究,从而为制定高原运动方案提供更多的科学依据。但综述正文还存在以下小问题,建议修改后发表:

意见 1:正文对相关内容进行了很好的文献梳理和分析,如关于高原运动和反应时间、工作记忆等;但部分项目仅梳理了文献没有进行现状分析,如关于高原运动和注意功能的关系,文献的结果并不一致,建议增加对结果不一致的可能原因的阐述。

回应:感谢审稿专家提出的专业意见和建议。根据您的建议,我们对以往关于高原运动影响注意功能的研究结果不一致的原因进行了补充。补充内容见 2.2 红色字体标记部分:上述研究结果存在冲突,其原因可能是所选实验环境不同。以往研究发现,模拟低氧环境相比真实高原环境所带来的生理反应并不一致 (Millet et al., 2012),因此,运动在不同环境下所带来的影响效果也存在差异。此外,上述研究提示我们低氧运动能够改善注意功能,尤其是对执行控制子网络的改善作用更大 (Jung et al., 2020; Su et al., 2022),这可能是由于低氧运动对不同认知能力的影响存在选择性和优先性。潜在的原因有两点:首先,以往研究发现高原暴露对视觉皮层的改变更为明显 (Zhang & Zhang, 2022),主要表现为视觉皮层相关脑区皮层厚度和灰质体积的增加 (Zhang et al., 2023),这表明低氧暴露会优先改变注意功能。其次,

有氧运动对不同认知能力的影响也存在差异。元分析的证据表明相比其它认知功能，有氧运动对执行功能相关任务的改善作用更显著（Lambourne & Tomporowski, 2010）。因此，高原运动可能会优先改善注意功能，尤其是执行控制子网络。

新增参考文献：

Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance:

A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>

Zhang, X., Xie, W., Du, W., Liu, Y., Lin, J., Yin, W., ... & Zhang, J. (2023). Consistent differences in brain

structure and functional connectivity in high-altitude native Tibetans and immigrants. *Brain Imaging and*

Behavior, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11682-023-00759-5>

意见 2：正文“3 高原运动影响认知功能的调节变量”中部分内容与“2 高原运动与认知功能”存在重叠，如 2.1 中“首先，运动时长在运动对认知功能影响中起重要的调节作用，……其次，高原环境下运动强度至关重要……”，一方面，这意味着“运动时长可能也是一个调节变量；另一方面，3.3 明确把“运动强度”列为一个调节变量。同样的问题也存在于 2、3 部分和 4 之间（如关于血红蛋白的内容）。建议作者再斟酌下这两部分内容的呈现逻辑，更为合理地组织好各部分内容。

回应：感谢您的意见和建议。文章在解释高原运动对认知影响的原因时确实和下文中的调节因素存在混淆。

基于您的问题，我们重新整理了 2.1-2.4 部分内容的表述。例如，在 2.1 中，我们避免提及了调节变量的作用，仅通过分析不同研究条件间的差异，对矛盾结果做出可能的解释（具体修改内容见 2.1 红色标记部分）：**运动的剂量的差异可能是导致这一矛盾结果的原因。一项综述研究表明，45-60 分钟的有氧运动能够对认知带来更有益的效果(Northey et al., 2018)，因此，6.5 分钟的低、中强度运动可能不足以对认知功能产生影响。但也有研究发现，低氧暴露会导致机体疲劳感增加(Bolmont et al., 2000)，过高强度的运动则会加重这一影响(Nybo & Rasmussen, 2007)，进而延长动作的反应时间。在 2.3 中，我们将缺氧程度和血红蛋白浓度的相关表述和 3.2 缺氧程度的表述进行了整合（详见 3.2 红色字体部分）：其中，红细胞数量和血红蛋白浓度适度增加是“高原习服”的关键。血红蛋白浓度代偿性增加以维持氧气供给 (Luks & Hackett, 2022)。有研究表明，血红蛋白的增加能够带来认知功能的改善 (Xue et al., 2022)，但 Walsh 等人 (2020) 却发现高原运动所引起的血红蛋白浓度增加导致了认**

知表现的下降。这是因为高原环境中达到最佳氧气传递效率的血红蛋白浓度为 147 g/L (Villafuerte et al., 2004)。血红蛋白浓度过高则容易导致血液粘稠, 反而降低氧气传递效率, 损害认知表现。因此, 高原运动对认知的影响需要考虑缺氧程度的调节作用。并对 2.3 高原运动对工作记忆影响的内容进行了进一步的补充(详见 2.3 红色标记部分): 上述结果表明低氧运动不仅未能提高工作记忆能力, 反而可能导致该能力下降。这可能是因为低氧暴露导致认知资源减少 (Yu et al., 2023), 而工作记忆作为一种高级的认知能力, 维持其表现需要消耗相对较多的认知资源 (Swell, 2016)。我们之前的研究结果发现, 高原运动会改善机体自下而上的加工过程, 但并不能增加认知资源, 提高自上而下任务的表现 (Su et al., 2022)。因此, 高原环境下, 运动干预可能不能满足改善工作记忆表现所需要的额外认知资源。

新增参考文献:

Sweller, J. (2016). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 360-367. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2015.12.002>

Yu, S., Wang, N., Hu, Q., Dang, P., Chang, S., Huang, X., Su, R., Li, H., Zhou, J., Ma, H., Liu, M., & Zhang, D. (2023). Neurodynamics of awareness detection in tibetan immigrants: Evidence from electroencephalography analysis. *Neuroscience*, 522, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2023.04.025>

意见 3:关于次级标题“3 高原运动影响认知功能的调节变量”, 从现在呈现的内容看, 文献并没有对作者界定为调节变量的“暴露类型”、“缺氧程度”等进行调节效应检验, 建议作者进一步核实文献, 如果文献确实没有把相关变量作为调节变量来处理, 建议作者修改次级标题的命名。

回应:感谢您的建议。我们非常认同审稿人的观点, 以往研究并没有对高原运动影响认知功能的调节变量的调节效应进行检验。本文中提出的四种因素“暴露类型”, “缺氧程度”, “运动强度”和“任务类型”是在以往研究变量和实验条件的基础上归纳总结得出的, 仍缺乏系统的实证研究去明确具体的调节效应的大小。因此, “调节变量”的表述可能过于绝对。结合审稿老师的意见, 我们将本文第三部分的标题修改为“高原运动影响认知功能的潜在调节因素”, 以此来明确上述因素在运动对认知表现中的影响作用。

第二轮

编委 1 复审意见：

意见 1: 将图 1 高原运动影响认知功能的理论解释框架提前至论文的最开始的地方，让读者有个总览，论文围绕框架展开可能更好。

回应：

感谢编委专家的意见和建议。根据您的建议，我们将本文的理论框架调整到了引言部分。我们在引言第二段中明确了本文将围绕图 1 的理论框架展开，修改内容在文中采用橙色标记。

意见 2: 论文的写作太拖拉，特别是前边 2 高原运动与认知功能这一部分，写作模式基本上就是先拉一个流水账，把已有的研究全部遍历一遍，然后再讲这些研究有冲突，冲突的原因是什么。一篇综述需要站位高，对已有研究进行必要的概括凝练，这样才能更好地帮助读者看清方向。可以考虑的方式：首先把每个问题下达成的共识简要概括，并适当举例。然后再把存在冲突的地方进行总结分析。

回应：感谢编委专家的宝贵意见和建议。很抱歉我们的写作模式影响了文章的可读性，尤其是文章的第二部分很难让读者第一时间抓住以往研究的主要结论，并明确高原运动对认知功能影响的明确方向。

虽然高原低氧对认知的影响早早受到了学者们的关注（McFarland, 1932），但由于该环境的特殊性，高原低氧运动对认知的影响（Ando et al., 2010）。尤其是真实高原环境下，运动对认知的影响的研究近些年才被关注。因此，目前关于高原运动对不同认知功能具体产生何种方向（积极 or 消极）的影响仍很难有定论，我们期望该综述能够让更多的学者关注到这一话题，来共同解决高原人民面临的问题。

结合审稿专家的意见，我们经过反复思考，尽可能精简了部分段落的表达，以此来增加文章的可读性。并重点修改了编委专家提到第二部分内容的表述，在段落表述中尽可能的采用了总分结构（首先把每个问题下达成的共识简要概括，并适当举例。然后再把存在冲突的地方进行总结分析），具体做了如下修改：

(1) 在 2.1-2.4 中，我们首先简要概括了低氧对不同认知能力的影响，并简单列举了已有证据。其次概括了目前关于低氧运动对认知影响达成的共识，列举了已有研究，并对已有研究中的冲突进行了进一步解释（具体修改的内容见第二部分橙色文字，概括凝练的内容在文中通过黄色高亮标记）。

(2) 在 3.1-3.4 中，我们也同样进行了调整，尽可能先给出一个概括性的表述，再补充细节证据，修改内容具体见 3.1-3.3 橙色标记部分。

参考文献：

McFarland, R. A. (1932). The psychological effects of oxygen deprivation (anoxemia) on human behavior. *Archives of Psychology*. 145 1-135.

Ando, S., Yamada, Y., & Kokubu, M. (2010). Reaction time to peripheral visual stimuli during exercise under hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 108(5), 1210-1216. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01115.2009>

第三轮

编委 1 意见：意见得到了较好的回应。我没有问题了。

编委 3 意见：同意发表。

主编意见：稿件经过多位专家的审议，作者进行了认真的修改，达到发表水平，同意发表。