

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：运动技能水平与躯体感觉输入对运动表象的影响

作者：张兰兰，沈诚，朱桦，李雪佩，戴雯，吴殷，张剑

第一轮

审稿人 1 意见：

意见 1：第一个研究假设只是对某种实验结果的预期，没有理论上的构建。研究的第二个假设是“在需要使用运动器械完成的运动中，运动专家持运动器械进行运动表象较不持器械更容易，并且持器械较不持器械时相关功能脑区的激活程度会下降。”它要回答的问题是“随着运动技能水平的提高，这种外部的躯体感觉输入会如何影响运动专家的表象呢？”而在讨论和结论中都没有能够充分回答这个问题。因此，前言部分应该重点分析研究背景与意义，提出存在的问题，以及解决这些问题所采用的理论逻辑等。

回应：我们完全同意审稿专家的意见。

(1) 关于第一个假设在【前言】部分修改为“另一方面，运动专家在完成专项动作有关的任务时具有与新手不同的行为学表现和神经生理学特征。如 Wu 等人(2013)发现运动员具有较强的视觉感知能力，表现为预判过程中更高准确率和视觉搜索过程中更为稳定的注视点，以及相关功能脑区更高的功能活性。Jin 等人(2011)发现专业羽毛球运动员优异的预判能力与较大的 P300 和 P2 振幅有关。然而在运动表象过程中运动技能水平的差异是否会导致行为学表现和神经生理学特征的差异还不清楚。本研究的第一个假设是与新手相比，运动专家具有执行效果更好的运动表象。我们将通过考察运动表象时间与实际执行时间一致性的外在行为表现和镜像神经系统激活程度的内在神经机制两个方面来验证此假设。”请见第 6 页第 31-38 行。

在【讨论-4.1 运动技能水平对运动表象的影响】部分，我们对使用对比方法(contrast)得到的新结果进行了相应讨论，具体请见 14 页第 16 行-第 15 页第 11 行。

(2)关于第二个研究假设，在【前言】部分将此假设相关内容重新表述为“另外，羽毛球运动员持球拍表象发球比持塑料棒时表现出更大的 MEP，而新手未表现出差异(Wang et al., 2014)，这提示随着外部的躯体感觉输入对大脑皮层兴奋性的影响与运动技能掌握水平有关，运动专家的运动表象受到躯体感觉输入的影响。然而，器械带来的躯体感觉输入影响运动专家表象的神经机制仍不清楚。有研究发现运动表象任务难度与大脑活动相关，表象难度越低，镜像神经系统的兴奋性越低(Bakker et al., 2008)。篮球运动员在持篮球条件下进行运动表象，更符合运动的生态效应。那么，与不持篮球相比，运动员的运动表象是否更容易？因此，本研究的第二个假设是在器械依赖的运动项目中，运动专家持器械进行运动表象较不持器械更容易，表现为镜像神经系统激活程度的下降。我们将通过运动表象问卷的主观评分和镜像神经系统激活程度变化的客观数据两方面以及它们之间的相关关系来验证此假设。”请见 7 页第 4-13 行。

在文中【讨论-4.2 躯体感觉输入对运动表象的影响】部分将假设二相关结果进行了讨论，具体请见 15 页 13-30 行。

在文中【结论】部分，我们也做了修改，重新表述为“研究发现器械带来的躯体感觉输入可以

显著提高运动员的表象质量，且长期的器械使用可以使镜像神经系统产生可塑性改变。研究启示提高运动技能和促进运动康复时要结合相应器械的使用。”请见 16 页第 11-13 行。

意见 2: 在进行 fMRI 扫描时，持球条件是如何进行的？

回应: 衷心感谢审稿专家的提问。

在【方法-实验任务】部分我们补充交代了持球条件的具体设置，即“持球条件的设置形式在满足实验室环境的同时兼顾运动项目的生物学特征，包括(1)由于被试投篮时主要是右手投篮，左手仅起辅助作用，因此持球条件均为右手持球，左手按键；(2)球放置于被试腹部。被试右手持球的姿势为五个指腹按球，手心中空。这与篮球运动员在球场控球时的姿势相同。不持球条件下，左手按键、右手自然放于体侧。两种持球条件下被试均须自主控制表象的进行，并通过按键标志表象的开始和结束。第一次按键后，被试开始表象；当表象进行到篮球出手时，被试再次按键，表示表象结束。本研究重点考察动觉表象的神经机制，所以表象内容不包括篮球飞行入框的视觉部分。”请见第 7 页 28-34 行。

意见 3: 讨论还需要进一步梳理。例如，4.1~4.3 都还是停留在不同结果的“差异”上；应该有一定的理论进行统合，而不是就是论事。整个讨论的理论逻辑不清晰；只是局限在各种结果的解释上。建议将结果放在一个理论框架下深入讨论，并提出这些研究结果对现有理论的贡献和突破。

回应: 衷心感谢审稿专家的意见。

本研究主要关注两个问题：一是不同技能水平人群之间运动表象的差异，二是随着运动技能水平的提高，躯体感觉输入对运动表象的影响。我们根据评委 2 的意见调整了统计方法，并对讨论进行了相应修改，并在讨论中新增了运动表象的神经生理机制部分。本研究重点关注随着运动技能水平的提高，躯体感觉输入对运动表象的影响，并发现器械使用带来的大脑可塑性的改变与不同脑区的功能相关。详细改动请见讨论部分。

审稿人 2 意见: 该论文采用功能性磁共振技术探讨了篮球运动员与新手在持球和不持球条件下，进行篮球投篮表象任务的脑功能活动的差异。整体上看，是一篇不错的论文，但存在许多问题，需要作者进一步完善。

意见 1: 整个文章行文不流畅，尤其是摘要部分，写的非常不通顺。希望作者认真修改。

回应: 我们衷心感谢审稿专家为我们指出这一点。我们已经对全文，特别是中英文摘要进行了修正。因为这些修正涉及到很多部分，所以我们未能在文章中逐一用红字标出。

意见 2: 羽毛球运动员持羽毛球拍等同于工具使用尚可理解，但文中将篮球运动员触摸篮球也等同于工具使用，仍需论述其合理性。

回应: 衷心感谢审稿专家的意见

(1) 我们已将【前言】中“工具”替换为“器械”，请见第 6 页第 39、40 行和第 7 页第 1 行。器械依赖项目中这种效应器(如本研究中的手)与运动器械(如篮球运动中的球)之间的长期作用形成的运动图式从根本上区别于无运动器械项目(如短跑)。

(2) 器械依赖的技能学习往往伴随着大脑结构与功能的可塑性改变(Chang, 2014)。Draganski 等人(2004)对普通人进行为期三个月的杂技训练，发现训练使负责加工和存储视觉空间运动

的相关脑区灰质体积发生改变。已有研究也发现了长期的专业篮球训练使运动员大脑发生功能性改变(Wu et al., 2013)。本研究的重点是考察篮球这一运动器械带来的躯体感觉输入对投篮动作运动表象产生的影响,并尝试探明这一影响的神经心理基础。

(3)此外,类似于羽毛球运动研究中被试握拍姿势与球场上持拍姿势相同,本研究中被试摸球的姿势与球场上持球的姿势相同,即均为指腹贴球、手心中空。且本研究考察的投篮动作是篮球运动中的有球运动过程,这个过程中球的躯体感觉输入至关重要。请见【方法-实验任务】部分第7页第28-31行。

意见 3: 数据分析中,不同条件下采用了不同的 t 检验,是否可以考虑采用 GLM 模型,通过对比(contrast)的方式进行数据分析?

回应: 衷心感谢审稿专家的建议。

我们已经按照审稿专家的意见将组间差异和组内差异运用对比的方法重新分析。为考察运动技能水平对运动表象的影响,我们将持球和不持球条件作为整体进行组间比较,发现篮球运动员表现出较大的额下回激活,这验证了我们的假设一,即运动技能水平越高,镜像脑区激活越大。为考察躯体感觉输入对运动表象的影响,我们将两组被试作为整体考察躯体感觉输入对运动表象的影响,发现持球条件诱发了较大的基底神经节活动。

在【方法-2.5.2 fMRI 数据采集、预处理与统计分析】部分,我们将这此数据分析方法的表述更新为“基于 GLM 构建基于双因素方差分析的 2(组别: 篮球运动员和新手组) × 2(持球条件: 持球和不持球)的 F 检验,通过对比(contrast)的方式考察运动技能水平对运动表象的影响和躯体感觉输入对运动表象的影响以及运动技能水平与躯体感觉输入的交互效应。”请见第9页第20-22行。

在【结果】部分,我们根据对比的方法更新了相应结果。具体为“比较两组差异发现,篮球运动员在额上回、额中回、额下回、额内侧回以及楔前叶有较大激活,新手在辅助运动区和额上回表现出较大激活(见图3、表4)。”以及“比较不同持球条件发现持球条件下表现出较大的基底神经节激活,包括左侧苍白球和右侧壳核(见图4、表5)。”请分别见第11页第3-4行和第12页第4-5行。

意见 4: 下面是一些小的问题:

- 1、第7页,实验程序的描写中有许多的英文单词,这些都有对应的中文翻译,请更正。
- 2、第7页,两组被试的实际执行时间是如何获得的,请详细描述。
- 3、问卷中“表象”“肌肉收缩序列变化”这样的表述,如何保证被试能够理解。

回应: 我们完全同意审稿专家提出的修改意见。

(1)已将【方法-实验程序】部分的英文单词替换为相应的中文替代词。具体地:“session”替换为“部分”、“block”替换为“组块”、“trial”替换为“试次”。请见第8页第9、10、15行。

(2)两组被试的实际执行时间的获得方法是相同的,即“使用专业数字摄像机(Sony PXW-F37, 50 帧/秒)逐一拍摄所有被试的投篮情况,并计算从拍球开始到篮球出手之间的时间间隔。将每位被试 25 次投篮(每个投篮角度各 5 次)的平均时间定义为实际执行时间。”请见第7页36-38行。

(3)为确保被试可以准确报告自己的主观感受,被试回答问卷前先由主试讲解每个题目的意思直到被试充分理解。请在【2.5.1 行为数据采集与分析】部分添加描述,见第8页28-29行。

意见 5: 下面是一些文字和格式上的错误:

- 1、第 4 页, 摘要, “投篮”两字去掉
- 2、第 7 页, 2.5.1, “是否使用了”重复
- 3、第 13 页, 3.2.2 第二段未首行缩进
- 4、第 15 页, 4.4 多了一个“的”

回应: 衷心感谢审稿专家的指正。

- 1、已删除摘要中的“投篮”;
- 2、已删除 2.5.1 中的一个“是否使用了”;
- 3、已将 3.2.2 中第二段进行首行缩进;
- 4、已删除多余的“的”, 修改为“右侧额下回平均信号值的差值”。请见第 15 页第 17 行。

第二轮

审稿人 1 意见:

意见 1. 与新手相比, 运动专家表象更优。这是运动记忆提取, 还是表象能力? 如何加以区分?

回应: 衷心感谢审稿专家的提问。

本研究要求被试进行动觉表象, 侧重体会动作执行的动觉感受, 而对运动记忆的提取主要涉及视觉表象相关的情景记忆(Greenberg & Knowlton, 2014)。另外一般表象能力问卷和运动表象问卷结果表明, 两组的一般视觉表象能力和专项动作相关的视觉表象效果均无显著性差异。因此, 与新手相比, 运动专家的表象更优主要体现在运动专家进行专项动作表象时的动觉表象能力更好。具体内容见以下修改部分。

(1) 在【前言】部分我们补充了文献, 并将相关内容重新表述。“运动表象分为视觉表象和动觉表象两种。视觉表象指以外部的、第三视角进行心理模仿形成肢体运动的视觉表征过程(Milton, Small, & Solodkin, 2008), 参与情景运动记忆的提取(Greenberg & Knowlton, 2014); 动觉表象主要指以内部的、第一视角对动作进行心理模仿, 侧重于体会动作执行的动觉感受过程(Solodkin, Hlustik, Chen, & Small, 2004), 依赖已有的运动经验。” 请见 9 页第 19-23 行。

(2) 在【2.5.1 行为数据采集与分析】部分我们补充了对一般表象能力测试的表述。“正式实验前使用一般表象能力问卷考察两组被试的一般表象能力是否存在差异。该问卷使用 7 点评分(7 代表最清晰), 包括 8 个项目, 分别评估一般动觉(1, 3, 5, 7)和视觉 (2, 4, 6, 8) 表象能力。” 请见 11 页第 23-25 行。

(3) 在【3.1 行为结果】部分我们补充了两组被试一般表象能力的测试结果, 并分别报告了运动表象问卷中动觉和视觉表象质量评分的结果。请见 13 页第 9-18 行及表 2。

“一般表象能力测试结果显示两组的一般动觉表象能力无统计学差异($Z=0.69$, $p=0.485$, $\Phi=0.14$, 篮球运动员: $M\pm SD=5.97\pm 0.55$; 新手: $M\pm SD=6.1\pm 0.52$); 两组的一般视觉表象能力无统计学差异 ($Z=1.13$, $p=0.26$, $\Phi=0.23$, 篮球运动员: $M\pm SD=5.86\pm 0.56$; 新手: $M\pm SD=6.04\pm 0.63$)。

两种持球条件下篮球运动员的动觉表象得分均显著高于新手(持球条件下: $Z=2.49$, $p=0.012$, $\Phi=0.51$; 不持球条件下: $Z=2.64$, $p=0.008$, $\Phi=0.54$), 两组的视觉表象得分无统计学差异(持球条件下: $Z=1.66$, $p=0.097$, $\Phi=0.34$; 不持球条件下: $Z=1.57$, $p=0.117$, $\Phi=0.32$)。比较不同

的持球条件发现, 两组被试在持球条件下的表象评分均高于不持球(动觉表象: 篮球运动员, $Z=2.36$, $p=0.018$, $\Phi=0.68$; 新手, $Z=2.02$, $p=0.044$, $\Phi=0.58$; 视觉表象: 篮球运动员, $Z=1.75$, $p=0.081$, $\Phi=0.51$; 新手, $Z=2.61$, $p=0.009$, $\Phi=0.75$)(见表 2)。”

(4) 在【3.2.3 ROI 与表象质量评分的相关】部分我们补充了右侧额下回与动觉表象、视觉表象质量评分的相关。请见 17 页第 7-10 行及图 6。

“对于篮球运动员, 持球与不持球条件下右侧额下回的平均信号值的差值与动觉表象质量评分的差值显著相关($r=-0.62$, $p=0.032$) (见图 6)。对于新手, 持球条件与不持球条件下交互脑区的平均信号值的差值与表象质量评分的差值未发现显著相关。两组的交互脑区平均信号值与视觉表象质量评分均未发现显著相关。”

(5) 在【4.1 运动技能水平对运动表象的影响】部分补充了相关结果的讨论。“值得注意的是, 两组的一般运动表象能力并无显著性差异, 然而篮球运动员的动觉表象质量评分显著高于新手。这些发现共同说明篮球运动员具有较强的专项动作动觉表象能力, 这种能力与长期的专项训练有关。”请见 19 页第 3-5 行。

意见 2. “躯体感觉输入对运动表象的影响”的分析比较牵强。作者认为“中央后回是初级躯体感觉皮层的位置, 主要表征触觉。”但后面的分析中并没有说明“中央后回”是如何与表象中枢(额下回)建立联系的。

回应: 衷心感谢审稿专家的建议。本研究的结果还不足以揭示中央后回与额下回建立联系, 我们在讨论中进行了相关内容的修改。请见 19 页第 18-35 行。

“感官反馈的研究发现, 如果在技能学习初期借助了感官反馈, 则在熟练阶段仍然需要相应感官反馈的辅助才能完成对技能经验的有效调用(Proteau, Tremblay & DeJaeger, 1998; Tremblay & Proteau, 1998)。对于篮球运动员, 篮球的躯体感觉输入伴随着运动训练的始终, 长期专项训练使篮球运动员将球有机地纳入运动模式和身体表征中。中央后回是初级躯体感觉中枢, 主要表征触觉。结果显示持球条件下中央后回的激活显著低于不持球, 与中央后回的激活模式相似, 持球条件下额下回的激活显著低于不持球。这可能是由于持球条件下的表象任务与实际训练中的运动状态匹配, 篮球运动员需要较少心理资源即可激活已有运动模式, 任务难度相对较低, 从而相对自动化地完成投篮的动作序列。也就是说, 篮球运动员动用较少的神经表征就能达到较好的表象效果, 这与相关分析得到的持球条件下表象质量评分与额下回激活呈显著负相关的结果一致。在不持球条件下, 篮球运动员需要动用较多的资源弥补躯体感觉信息缺失带来的运动模式失匹配, 任务难度增加, 表现为镜像神经系统和运动控制相关脑区的较大激活。这与已有研究发现一致, 即对于熟练掌握的动作, 动作难度小, 心理资源耗费少, 同时还能保持较优的动作表现(Bakker et al., 2008)。对新手来说, 投篮动作的掌握水平较低, 实验前为期三周的实地训练尚不能使新手将球纳入运动模式和身体表征, 表现为 ROI 脑区的激活模式与运动员不同。

需要指出的是, 持球带来的躯体感觉输入影响中央后回和额下回的活动。然而本研究的结果还不足以揭示这两个脑区之间的相互关系, 探讨躯体感觉输入情况下中央后回与额下回的关系需要新的研究数据支持。”

审稿人 2 意见:

作者对审稿意见做出了比较全面、细致的回应, 基本上达到了发表的要求, 但仍有部分地方

需要作者修改。

意见 1. 作者对前言部分，尤其是两个假设提出的逻辑还不是特别清晰，其中有很多语句读起来不清晰。例如，“这提示随着外部的躯体感觉输入对大脑皮层兴奋性的影响与运动技能掌握水平有关，运动专家的运动表象受到躯体感觉输入的影响”。结合全文，能够明白作者表达的意思，但文字表述仍需精炼。

回应： 衷心感谢审稿专家的意见。

已将此句中的“随着”删除，并对前言部分的文字表述进行了精炼。由于改动较为分散，未能在回应部分逐一给出页码，具体改动请见正文【前言】中红色标记部分。

意见 2. 本文将镜像神经系统激活的程度与运动表象质量进行了关联，作者认为运动技能水平高，会导致镜像神经系统激活高；心理资源投入小，会导致镜像神经系统激活低。希望作者能进一步论述运动表象质量与镜像神经元激活程度高低的的关系，同时论述运动技能水平的高低、心理资源的投入在其中的调节作用。

以下是一些文字错误

14 页 31 行，“无前额叶皮层参与的动作表现将出组织紊乱的现象”缺少“现”字。

15 页 20 行，多了一个“的”

回应： 衷心感谢审稿专家的意见和细心指正。

(1) 在【讨论-4.1 运动技能水平对运动表象的影响】部分，我们对运动技能水平在运动表象质量与镜像神经元激活程度的关系进行了补充讨论。请见 18 页第 21-24 行。

“镜像神经元的激活和完成动作的熟练程度相关(Buccino, Binkofski, & Riggio, 2004)，而运动表象与运动执行的神经基础具有重叠性(Dechent et al., 2004)，因此在运动想象时专家较新手表现出更大的镜像神经元的激活。在本研究中，篮球运动员报告了较高的动觉表象质量，同时表现出较大的镜像脑区激活，这与已有研究发现一致。”

(2) 在【讨论-4.2 躯体感觉输入对运动表象的影响】部分，我们对心理资源的投入在运动表象质量与镜像神经元激活程度的关系进行了补充讨论。请见 19 页第 20-30 行。

“对于篮球运动员，篮球的躯体感觉输入伴随着运动训练的始终，长期专项训练使篮球运动员将球有机地纳入运动模式和身体表征中。中央后回是初级躯体感觉中枢，主要表征触觉。结果显示持球条件下中央后回的激活显著低于不持球，与中央后回的激活模式相似，持球条件下额下回的激活显著低于不持球。这可能是由于持球条件下的表象任务与实际训练中的运动状态匹配，篮球运动员需要较少心理资源即可激活已有运动模式，任务难度相对较低，从而相对自动化地完成投篮的动作序列。也就是说，篮球运动员动用较少的神经表征就能达到较好的表象效果，这与相关分析得到的持球条件下表象质量评分与额下回激活呈显著负相关的结果一致。在不持球条件下，篮球运动员需要动用较多的资源弥补躯体感觉信息缺失带来的运动模式失匹配，任务难度增加，表现为镜像神经系统和运动控制相关脑区的较大激活。这与已有研究发现一致，即对于熟练掌握的动作，动作难度小，心理资源耗费少，同时还能保持较优的动作表现(Bakker et al., 2008)。”

(3) 在【结论】部分我们补充了以下表述。请见 20 页第 16-20 行。

“综上所述，本研究主要发现：与新手相比，运动专家进行动觉表象时具有专家优势，表现为动觉表象质量较好，镜像神经系统激活较高；对运动专家来说，躯体感觉输入对运动表象有调节作用，表现为持球条件下运动表象质量较好，镜像神经系统激活较低，不持球条件

反之。同时，与躯体感觉输入相关的中央前回活动发现类似趋势。这提示持球条件下表象任务与实际训练中的运动状态匹配，运动专家需要较少心理资源即可激活已有运动模式。”

(4) 已将“出”替换为“产生”，请见第 18 页第 27 行。去除了多余的“的”。

第三轮

审稿人 1 意见：

意见 1. 作者已经深度修改，可以发表。但仍有一些文字表述需要进一步修改，例如，在摘要和结论(不限于)中有“结果发现。。。。”这样的不规范表述。

回应：衷心感谢审稿专家的指正。

已经按照审稿专家的意见将文中不规范的表述逐一修改，具体如下：

已将【摘要】部分的“结果发现”修改为“结果表明”，请见第 10 页第 7 行；

已将【3.1 行为结果】部分的“结果发现”修改为“结果显示”，请见第 14 页第 10 行；

已将【3.2.2 ROI 分析结果】部分的“结果发现”修改为“结果显示”，请见第 17 页第 7 行；

已将【4.1 运动技能水平对运动表象的影响】部分的“结果发现”修改为“结果显示”，请见第 20 页第 2 行；

已将【4.2 躯体感觉输入对运动表象的影响】部分的“结果发现”修改为“结果显示”，请见第 20 页第 22 行；

已将【5 结论】部分的“本研究主要发现”修改为“研究结果表明”，请见第 21 页第 16 行。

审稿人 2 意见：

稿件已经得到了很大的提高，基本上达到了发表要求。一个小问题，图 5 需要给出误差线。

回应：衷心感谢审稿专家的指正。

已经按照审稿专家的意见对图 5 作出修改，标注了误差线。

第四轮

主编意见

意见 1. 正如审稿专家指出的，“整个文章行文不流畅，尤其是摘要部分，写的非常不通顺。”，作者在文章发表前一定要认真研读并修改文字，例如摘要部分，“运动表象质量与运动技能水平有关，器械使用可使人脑产生可塑性改变”，这一句中包含的信息量不高，产生可塑性改变，到底是运动表象质量与运动技能水平上升了还是下降了，作者没有直截了当地写出来。“持球时运动员表象质量高于不持球，镜像神经系统激活程度低于不持球”这句不完整，也不规范，比如写成“持球时运动员表象质量显著高于不持球时，镜像神经系统激活程度显著低于不持球时”或“持球条件下运动员表象质量显著高于不持球条件下，镜像神经系统激活程度显著低于不持球条件下。”等等，另外，在学统计为基础的研究中，高（或低）与显著高

（或低）有极大的差别。建议作者认真修改全文文字。

回应：衷心感谢主编的意见。已将摘要部分“运动表象质量与运动技能水平有关，器械使用可使人脑产生可塑性改变”明确表述为“运动表象质量与运动技能水平有关，运动表象质量随着运动技能水平的提高而上升。器械使用可使人脑产生可塑性改变，使用者会将器械纳入身体图式”； 已将摘要部分“持球时运动员表象质量高于不持球，镜像神经系统激活程度低于不持球”改为“持球条件下运动员表象质量显著高于不持球条件下，镜像神经系统激活程度显著低于不持球条件下。”；已将文中具有统计学差异的结果确切描述为具有“显著”差异。

意见 2. 表 3、4、5、6 等结果中，作者给出了相应的 t 值或 F 值，还应该相应的给出 p 值，F 值还应给出功效估计值，以便读者更清晰明了地了解你的结果。

回应：衷心感谢主编的意见。已在表 3、4、5、6 给出相应 p 值；已在表 6 中给出 F 值的功效估计值。