

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：长期高策略性技能训练对运动员大脑白质结构的影响：一项 DTI 研究
作者：祁亚鹏; 王怡萱; 朱桦; 周成林; 王莹莹

第一轮

审稿人 1 意见：

本文研究有很好的科学意义。作者招募并扫描了校级乒乓球队 31 名队员（其中国家一级运动员 30 人，国家二级运动员 1 人）的弥散张量磁共振图像，分析了大脑白质纤维束的各向异性值（FA），并计算了其于训练指标的相关性。通过与非运动员的横向对比，发现乒乓球运动员在背侧和腹侧通路中的双侧皮质脊髓束、左侧上纵束、左侧下纵束和双侧额枕下束的 FA 更高。且双侧皮质脊髓束和左侧上纵束的 FA 与训练指标呈显著正相关。研究表面经过长期高策略性技能训练后，乒乓球运动员在背侧和腹侧通路上的白质纤维束结构完整性增强。具体意见如下：

意见 1：

作者提到研究结果支持了动作双通路模型，请在文中明确陈述动作双通路模型、且说明怎么支持动作双通路模型的？

回应：

感谢专家的建议。在引言部分和讨论部分增加了关于双通路模型中腹侧通路脑区的描述（**红字部分**），来进一步说明结果中有差异的白质纤维束连接的脑区与背侧和腹侧通路脑区是一致的，进而证明结果支持了双通路模型。

意见 2：

作者提到的首次发现了乒乓球运动员大脑负责言语等高级认知功能的白质纤维束完整性发生了正向的可塑性改变，这种改变符合高策略性技能项目运动员所必备的心理技能特征。乒乓球运动员的大脑白质的特性，怎么能推测出言语等高级认知功能的特性？请说明或修改。

回应：

感谢专家的提问。本研究结果发现，乒乓球运动员在左侧上纵束、左侧下纵束和双侧额枕下束的 FA 显著高于非运动员，这表明乒乓球运动员在这些白质纤维束的完整性更高。在讨论中，根据前人文献对组间 FA 存在显著差异的白质纤维束的解释：左侧上纵束 FA 与注意力和言语能力均存在正相关(Brauer, Anwander, Perani, & Friederici, 2013; Monzalvo &

Dehaene-Lambertz, 2013; Urger et al., 2015); 左侧下纵束参与了很多与视觉和言语功能有关的认知活动(Catani et al., 2012); 额枕下束白质结构的改变与语义缺失有关, 术中电刺激额枕下束会诱导产生语意错乱(Han et al., 2013)。因此, 我们认为乒乓球运动员在上述白质纤维束的完整性提高可能会增强言语能力等高级认知功能。但由于本研究未进行言语能力的测试, 所以无法直接证明对言语能力的影响, 这是本研究的局限, 在讨论最后一段增加了这一说明(红字部分)。本课题目前在进一步探索乒乓球运动经验对专项动作相关的言语加工能力的促进作用。

意见 3:

作者比较了两组 FA 的差别, 为什么没有报告用 TBSS 分析 MD, AD, RD 的差别?

回应:

感谢专家的意见。我们在文中补充了 MD、AD 和 RD 的结果(蓝字部分)。

意见 4:

表, 就一条纤维束, 就别做表格了。如果几条纤维束, 再做一个表格。表二的结果, 是否可以以图的方式呈现。

回应:

感谢专家的意见。我们在数据处理和结果部分都进行了修改(棕字部分), 将结果均转换为图呈现。

意见 5:

图 1 的呈现好图摆放在一起, 读者不容易看清哪条纤维束, 请考虑。

回应:

感谢专家的意见。我们对图 1 进行了修改, 在右侧增加了 FA 组间差异显著的白质纤维束的解剖位置示意图, 并在图注中进行了说明。

.....
审稿人 2 意见:

本研究使用弥散扩散张量成像考察了乒乓球运动员和非运动员在大脑白质一致性上的差异。结果发现运动员在双侧皮质脊髓束、左侧上纵束、左侧下纵束和双侧额枕下束的 FA 更高。研究问题有一定的现实意义, 方法基本得当, 不过还存在一些问题需要作者理清。

意见 1:

前言部分没有突出本研究的意义所在。

回应：

感谢专家提出的疑问。在前言第一段最后，我们认为了解长期高策略性运动技能对大脑白质结构的可塑性影响，有助于揭示该种运动技能学习的神经机制，并为运动训练提供指导；同时还可以帮助理解在竞技运动领域中，同等动作技能水平的运动员，他们均具备了前馈模型中所述的丰富的专项动作表征，然而却可以分出高低名次，因此引入了双通路模型，提出了本研究在竞技运动心理学领域对于专家优势理论的新思路，即不仅有赖于动作表征（背侧通路），还可能与更高级的认知加工过程有关（腹侧通路）。

意见 2：

没有写实验是否得到伦理委员会 IRB 的批准。

回应：

感谢专家的宝贵建议。在原文 2.1 部分增加了相关表述（红字部分）。

意见 3：

利手性是用什么来测量的没有说明。

回应：

感谢专家的提问。基本信息表中有对被试利手性进行了调查。

意见 4：

方法部分写道‘扫描矩阵’，这里表述不清楚。

回应：

感谢专家的建议。在原文方法部分进行了修改，应为“采集矩阵（Acquisition matrix）”。

意见 5：

方法部分提到‘剔除头动大于的被试（）’，扫描过程中的头动参数是怎么估计？

回应：

感谢专家的宝贵建议。在方法部分删掉了“首先，剔除头动大于 2mm 的被试，剩余数据纳入分析处理。”在扫描过程中，主试只通过肉眼观察被试是否发生了头动，精确度不高，59 名被试均没有发生较大的头动。实际上，后续通过预处理对头动参数进行了矫正。

意见 6：

结果部分写道‘得到六个新的白质纤维束模板’修改为‘得到六个新的白质纤维束感兴趣区’更合适。

回应：

感谢专家的宝贵建议。在 2.3.2 部分进行了修改（红字部分）。

意见 7:

表一用总结 fMRI 结果的方式来呈现 TBSS 结果不太直观,因为 TBSS 是基于纤维束的,因此团块大小并不能反映其空间特性。此外, TBSS 使用了非参数检验,表一列举的 t 值从哪里来呢? 我想作者应该是用了 FSL 的工具来查看结果,其 color bar 一般显示的是 1 减去 p 值,请作者仔细核对。建议将表一修改为对 6 个纤维束的描述性统计,包括两组各自的均值,标准差等。图一的显示也应该做调整。1) 请确认左右脑的位置,从结果图上看,运动员 FA 升高有一定的半脑偏侧性,如果运动员是右利手居多,那么 FA 变化的大脑半球很可能是左脑。因此,也请用专业问卷测量并统计所有被试的利手性。2) 请在图上标记出 6 个 ROI 的命名。3) Y 坐标的标记有误。按作者的分析,其应该是 MNI 坐标,而当前标记的是应该图像层数,并非是以毫米为单位的 MNI 坐标。4) TBSS 一般建议用 randomise 统计,请检查多重比较校正所使用的方法是否是 TFCE-based 校正而非 FEW,相应地, P FEW 应该更改。

回应:

感谢专家的宝贵建议。(1),我们对结果部分进行了修改,根据 Hu et al(2011),将原表 1 以图 1 的形式呈现。(2)和(3),对图 1 进行了修改,并在右侧增加了 FA 组间差异显著的白质纤维束的解剖位置示意图,并在图注中进行了说明。(4),已在方法部分进行了修改(绿字部分)。

意见 8:

可以使用有一个表格对两组被试的人口学信息做统计和差异比较,包括性别、年龄、训练强度、水平等等。

回应:

感谢专家的宝贵建议。在 2.1 部分增加了表 1。

意见 9:

影像指标和行为做相关的时候,没有逻辑上说明为什么要考察某个行为和 FA 的关系,而且结果也没有考虑到多重比较校正。训练总时长是一个比较相关的指标,其它指标若没有充分理由来考察不需要做相关。此外,训练总时长是训练强度的一个测量,而技术水平是训练效果(outcome)的一个测量,可考虑考察训练效果和脑影像之关系。

回应:

感谢专家的宝贵建议。在 2.3.2 部分增加了关于考查行为和 FA 关系的原因和多重比较校正的描述(紫字部分);根据专家的意见,我们只保留了训练总时长(现改为“训练时间”)

与 FA 的相关结果；之所以未以技术水平与 FA 做相关分析，是因为 31 名运动员中 30 名均为一级运动员，只有 1 名为二级运动员，没有考虑到可以招募多种技术水平的运动员，如二级、一级、健将、国际健将等，如此可以对技术水平和 FA 做相关分析。

意见 10:

FA 是 DTI 的一个重要指标，此外，横向扩散系数和径向扩散系数能反映纤维束不同的侧面，也应该加以考察，相似的研究可参见 Hu et al., *Human Brain Mapping* <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hbm.20996>

回应:

感谢专家的宝贵建议。新补充了 MD、AD 和 RD 的结果（蓝字部分）。

意见 11:

讨论部分“因此，我们认为长期乒乓球专项训练可以提高个体言语等高级认知功能并没有证据支持。如果作者要下这个结论，则应当测量语言等高级认知功能，并且和对照组作比较。此外，还有可能是语言等高级认知功能高的个体会成为优秀的乒乓球运动员，本身与训练没有任何关系。讨论部分请做适当修改。

回应:

感谢专家的宝贵建议。讨论部分删除了“因此，我们认为长期乒乓球专项训练可以提高个体言语等高级认知功能在加工专项动作中的参与度。”由于本研究未进行言语能力的测试，所以无法直接证明对言语能力的影响，这是本研究的局限，在讨论最后一段增加了这一说明（红字部分）。本课题目前在进一步探索乒乓球运动经验对专项动作相关的言语加工能力的促进作用。

意见 12:

结论部分提到“而非运动员相比于乒乓球运动员无任何大脑白质结构上的改变。”改变都是相对，运动员相对非运动员的改变和非运动员相对运动员的改变本质上是一样的，只是改变的方向（即增加或减少）。作者是否想表达非运动员相对运动员没有增加的脑区？

回应:

感谢专家的宝贵建议。作者讨论过后将最后一句话删除，以免引起歧义。

第二轮

审稿人 1 意见:

作者根据审稿人的意见更新了稿子，回答了大部分的问题。但文章中的一句话“...乒乓球运动员连接位于负责言语、思维等高级认知功能的腹侧通路的白质纤维束髓鞘成熟度显著提升”，审稿人认为不妥，原因是本文没有给出评价“髓鞘成熟度”的办法和标准。请修改。现在的修改稿，质量有明显的提升。审稿人建议：修改如上问题的表述后，可以发表。

回应:

感谢专家提出的宝贵建议。我们在讨论部分进行了修改，包括补充了 AD 和 RD 指标的意义及修改了总结句子的表述（[蓝字部分](#)）。

审稿人 2 意见:

作者回答了我大部分的问题，但是利手性的问题还不完整。如果研究中对利手性的测量只是自我报告而非问卷测量，请将文中“均为右利手”修改为“均自我报告为右利手”，并从表一中删除对利手性的统计。

回应:

感谢专家的建议。在文中 2.1 部分已进行了相应修改（[红字部分](#)）。

第三轮

编委专家意见:

这个文章虽然整体比较简单，无关变量控制，以及一些相关变量的分析都没有纳入，但总体研究还是比较规范，另外体育认知神经科学领域本身研究值得鼓励，研究结果也有意义；综合考虑，可以发表。

回应:

感谢专家的肯定和意见。首先，基于目前现有文献，关于大脑腹侧通路对高策略性运动项目的作用还处于研究的起步阶段。本研究通过横向对比的实验设计，期望观察到，腹侧通路和背侧感知运动通路都是乒乓球等高策略性项目运动员大脑可塑性改变的重要靶点。虽然横向对比实验设计存在无关变量难控制、无法推论因果关系等缺点，但本研究结果是今后纵向干预随机控制实验研究的重要前期支撑，以期在体育认知神经科学领域提出新的观点：即在竞技运动领域，高策略性运动项目的专家优势不仅源于感知运动系统的可塑性改变，与腹侧通路的作用也是密不可分的；在大众健身领域，参与乒乓球等高策略性运动可能会对腹侧

通路有关的言语、思维等高级认知过程有着一定的促进作用，因为可增强该通路白质纤维束的结构完整性，有利于信息加工效率。其次，根据专家的意见，我们在文中 2.1 被试部分，增加了前期对被试人口学信息调查的比较结果和补充描述（红字部分），对部分变量进行了比较分析。