



地理课程与空间能力相关性的脑实证研究

白天阳, 杨天宇, 董政, 董卫华*

北京师范大学地理科学学部, 北京 100875

* 联系人, E-mail: dongweihua@bnu.edu.cn

2023-12-04 收稿, 2024-02-17 修回, 2024-02-20 接受, 2024-02-21 网络版发表

国家自然科学基金(42242102)资助

摘要 空间能力是人类进行日常行为的基本能力之一, 以往研究表明地理教育与空间能力相关. 但是目前研究缺乏从脑科学角度分析地理课程与空间能力的相关性. 本文基于功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)的空间能力实验, 收集地理专业大学生的脑影像数据, 运用表征相似性分析(representational similarity analysis, RSA)计算地理课程成绩与脑区激活模式之间的相关系数及其显著性, 揭示地理课程与空间能力的相关关系. 结果表明, 地理学本科核心课程(自然地理、自然地理实习、人文地理、地图学、地理信息系统、遥感)成绩与空间能力测试的正确率存在正相关, 与反应时存在负相关; 人文地理、地图学、遥感课程成绩与空间能力测试任务状态下的脑区激活模式存在相关性. 本文从脑神经机制的层面提供了地理课程与大学生空间能力相关的实证依据, 为地理课程评价、空间能力培养提供了跨学科的研究视角.

关键词 空间能力, 功能磁共振成像, 地理课程, 表征相似性分析

空间能力是重要的人类认知功能, 现有研究认为其包含心理旋转、空间定向、空间可视化和空间关系推理等要素^[1~3]. 空间能力是人类进行日常行为的基本能力之一, 与寻路导航、STEM(科学、技术、工程与数学)^[4]等领域密切相关. 从脑发展学的角度看, 空间能力具有明显可塑性, 可以通过特定的训练和教育得到提高^[5~7]. 其中, 地理相关课程的学习有助于空间能力的提升. 当前国内的研究通常结合量表与统计检验的结果来评估地理课程对学生空间能力的提升效果^[8,9]. Lee和Bednarz^[10]发现, 学生的地理信息系统课程得分与空间能力测试得分之间存在显著关联. Favier和van der Schuer^[11]发现, 使用地理空间技术的地理课程对高中生空间关系思维发展的贡献显著高于传统地理课程. Jo和Hong^[12]通过上百人的空间概念测试发现, 地理信息系统课程的学习有助于提高学生描述和识别空间概念的能力. 可以看到, 目前研究者主要从行为层面开展

地理课程与空间能力的相关性研究, 较少涉及从微观层面揭示地理课程与空间能力相关的脑神经机制.

传统的行为研究以量表作为主要测量工具, 比较有代表性的空间能力测量工具是空间思维能力测试(spatial thinking ability test, STAT)^[13]. Dong等人^[14]结合量表与眼动跟踪技术, 从视觉认知的角度分析地理与非地理专业学生的空间能力差异. 在认知神经科学层面上, 现有研究利用功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术识别了心理旋转^[15,16]、空间定向^[17]、空间关系推理^[18]等空间能力测试任务的脑激活区. 最近Dong等人^[19]的神经影像学研究通过对比实验证实了地理教育能够对大学生的空间能力产生影响, 但关于地理课程具体影响空间能力的脑功能机制尚不明确. 相较于单变量分析, 表征相似性分析(representational similarity analysis, RSA)能够研究大脑区域内部如何表征信息, 并揭示行为与脑活动的

引用格式: 白天阳, 杨天宇, 董政, 等. 地理课程与空间能力相关性的脑实证研究. 科学通报, 2024, 69: 3642–3650

Bai T Y, Yang T Y, Dong Z, et al. The correlation between geography courses and spatial ability: An empirical study of brain imaging (in Chinese). Chin Sci Bull, 2024, 69: 3642–3650, doi: [10.1360/TB-2023-1252](https://doi.org/10.1360/TB-2023-1252)

共同表征^[20]。Cetron等人^[21]使用RSA方法,从fMRI数据中解码STEM概念学习能力的个体差异,该研究为使用RSA进行思维能力评估提供了理论与实践支撑。

本文以地理学专业大学生作为研究对象,采集学生在完成空间能力测试任务状态下的fMRI数据,运用表征相似性分析,计算学生地理课程成绩与脑区激活模式之间的相关性,从脑科学角度分析地理课程与空间能力的相关性,并提供相应的认知神经依据。地理课程与空间能力相关的神经机制能够为地理课程设计提供相关理论基础,改进教学方案并提高教学质量,加强地理教育的建设。

1 实验设计

1.1 实验被试

招募北京师范大学大四年级地理学专业学生15人(其中4名为男性)参与实验,年龄在21~23岁。被试者在参与实验之前已经完成自然地理学、自然地理实习、人文地理学、地图学、地理信息系统、遥感概论的课程学习,课程成绩由北京师范大学教务处提供。

所有被试视力或矫正视力正常,体内无金属植入,统一为右利手,且认知能力正常,无神经或精神类疾病或疾病史。本实验已通过北京师范大学伦理委员会审查(批准编号为IRB_B_0029_2019001),并在实验前获得了被试签署的知情同意书。

1.2 实验仪器

使用北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室提供的Siemens MAGNETOM Trio 3.0T磁共振扫描仪进行扫描,采用12通道相控阵的头部线圈。扫描参数设置为:脉冲重复时间(repetition time, TR) 2000 ms,回波时间30 ms,翻转角90°,视野220 mm×220 mm,扫描层分辨率64点,层厚3.5 mm,层间距0.7 mm,共33层,层片方向为标准轴位,隔层扫描,扫描大脑全脑。静息态扫描时间为6 min 40 s, T1加权像扫描10 min,空间分辨率为1 mm×1 mm×1 mm。

1.3 实验任务与刺激材料

fMRI实验包括4个任务:心理旋转、空间定向、空间可视化与空间关系推理^[1-3]。使用e-prime 2.0软件完成刺激材料的组织,分辨率设为1024×768,且所有任务的指导语均在扫描前展示,不作为单独的刺激材料出

现。测试的刺激材料见图1(a),以下是对各项任务的具体说明:

(i) 心理旋转任务。采用Shepard和Metzler提出的三维物体心理旋转任务^[22]。该任务要求被试尽快判断右图的立方体是否可以由左图立方体旋转得到。

(ii) 空间定向任务。在进行fMRI实验之前,被试在桌面式虚拟环境中完成对指定区域的学习,学习环境选自英国格拉斯哥城区。被试需要经过测试,以确保对环境足够熟悉。空间定向任务由两张图片组成,首先目标位置场景持续显示6 s,然后自动切换到起点位置场景,被试需要尽快判断出目标位置相对于起点的方向,并根据起点图上红色箭头的数字描述所选方向。

(iii) 空间可视化任务。刺激材料使用Google Earth提供的卫星遥感影像作为底图,图上黄色圆点代表被试的位置,红色箭头代表被试当前观看的视角,任务要求被试尽快想象出站在指定位置从所给视角出发所能看到的场景^[13]。

(iv) 空间关系推理任务。测量空间关系推理能力的经典方法是根据两个物体(A, B)与第三个物体(C)的相对位置来判断A和B的相对位置^[18],本文使用绝对方向和距离来描述物体之间的空间关系,被试需要进行4选1的判断。

1.4 实验流程

实验流程包括环境学习与fMRI实验两个部分(图1(a))。在环境学习阶段,被试需要独立完成学习任务。该过程无严格的时间限制,学习完成后进行效果测试。该测试包含两类题型共15道题:一类是要求判断所给图片是否在所学区域内;另一类是要求判断所给图片在学习区域的什么方位。为了不影响后续测试,两类题目都不同于正式空间能力测试中的任务。如果被试正确率在85%以上,则可以进入fMRI实验阶段,否则需要继续学习指定区域,直到在新的学习效果测试中达标为止。

fMRI实验在环境学习的后一天进行,具体流程如下:

(i) 静息态扫描。持续时间为6 min 40 s,期间屏幕设置为黑屏。

(ii) 任务态扫描。实验采用组块设计,被试总共需要完成4个回合的任务,依次对应心理旋转任务,空间定向任务,空间可视化任务,空间关系推理任务。各个任务时间依次为心理旋转4 min 10 s,空间定向4 min

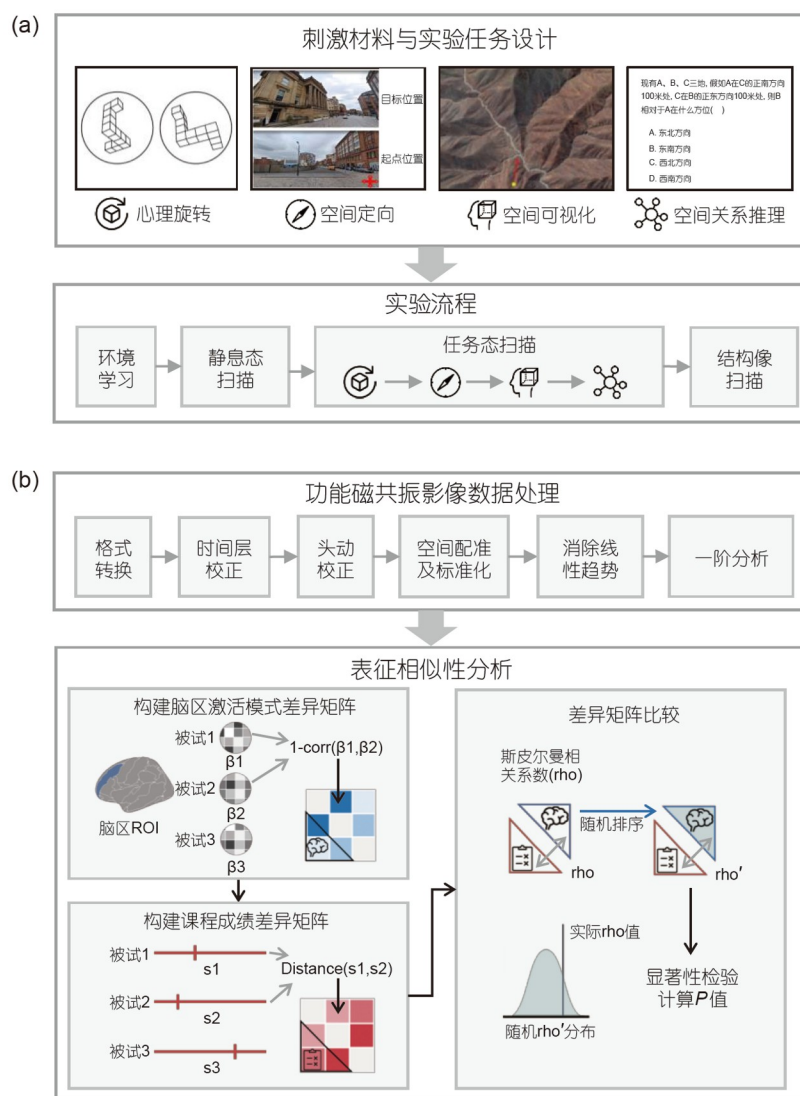


图 1 (网络版彩色)研究技术路线. (a) 实验设计; (b) fMRI数据分析流程

Figure 1 (Color online) Research framework. (a) Experiment design; (b) procedures of fMRI data analysis

10 s, 空间可视化4 min 20 s, 空间关系推理4 min 8 s, 总计16 min 48 s. 每个任务下设置4~5个组块, 组块间隔为10 s. 1个组块内包含2~4个试次, 一个试次对应一道空间能力测试题目, 试次间隔为2 s. 每个回合内设置的组块数量、试次数量、试次持续时间如表1所示.

(iii) 结构像扫描. 持续时间为10 min.

2 数据分析方法

2.1 预处理

在MATLAB R2013b平台上应用SPM 12软件对所

有被试依次进行fMRI数据的预处理, 具体步骤如下:

(i) 格式转换. 用dcm2nii工具将原始的DICOM格式数据转化为nii格式.

(ii) 时间层校正. 采用插值法保证一个扫描周期内各层扫描时间的统一.

(iii) 头动校正. 剔除了图像平移>3 mm, 旋转移动角度>3°的被试共5个.

(iv) 空间配准. 由于被试的脑部大小、形状存在差异, 将每个被试的fMRI图像与其T1结构像进行图像配准, 然后使用DARTEL方法将T1图像分割为灰质、白质、脑脊液, 并将分割后的灰质概率图进行空间变换,

表 1 实验任务组织情况

Table 1 Organization of experimental tasks

任务名称	组块数	组块间隔(s)	组块内试次数	试次持续时间(s)	试次间隔(s)
心理旋转	5	10	4	8	2
空间定向	5	10	2	18	2
空间可视化	5	10	3	12	2
空间关系推理	4	10	2	24	2

并将相同的图像变换参数应用于与其相对应的fMRI图像, 将被试功能图像配准到MNI空间.

(v) 消除线性趋势. 采用高通滤波的方法消除由于机器发热、脉搏等因素造成的信号漂移.

2.2 一阶分析

通过一般线性模型, 将BOLD信号值转化为表征大脑激活强弱的beta值, 计算公式如下:

$$Y_t = \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \beta_4 X_{4t} + \beta_{p1} X_{p1t} + \cdots + \beta_{p6} X_{p6t} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

其中, Y_t 为预处理后BOLD信号的时间序列, ε_t 为残差. $X_{1t}, X_{2t}, X_{3t}, X_{4t}$ 为自变量水平, 依次为4个实验任务的时间序列(若该任务正在进行则 X 值为1, 否则 X 值为0). $X_{p1t}, \cdots, X_{p6t}$ 为研究不关心的回归因子, 本文设置为预处理过程中计算的6个头动参数.

2.3 表征相似性分析

本文的RSA分为3个步骤: 构建脑区激活模式差异矩阵、构建课程成绩差异矩阵、差异矩阵比较, 如图1(b)所示.

(i) 构建脑区激活模式差异矩阵. 选择自动解剖标记(anatomical automatic labeling, AAL)图谱^[23]作为脑功能区的划分依据, 该图谱一般用于在功能神经影像中定位大脑的活动区域. 根据空间认知神经影像学元分析研究^[24], 选择相关脑区作为兴趣区(region of interest, ROI)(表2). 对于每一个脑区, 提取各个被试该脑区的beta值序列, 两两相互比较计算差异矩阵, 计算公式如下:

$$\text{BRDM}_{\text{beta}}^{\text{roi}}(i, j) = 1 - \text{corr}(\beta_i^{\text{roi}}, \beta_j^{\text{roi}}), \quad (2)$$

其中, i, j 为第 i 和第 j 个被试, corr 为皮尔逊相关系数.

(ii) 构建课程成绩差异矩阵. 对于每一门地理课程成绩, 通过计算两两被试之间的欧式距离^[25]获得课程

成绩的差异矩阵, 计算公式如下:

$$\text{SRDM}_{\text{score}}^k(i, j) = \text{Euclidean distance}(s_i^k, s_j^k), \quad (3)$$

其中, i, j 为第 i 和第 j 个被试, k 为课程编号, s_i^k 为第 i 个被试第 k 门课程成绩, 所有课程成绩均为百分制.

(iii) 差异矩阵比较. 采用斯皮尔曼相关系数(Spearman rank correlation, rho)计算大脑活动差异矩阵 $\text{BRDM}_{\text{beta}}^{\text{roi}}$ 与课程成绩差异矩阵 $\text{SRDM}_{\text{score}}^k$ 的相关性. 由于差异矩阵是对角对称矩阵, 所以只需提取矩阵的半角部分进行计算, 计算公式如下:

$$\rho_{\text{roi}, k} = \text{Spearman rank correlation}(\text{brdm}_{\text{beta}}^{\text{roi}}, \text{srdm}_{\text{score}}^k), \quad (4)$$

其中, brdm 为BRDM矩阵的下半角部分序列, srdm 同理. $\rho_{\text{roi}, k}$ 值越高, 说明roi脑区活动与第 k 门课程的相关性越强. 为了确定BRDM和SRDM是否显著相关, 需要对 ρ 进行显著性检验. 由于矩阵中的每个样本值依赖于两个被试的次序, 违反了独立性假设, 不能采用符合独立假设的检验方法, 故使用随机排列方法进行检验^[26]. 对原来的被试顺序进行随机排列, 计算随机排列后的BRDM', 并计算BRDM'与原来的SRDM之间的相关系

表 2 空间能力相关脑区^{a)}

Table 2 Brain regions associated with spatial ability

脑功能区名称	英文名称	英文缩写
额中回	Middle frontal gyrus	MFG
脑岛	Insula	INS
海马旁回	Parahippocampal gyrus	PHG
枕中回	Middle occipital gyrus	MOG
梭状回	Fusiform gyrus	FFG
顶下小叶	Inferior parietal lobule	IPL
楔前叶	Precuneus	PCUN

a) 每个脑功能区均考虑左(L)右(R)半侧差异, 将半侧功能区视作单独的兴趣区

数 ρ' . 重复此步骤10000次, 得到 ρ' 的分布直方图, 用来模拟两个差异矩阵不存在相关性的原假设分布. 如果实际 ρ 值落在模拟分布的两端 $\alpha/2 \times 100\%$ 内, 则拒绝差异矩阵不相关的原假设, 相关的显著性 P 值为 ρ' 绝对值高于实际 ρ 值的个数除以总随机次数的比值. 针对每一门地理课程, 使用FDR(false discovery rate)方法对显著性 P 值进行多重比较校正.

3 结果

3.1 行为数据结果

本文使用正确率与反应时作为反映被试行为的指标, 并计算行为指标与地理课程成绩的肯德尔相关系数(Kendall's tau coefficient), 结果如表3所示. 对于心理旋转任务, 自然地理实习、地图学课程成绩与反应时之间存在显著负相关. 对于空间定向任务, 地理信息系统成绩与正确率之间存在显著正相关, 人文地理、遥感课程成绩与反应时之间存在显著负相关. 对于空间关系推理任务, 自然地理、地图学课程成绩与正确率显著正相关, 自然地理实习成绩与反应时显著负相关. 正确率与课程成绩显著正相关, 说明被试地理课程成绩越高, 测试的正确率越高; 反应时与课程成绩显著负相关, 说明被试地理课程成绩越高, 完成测试任务所需时间越少. 综上所述, 行为数据结果说明地理课程与空间能力具有相关性.

3.2 表征相似性结果

表征相似性结果表明, 地理课程成绩与大脑区域的激活存在相关性, 结果如图2所示. 人文地理、地图学、遥感课程成绩与脑区激活显著相关. 在空间定向任务状态下, 人文地理课程成绩与左侧枕中回的激活

($\rho=0.704$, $P=0.001$)显著相关; 在空间可视化任务状态下, 人文地理课程成绩与右侧额中回($\rho=0.499$, $P=0.021$)、右侧楔前叶($\rho=0.549$, $P=0.021$)显著相关. 在空间可视化任务状态下, 地图学课程成绩与左侧枕中回的激活显著相关($\rho=0.581$, $P=0.011$). 在心理旋转任务状态下, 与遥感课程成绩相关的激活脑区包括左侧额中回($\rho=0.401$, $P=0.034$)、右侧脑岛($\rho=0.498$, $P=0.029$)、左侧海马旁回($\rho=0.521$, $P=0.028$).

4 讨论

本文采集大学生在完成空间能力测试状态下的fMRI数据, 运用表征相似性分析, 计算脑区激活模式与地理课程成绩的相关性. 结合行为指标与地理课程成绩的相关性分析结果, 发现人文地理课程成绩与空间定向任务的反应时之间存在显著负相关, 同时RSA结果表明, 被试在空间定向任务状态下的左侧枕中回激活与人文地理课程成绩显著相关. 相较于没有空间信息的视觉刺激, 枕中回对具有空间信息的视觉刺激更加敏感^[27]. 该结果表明, 人文地理课程通过地理调查、地理观测^[28]等方式训练了学生的视觉空间注意, 从而提升了学生完成空间定向的能力. 此外, 在空间可视化任务状态下, 人文地理成绩与右侧额中回、右侧楔前叶的激活相关. 额中回特定区域的激活与空间工作记忆有关^[24], 而楔前叶作为背侧视觉通路的重要节点, 已被广泛证实参与视觉空间想象过程, 涉及对自我中心参考(第一人称视角)的空间信息编码^[29,30]. 这些结果表明, 人文地理课程与空间记忆、空间想象的认知过程相关. 人文地理课程涉及到城乡规划的内容, 要求学生记忆国土资源的分布和特征^[31], 并实地考察研究区的空间布局模式, 这些知识点的理解和掌握能够提升学生对地理实体的记忆、想象能力. Hegarty等人^[32]的研

表 3 行为指标与地理课程成绩相关性

Table 3 Correlation between behavior indicators and geography course achievement

任务	行为指标	课程	相关系数	P 值
心理旋转	反应时	自然地理实习	-0.442	0.042
	反应时	地图学	-0.506	0.023
空间定向	正确率	地理信息系统	0.628	0.010
	反应时	人文地理	-0.489	0.028
	反应时	遥感	-0.422	0.045
空间关系推理	正确率	自然地理	0.516	0.031
	正确率	地图学	0.544	0.025
	反应时	自然地理实习	-0.489	0.028

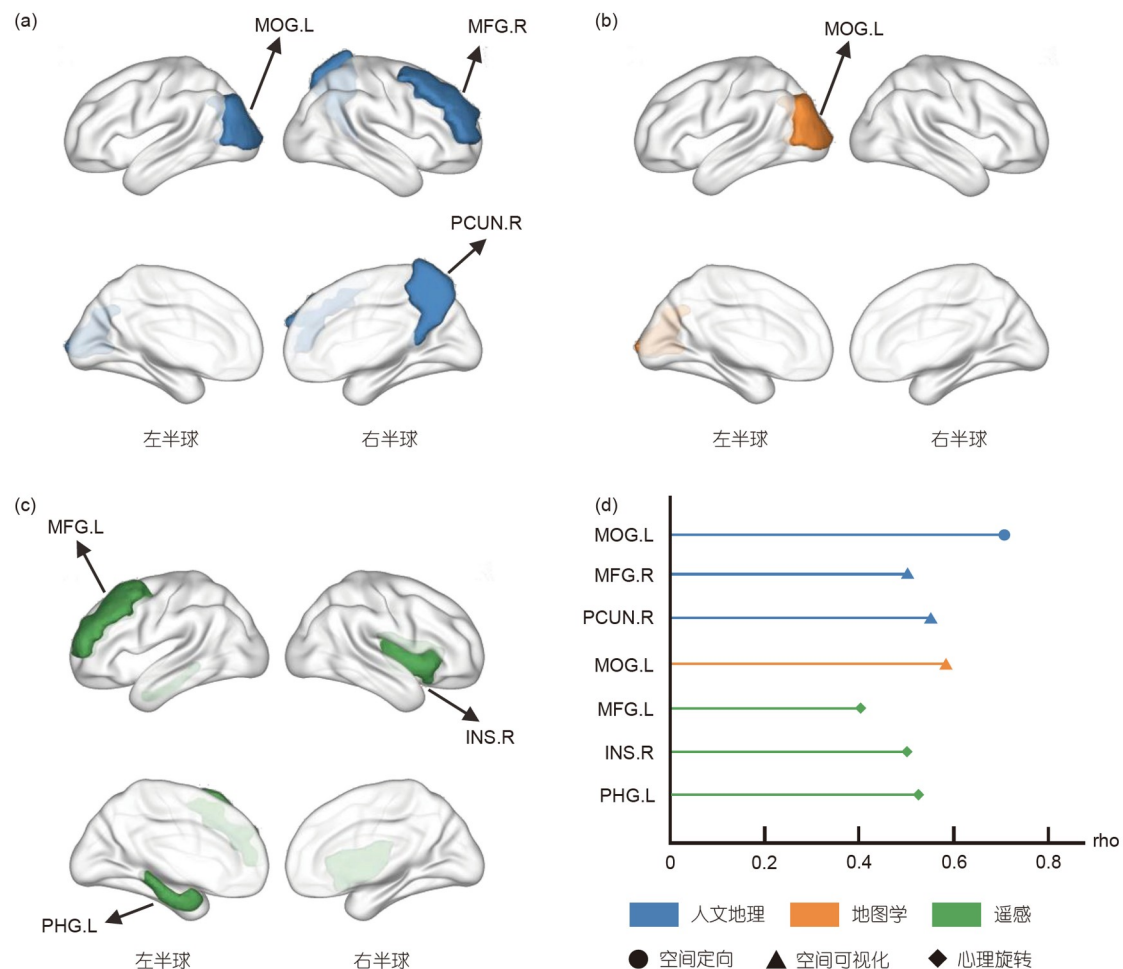


图 2 (网络版彩色)地理课程与脑区激活的RSA结果. (a)~(c) 在空间能力测试任务状态下与地理课程成绩相关的脑区, 依次为人文地理、地图学、遥感课程; (d) 地理课程成绩与脑区激活的RSA相关系数; 选取 $P<0.05$ 的结果进行显示, P 值经过FDR校正. MFG, 额中回; INS, 脑岛; PHG, 海马旁回; MOG, 枕中回; PCUN, 楔前叶; L, 左侧; R, 右侧

Figure 2 (Color online) RSA results of geography courses and activation patterns of brain regions. (a)~(c) Brain regions correlated with geography courses achievement under spatial ability tasks, followed by human geography, cartography, and remote sensing; (d) significant RSA coefficients between activation patterns of brain regions and geography courses achievement; results with $P<0.05$ (FDR correction) were displayed. MFG, middle frontal gyrus; INS, insula; PHG, parahippocampal gyrus; MOG, middle occipital gyrus; PCUN, precuneus; L, left; R, right

究表明该过程与空间能力有着显著关联, 本文上述结论证实并深化了其内容.

除了人文地理课程, 地图学、遥感课程成绩也与部分脑区激活模式相关. 地图学课程成绩与空间可视化任务状态下的左侧枕中回激活相关. 枕中回对具有空间信息的视觉刺激更加敏感^[27]. 该结果表明, 地图学课程的学习与物体空间信息的视觉识别过程相关, 与Dong等人^[19]的研究结果一致. 地图学课程要求学生阅读大量的地图, 并且熟练识别地形图上特定的点、线、面符号对应的地物^[33], 推测这一技能训练涉及到物体视觉空间信息特征的认知过程. 遥感课程成绩与

心理旋转任务状态下的左侧额中回、右侧脑岛、左侧海马旁回的激活相关. Galashan与Siemann^[34]发现脑岛与空间注意过程相关. 海马旁回被普遍认为参与情景记忆的认知过程^[35]以及空间参考编码过程^[36]. 这些结果表明, 遥感课程与空间注意、空间记忆的过程相关. 遥感课程能够训练学生对卫星影像(真彩色影像、假彩色影像等)的目视解译能力, 现有眼动追踪研究表明, 目视解译的专家能够将视线聚焦于任务相关的目标区域, 其空间注意水平高于未受过训练的一般人^[37]. 本文的研究结果进一步从脑功能的角度说明遥感课程与空间注意过程的相关性.

本文也具有一定的局限性. 首先, 本文使用地理课程成绩作为衡量学生学习效果的指标, 然而学生的学习效果往往受到课程之外因素的影响, 包括社会经济背景^[38]、自我效能^[39]等. 此外, 即使本文的被试数量与之前的研究^[40,41]大致相当, 但根据Mazurchuk等人^[42]针对表征相似性分析刺激重复次数与被试数量的研究, 我们依然认为本文的被试数量仍存在一定不足. 未来研究将增加被试的数量, 并减小地理课程之外的因素对实验结果的影响.

5 结论

本文以地理学专业大学生作为研究对象, 采集学

生在完成空间能力测试任务状态下的功能磁共振成像数据, 运用表征相似性分析, 计算学生地理课程成绩与脑区激活模式之间的相关系数, 从脑科学角度讨论地理课程与空间能力的相关性. 结果表明, 地理学本科核心课程(自然地理、自然地理实习、人文地理、地图学、地理信息系统、遥感)成绩与空间能力测试的正确率存在正相关, 与反应时存在负相关; 人文地理、地图学、遥感课程成绩与空间能力测试任务状态下的脑区激活模式存在相关性. 本文从脑神经机制的层面提供了地理课程与大学生空间能力的相关性实证依据, 为地理人才培养与课程评价提供了神经影像学方法, 并为学生空间能力发展提供了跨学科的研究视角.

参考文献

- Gilmartin P P, Patton J C. Comparing the sexes on spatial abilities: Map-use skills. *Ann Assoc Am Geographers*, 1984, 74: 605–619
- Linn M C, Petersen A C. Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Dev*, 1985, 56: 1479–1498
- Bednarz R S, Lee J. The components of spatial thinking: Empirical evidence. *Proced Soc Behav Sci*, 2011, 21: 103–107
- Buckley J, Seery N, Canty D. A heuristic framework of spatial ability: A review and synthesis of spatial factor literature to support its translation into STEM education. *Educ Psychol Rev*, 2018, 30: 947–972
- Lin C H, Chen C M. Developing spatial visualization and mental rotation with a digital puzzle game at primary school level. *Comput Hum Behav*, 2016, 57: 23–30
- Uttal D H, Meadow N G, Tipton E, et al. The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychol Bull*, 2013, 139: 352–402
- Coutrot A, Kievit R, Ritchie S, et al. Education is positively and causally linked with spatial navigation ability across the life-span. *PsyArXiv*, 2023, <https://doi.org/10.31234/osf.io/6hfrs>
- Sun J S. Research on the improvement of junior high school students' spatial ability based on 3D CAD (in Chinese). Doctor Dissertation. Shanghai: East China Normal University, 2022 [孙江山. 基于3D CAD的初中生空间能力提升研究. 博士学位论文. 上海: 华东师范大学, 2022]
- Xu Z M. The study of middle school students' geospatial ability and cultivating (in Chinese). Doctor Dissertation. Changchun: Northeast Normal University, 2012 [徐志梅. 中学生地理空间能力及其培养研究. 博士学位论文. 长春: 东北师范大学, 2012]
- Lee J, Bednarz R. Effect of GIS learning on spatial thinking. *J Geogr High Educ*, 2009, 33: 183–198
- Favier T T, van der Schee J A. The effects of geography lessons with geospatial technologies on the development of high school students' relational thinking. *Comput Educ*, 2014, 76: 225–236
- Jo I, Hong J E. Effect of learning GIS on spatial concept understanding. *J Geogr*, 2020, 119: 87–97
- Lee J, Bednarz R. Components of spatial thinking: Evidence from a spatial thinking ability test. *J Geogr*, 2012, 111: 15–26
- Dong W, Zheng L, Liu B, et al. Using eye tracking to explore differences in map-based spatial ability between geographers and non-geographers. *ISPRS Int J Geo-Inf*, 2018, 7: 337
- Hugdahl K, Thomsen T, Ersland L. Sex differences in visuo-spatial processing: An fMRI study of mental rotation. *Neuropsychologia*, 2006, 44: 1575–1583
- Kucian K, von Aster M, Loenneker T, et al. Brain activation during mental rotation in school children and adults. *J Neural Transm*, 2007, 114: 675–686
- Murias K, Slone E, Tariq S, et al. Development of spatial orientation skills: An fMRI study. *Brain Imag Behav*, 2019, 13: 1590–1601
- Knauff M, Mulack T, Kassubek J, et al. Spatial imagery in deductive reasoning: A functional MRI study. *Cogn Brain Res*, 2002, 13: 203–212
- Dong W, Ying Q, Yang T, et al. Geography education improves spatial ability: Evidence from fMRI and behavioral experiments. *Cartogr Geogr Inf Sci*, 2023, 50: 289–305
- Popal H, Wang Y, Olson I R. A guide to representational similarity analysis for social neuroscience. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2019, 14: 1243–1253
- Cetron J S, Connolly A C, Diamond S G, et al. Decoding individual differences in STEM learning from functional MRI data. *Nat Commun*, 2019, 10: 2027

- 22 Shepard R N, Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 1971, 171: 701–703
- 23 Rolls E T, Huang C C, Lin C P, et al. Automated anatomical labelling atlas 3. *Neuroimage*, 2020, 206: 116189
- 24 Cona G, Scarpazza C. Where is the “where” in the brain? A meta-analysis of neuroimaging studies on spatial cognition. *Hum Brain Mapp*, 2019, 40: 1867–1886
- 25 Qin T, Dong W, Huang H. Perceptions of space and time of public transport travel associated with human brain activities: A case study of bus travel in Beijing. *Comput Environ Urban Syst*, 2023, 99: 101919
- 26 Kriegeskorte N, Mur M, Bandettini P. Representational similarity analysis – connecting the branches of systems neuroscience. *Front Syst Neurosci*, 2008, 2: 4
- 27 van der Stoep N, Postma A, Nijboer T C W. Chapter 4—multisensory perception and the coding of space. In: Postma A, van der Ham I J M, eds. *Neuropsychology of Space*. San Diego: Academic Press, 2017. 123–158
- 28 Li Y Q, Lin L, Wang Y, et al. Construction of field practice teaching system of human geography under the background of professional certification (in Chinese). *Geogr Teach*, 2022, 16: 54–57 [李艳芹, 林琳, 王颖, 等. 专业认证背景下人文地理野外实践教学体系构建. *地理教学*, 2022, 16: 54–57]
- 29 Cavanna A E, Trimble M R. The precuneus: A review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 2006, 129: 564–583
- 30 Zaehle T, Jordan K, Wüstenberg T, et al. The neural basis of the egocentric and allocentric spatial frame of reference. *Brain Res*, 2007, 1137: 92–103
- 31 Zheng Y H, Zuo W X, Jiang B, et al. Study on the construction of human geography & urban-rural planning major for territorial spatial planning (in Chinese). *High Educ Sci*, 2022, 162: 24–31 [赵映慧, 左汶轩, 姜博, 等. 面向国土空间规划的人文地理与城乡规划专业建设思考. *高等理科教育*, 2022, 162: 24–31]
- 32 Hegarty M, Montello D R, Richardson A E, et al. Spatial abilities at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning. *Intelligence*, 2006, 34: 151–176
- 33 Yan G F, Zhang D Y, Qi S Q. Cartography course teaching reform practice based on the OBE education concept (in Chinese). *J High Educ*, 2021, 7: 130–133 [烟贯发, 张冬有, 齐少群. 基于OBE教育理念的地图学课程教学改革实践. *高教学刊*, 2021, 7: 130–133]
- 34 Galashan D, Siemann J. Differences and similarities for spatial and feature-based selective attentional orienting. *Front Neurosci*, 2017, 11: 283
- 35 Aminoff E M, Kveraga K, Bar M. The role of the parahippocampal cortex in cognition. *Trends Cogn Sci*, 2013, 17: 379–390
- 36 Epstein R A. Parahippocampal and retrosplenial contributions to human spatial navigation. *Trends Cogn Sci*, 2008, 12: 388–396
- 37 Gegenfurtner A, Lehtinen E, Säljö R. Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educ Psychol Rev*, 2011, 23: 523–552
- 38 Claro S, Paunesku D, Dweck C S. Growth mindset tempers the effects of poverty on academic achievement. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2016, 113: 8664–8668
- 39 Honicke T, Broadbent J. The influence of academic self-efficacy on academic performance: A systematic review. *Educ Res Rev*, 2016, 17: 63–84
- 40 Devereux B J, Clarke A, Marouchos A, et al. Representational similarity analysis reveals commonalities and differences in the semantic processing of words and objects. *J Neurosci*, 2013, 33: 18906–18916
- 41 Macklin A S, Yau J M, Fischer-Baum S, et al. Representational similarity analysis for tracking neural correlates of haptic learning on a multimodal device. *IEEE Trans Haptics*, 2023, 16: 424–435
- 42 Mazurchuk S, Conant L L, Tong J Q, et al. Stimulus repetition and sample size considerations in item-level representational similarity analysis. *Lang Cogn Neurosci*, 2023, doi: 10.1080/23273798.2023.2232903

Summary for “地理课程与空间能力相关性的脑实证研究”

The correlation between geography courses and spatial ability: An empirical study of brain imaging

Tianyang Bai, Tianyu Yang, Zheng Dong & Weihua Dong*

Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

* Corresponding author, E-mail: dongweihua@bnu.edu.cn

Spatial ability is one of the basic aspects of human daily behaviour and is closely related to navigation; wayfinding; science, technology, engineering and mathematics (STEM); and other fields. Spatial ability can be enhanced through specific training methods during brain development. Previous studies have shown that geography education can improve spatial ability. Using behavioural data, researchers have shown a correlation between geography courses and spatial ability. However, there is a lack of research on the cognitive processes and neural mechanisms of geography courses' correlation with spatial ability.

Traditional behavioural research uses various scales to evaluate spatial ability. Recent studies have combined these scales with eye-tracking technology to analyse individual differences in spatial ability from the perspective of visual processes. Among neural imaging methods, functional magnetic resonance imaging (fMRI) has been used to identify the activated brain regions involved in mental rotation, spatial orientation, and spatial relation reasoning. Representational similarity analysis (RSA) expands upon mass-univariate analysis by providing information about how regions of the brain represent information and revealing the similarities between representations of behaviour and brain activity. Previous neuroimaging studies have used comparative experiments to confirm that geography education can affect the spatial ability of undergraduate students. However, the functional mechanism through which geography courses are associated with spatial ability is still unclear.

In this study, we conducted an fMRI experiment with 15 participants. All the participants were undergraduate students of geography science and completed four spatial ability tasks, including mental rotation, spatial orientation, spatial visualization and spatial relation reasoning. Using representational similarity analysis, the correlation between students' achievements in geography courses and the activation patterns of brain regions was determined. The results showed that achievement in the core courses of geography for undergraduate students (physical geography, physical geography practice, human geography, cartography, geographic information systems, and remote sensing) was positively correlated with accuracy in the spatial ability tasks and negatively correlated with response time. The achievements in human geography, cartography and remote sensing courses were correlated with the activation patterns of brain regions during spatial ability tasks. Our findings offer neuroscientific evidence that geography courses are correlated with the spatial ability of undergraduate students and provide an interdisciplinary research perspective for geography curriculum assessment and the development of students' spatial ability.

spatial ability, functional magnetic resonance imaging, geography courses, representational similarity analysis

doi: [10.1360/TB-2023-1252](https://doi.org/10.1360/TB-2023-1252)