

·竞赛与训练·

心理旋转能力对定向运动选手识图效率的影响研究

宋杨¹, 唐思洁², 线红³

(1. 天津财经大学 竞技运动管理中心, 天津 300222; 2. 陕西师范大学 体育学院, 陕西 西安 710119;
3. 天津财经大学 学工部, 天津 300222)

摘 要: 探索不同水平定向运动选手心理旋转能力对地图识别效率的影响, 为科学制定专项运动训练方案提供理论依据。研究选取专家和新手定向运动选手作为被试者, 进行正常方位与旋转方位以及不同地图难度特征条件下选手的识图认知任务测试。结果表明: (1)心理旋转与地图难度均制约着定向运动选手的识图效率, 随着心理旋转与地图难度认知压力的加大, 定向运动选手识图效率降低, 专家选手表现出较好专项认知优势。(2)定向运动选手识图效率随地图旋转角度加大而降低, 专家组好于新手组。在定向运动选手专项认知训练中应充分考虑心理旋转与地图难度的认知因素, 注重对心理旋转等空间认知能力的专项训练。

关键词: 定向运动; 专项认知训练; 心理旋转; 识图效率

中图分类号: G804.8 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2021)04-0125-06

Research on the influence of mental rotation ability on the map recognition efficiency of orienteering players

SONG Yang¹, TANG Si-Jie², XIAN Hong³

(1. Department of Sports Management, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China;
2. School of Physical Education, Shanxi Normal University, Xian 710119, China;
3. Department of Student Affairs, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China)

Abstract: To explore the influence of mental rotation ability of orienteering athletes at different levels on map recognition efficiency, so as to provide a theoretical basis for the scientific formulation of professional sports training programs. In this study, expert and novice orienteering players were selected as subjects to test the cognitive task of map recognition under the conditions of normal azimuth, rotation azimuth and different map difficulty characteristics. The results showed that: (1) Both mental rotation and map difficulty restricted the map recognition efficiency of orienteering players. with the increase of cognitive pressure of psychological rotation and map difficulty, the map recognition efficiency of orienteering athletes decreased, and expert athletes showed better professional cognitive advantages. (2) The map recognition efficiency of orienteering players decreased with the increase of map rotation angle, and the expert group was better than the novice group. The research reveals that in the professional cognitive training of orienteering players, we should fully consider the cognitive factors of mental rotation and map difficulty, and pay attention to the professional training of spatial cognitive ability such as mental rotation.

Key words: orienteering; professional cognitive training; mental rotation; map recognition efficiency

定向运动是一项借助于地图的导航运动^[1],是提升军人、警察、野外勘测者、徒步探险者专项技能和户

外生存能力的体育项目,是世界军人运动会、世界警察运动会的正式比赛项目。识别地图信息、规划跑动

收稿日期: 2020-08-17

基金项目: 教育部人文社会科学规划基金项目(16YJCZH063); 中央高校基本科研业务费专项资金项目。

作者简介: 宋杨(1977-), 男, 副教授, 研究方向: 户外运动理论与方法。E-mail: 996835260@qq.com

路线是定向运动项目的核心技术。在识图过程中,参加者需不断进行空间定位与记忆,对地图信息进行加工、处理,而心理旋转能力制约着参加者的空间定位与识别^[2]。心理旋转概念最早于 1971 年提出^[3],是个体在空间中保持和操作二维或三维物体的过程,也是对物体的视觉心理图像进行旋转变换的能力,是空间能力的重要成分,主要包括感知、旋转、决策 3 个部分^[4]。

Levine^[5]的研究表明当人利用地图完成自我定位任务时,需要不断进行心理旋转。只有当地图参照系与自我参照系的方向正好一致时,也就是当“朝上就是朝前”时,人不需要进行额外的心理旋转,且完成自我定位任务的效率最高,这被称作为调整效应^[6]。研究表明,杂技、跳水、足球、体操、武术等项目运动技能与心理旋转能力呈正相关^[7]。运动领域中,心理旋转能力是运动员专项运动技能必备的重要能力,并且这种能力能够准确预测运动水平^[8]。Lehmann^[9]提出,心理旋转会消耗大量的精神资源,是一种认知压力,从而干扰其他认知或知觉过程。因此与新手相比,专家运动员往往具有更好的心理旋转能力^[10],专家运动员在心理旋转能力上具有认知优势^[11]。专项心理旋转练习会使选手出现“练习效益”^[12],长期训练和空间活动的参与行为能够促进心理旋转能力的提升^[13]。心理旋转能力对运动水平的提升至关重要^[14],因此聚焦运动领域,关注不同运动项目的心理旋转能力对提升专项竞技能力有着重要意义^[15]。

刘阳^[16]对定向运动项目识图的视觉搜索、情景识别、路线决策等认知加工过程进行了深入研究,印证 Eccles 等学者的研究内容,并提出专家运动员在识图的注意、记忆与决策加工过程中具有明显认知优势,这种认知优势会受地图难度和信息量的制约。在定向运动竞技中,选手面对不断改变的行进方向,需要在跑动中进行地图信息的识别,折叠地图、旋转地图,不断更新与参照物的位置关系,以及心理旋转已有的参照物方位,保持心理地图与实际地形相一致^[17]。已有研究者通过旋转模型等非专项知识特征的心理旋转实验对其进行研究,提出专家定向运动选手在心理旋转任务中的表现明显优于新手,具有一定的认知优势^[18],但基于地图难度特征的心理旋转能力是否对识图效率产生不同影响以及地图旋转方位与识图效率的关系,有待进一步验证。

基于此,本研究将结合地图难度任务与地图不同方位识图认知任务,探讨不同水平定向运动选手的空间认知特征。提出以下假设:(1)心理旋转能力制约和影响不同水平定向运动选手的识图效率,专家组优于新手组;(2)不同方位下的识图效率会受地图难度的制

约,表现出不同的认知加工特征;(3)不同旋转角度具有不同的认知负荷,会对选手的识图效率产生影响。通过实验操纵,分析心理旋转与地图难度对不同水平定向运动选手识图效率的影响及特征,了解定向运动选手心理旋转能力与专项识图效率的关系,为科学训练提供理论依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

研究共招募 60 名定向运动选手,分为专家组、新手组。专家组选手 30 名,男生 18 人,女生 12 人,运动等级一级以上,训练年限 5 年以上,平均年龄(21.56 ± 2.42)岁,为现役中国定向运动国家队队员,获得过全国定向锦标赛或全国定向精英赛前 6 名;新手组选取 30 名,男生 16 人,女生 14 人,训练年限 1 年以上,平均年龄(21.38 ± 2.51)岁。所有受试者左、右眼视力或矫正视力正常,皆为右利手,能够熟练掌握定向运动专项基础知识,均未参加过类似实验。该研究已得到本校伦理委员会的批准,所有被试者均签署实验知情同意书。

1.2 实验材料和设备

任务采用 2(运动水平:新手组、专家组)×2(地图方位:正常方位、旋转方位)×2(地图难度:简单地图、复杂地图)三因素混合实验设计。定向运动选手水平为组间变量,地图方位和地图难度为组内变量。

地图识别实验材料选自定向运动标准比赛地图,由地图方位和地图难度构成 4 种刺激材料(正常方位简单地图,正常方位复杂地图,旋转方位简单地图,旋转方位复杂地图)(如图 1),旋转地图呈现角度为 90°、180°和 270°,一共 24 个刺激材料构成该实验材料。所有地图均由 2 名具有国家资格的定向运动地图制图员通过 OCAD 10.0 版(定向运动地图开发的专业软件)绘制。由 3 名定向教练员对这些地图材料的难易程度进行评分。简单地图平均得分 1.2 分,复杂地图平均得分 4.5 分。

刺激材料在 Panasonic CF-53 显示器上显示,分辨率为 1 366×768,刷新率为 60 Hz,由运行 IBM 的 PC 兼容 PC 计算机管理,这些 PC 运行使用 E-Prime(2.0 版)编码和开发的实验软件。

1.3 实验程序

在实验前让被试者填写自行编制的基本信息情况采集表,记录被试者的性别、年龄、训练年限、运动等级等,之后被试者开始实验。所有刺激均呈现在电脑屏幕上,被试者通过键盘对实验刺激进行判断,由此得出不同条件任务下的反应时和正确率。

实验包括两个阶段: 练习阶段和正式测试阶段。在两个阶段中, 每个轨迹的处理过程都相同: 首先让被试者熟读实验指导语, 然后出现实验刺激地图, 正常方位地图为同一方向且均指北, 不同方位地图分别为经过 90°、180°与 270°旋转。每道题包括 1 个参考图形和 3 个备选图形, 要求被试者仔细观察后从 3 个备选图形中选出 1 个与参考图形一致的图形(持续 10 000 ms), 并按下对应的数字键(1, 2, 3)作答。要求被试者在保证正确的前提下尽快按键。测试阶段根据被试者的反应, 在屏幕中央会显示“正确”“错误”或“未响应”形式的反馈 1 500 ms。为了最大限度减少超出任务熟悉程度的学习量, 培训阶段被限制为 4 mins, 该阶段使用的

刺激材料与随后进行正式实验(测试阶段)所用的刺激材料不同。培训阶段的目的是帮助参与者熟悉实验, 并且在此期间未收集任何数据。

待练习结束后方可开始正式测试, 正式实验与练习实验过程相同, 但是被试者做出反应后不会得到反馈, 而是让被试者保持放松状态 500 ms, 直到进入下一个试次。研究者一共向被试者呈现 24 个图形, 将 4 种类型地图随机分组, 期间被试者对任务的正确率和反应时被记录到文件中, 一直循环进行直至任务完成(实验流程见图 2)。该任务产生的分数反映了参与者表现的准确性和反应速度, 以及可评估整体识图效率。

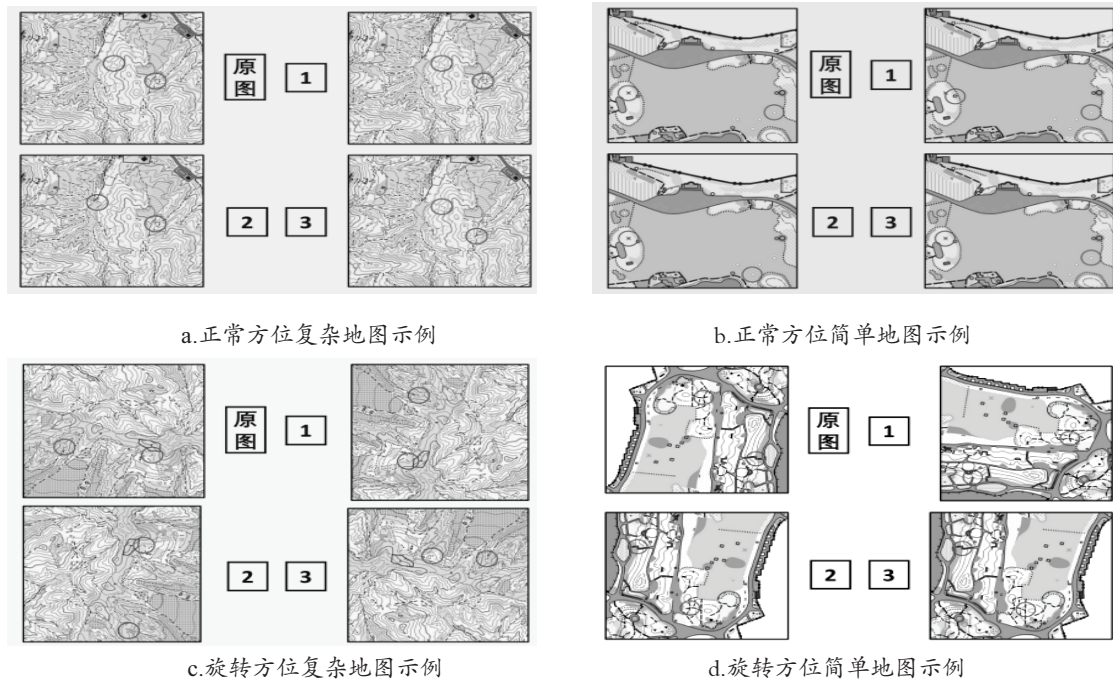


图 1 不同任务条件下实验刺激材料示例

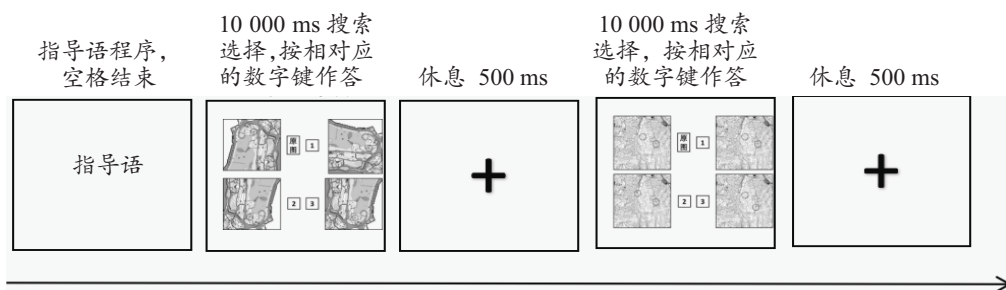


图 2 不同任务条件下地图识别任务实验流程

1.4 数据采集与处理

采用 SPSS 24.0 统计软件包对分别收集的正确率

和反应时数据进行重复测量方差分析和独立样本 *T* 检验, 并用 Greenhouse-Geisser 法控制 I 型错误率。当交

互作用显著时进行简单效应分析,用 Bonferroni 校正法进行修正。 $P < 0.05$ 说明具有统计学意义,偏 Eta 方 (η_p^2) 表示方差分析的效应量大小。

2 结果与分析

2.1 被试者正确率比较

采用 2(运动水平:新手、专家)×2(地图方位:正常方位、旋转方位)×2(地图难度:简单、复杂)三因素重复测量方差分析,被试者地图信息识别任务正确率结果见表 1。

表 1 被试者地图信息识别任务正确率结果($\bar{x} \pm s$)

地图方位	专家组		新手组	
	简单地图	复杂地图	简单地图	复杂地图
正常方位	0.90±0.10	0.87±0.10	0.83±0.13	0.65±0.10
旋转方位	0.80±0.17	0.61±0.06	0.53±0.09	0.36±0.09

重复测量方差分析结果显示:正确率方面,运动水平主效应显著 [$F_{(1, 58)}=221.05, P < 0.001, \eta_p^2=0.80$], 地图方位主效应显著 [$F_{(1, 58)}=357.30, P < 0.001, \eta_p^2=0.86$], 地图难度主效应显著 [$F_{(1, 58)}=112.69, P < 0.001, \eta_p^2=0.66$], 运动水平×地图方位的交互作用显著 [$F_{(1, 58)}=20.85,$

$P < 0.001, \eta_p^2=0.26$], 运动员水平×地图难度的交互作用显著 [$F_{(1, 58)}=5.12, P < 0.05, \eta_p^2=0.08$], 地图方位×地图难度的交互作用显著 [$F_{(1, 58)}=5.03, P < 0.05, \eta_p^2=0.08$], 运动水平×地图难度×地图方位的交互作用显著 [$F_{(1, 58)}=6.34, P < 0.05, \eta_p^2=0.10$]。

进一步简单效应检验发现,新手组地图难度主效应显著 [$F_{(1, 29)}=78.02, P < 0.001, \eta_p^2=0.73$], 难度越大正确率越低;地图方位主效应显著 [$F_{(1, 29)}=283.77, P < 0.001, \eta_p^2=0.91$], 旋转方位正确率小于正常方位正确率;地图难度×地图方位的交互效应不显著。专家组:地图难度主效应显著 [$F_{(1, 29)}=37.22, P < 0.001, \eta_p^2=0.56$], 难度越大正确率越低;地图方位主效应显著 [$F_{(1, 29)}=99.81, P < 0.001, \eta_p^2=0.78$], 旋转方位正确率小于正常方位正确率;地图难度和地图方位的交互效应显著 [$F_{(1, 29)}=9.79, P < 0.01, \eta_p^2=0.25$], 在简单地图和复杂地图条件下,旋转地图正确率 [$t_{(58)}=2.64, P < 0.05$]均低于正常方位 [$t_{(58)}=11.84, P < 0.001$]。

2.2 运动员反应时比较

采用 2(运动水平:新手、专家)×2(任务难度:简单、复杂)×2(地图方位:正常方位、旋转方位)三因素重复测量方差分析,被试者地图信息识别任务反应时结果见表 2。

表 2 被试者地图信息识别任务反应时结果($\bar{x} \pm s$)

地图方位	专家组		新手组	
	简单地图	复杂地图	简单地图	复杂地图
正常方位	6 802.08±1 508.66	7 642.86±1 393.88	8 742.76±1 232.35	9 890.71±1 579.53
旋转方位	7 866.30±1 012.95	10 529.52±1 689.45	9 264.50±1 819.04	11 599.90±2 467.30

重复测量方差分析结果显示:反应时方面,运动水平主效应显著 [$F_{(1, 58)}=41.63, P < 0.001, \eta_p^2=0.42$], 地图方位主效应显著 [$F_{(1, 58)}=57.62, P < 0.001, \eta_p^2=0.50$]; 地图难度主效应显著 [$F_{(1, 58)}=94.95, P < 0.001, \eta_p^2=0.62$]。地图方位×地图难度×运动员水平的交互作用不显著,地图难度×运动员水平的交互作用不显著;地图方位×运动水平的交互作用显著 [$F_{(1, 58)}=4.46, P < 0.05, \eta_p^2=0.07$]; 地图方位×地图难度的交互作用显著 [$F_{(1, 58)}=14.47, P < 0.001, \eta_p^2=0.20$]。

进一步简单效应检验发现,新手组:地图难度主效应显著 [$F_{(1, 29)}=10.62, P < 0.01, \eta_p^2=0.27$], 难度越大反应时越高;地图方位主效应显著 [$F_{(1, 29)}=34.61, P < 0.001, \eta_p^2=0.54$], 旋转方位反应时大于正常方位反应时;地图难度和地图方位的交互效应不显著。专家组:地图

难度主效应显著 [$F_{(1, 29)}=75.05, P < 0.001, \eta_p^2=0.72$], 难度越大反应时越高;地图方位主效应显著 [$F_{(1, 29)}=80.21, P < 0.001, \eta_p^2=0.73$], 旋转方位反应时大于正常方位反应时;地图难度和地图方位的交互效应显著 [$F_{(1, 29)}=27.14, P < 0.001, \eta_p^2=0.48$]; 在简单地图和复杂地图条件下,旋转地图反应时 [$t_{(58)}=-5.29, P < 0.001$]均高于正常方位 [$t_{(58)}=-8.41, P < 0.001$]。

2.3 不同角度变化条件下识别任务结果

对 3(旋转角度:90°、180°、270°)×2(运动水平:新手、专家)进行方差分析。分析结果显示,不同旋转角度运动水平主效应显著 [$F_{(1, 29)}=116.93, P < 0.001, \eta_p^2=0.80$], 地图角度主效应显著 [$F_{(2, 58)}=476.93, P < 0.001, \eta_p^2=0.94$], 运动员水平×地图旋转角度的交互作用显著 [$F_{(2, 58)}=21.21, P < 0.001, \eta_p^2=0.42$], 表明地图旋转角度加大时对于点

位判断的正确率显著降低,即 $90^{\circ}<180^{\circ}<270^{\circ}$,专家组对于点位的错误率显著低于新手组(见表3)。

表3 被试者在不同地图旋转角度下
错误次数描述统计($\bar{x} \pm s$)

地图呈现旋转角度	专家组	新手组
90°	1.93±1.14	3.50±1.25
180°	4.40±1.48	8.20±1.81
270°	7.50±1.59	11.63±1.54

3 讨论

3.1 不同任务条件下定向运动选手识图效率分析

从实验结果可以得知,运动员水平主效应显著,这符合研究预期:专家组的识图效率在准确性和反应时间方面明显优于新手组。周成林^[19]认为,具有专长的人更有可能迅速识别环境信息并相应采取适当行动,并且根据主效应分析结果,这一发现也反映在地图方位和地图难度任务上。随着专家掌握了更多专业技能,他们更有可能使用有效策略执行地图识别任务,这表明准确判断与快速反应是专家的优势。

实验刺激材料设置了方位与难度两种自变量,通过正常方位、旋转方位、简单地图、复杂地图4种类型进行比较分析,发现随着旋转地图的参与和地图难度的增加,认知压力明显增加,地图难度和地图方位均制约着识图认知能力。在旋转地图识别过程中,选手需要增加地图方向标定的心理旋转加工,这一过程实际上是选手对地图上的符号信息进行提取、匹配、记忆的加工过程,需要对形成的心理地图反复校正^[20],这种影响不仅仅在新手组,同样作用于专家组,但专家组优于新手组。Ishikawa和Montello^[21]的研究结果也表明,视觉空间技能的个体差异能够影响人的路线导航能力,这也是影响运动员将空间信息整合到环境表征中的内部因素之一。经过多年研究已经得到有力证据,事实上这些技能包括多个不同的因素^[22-23],包括心理旋转能力,这些能力均对地图导航与认知地图产生影响以及造成认知压力。这一结果也与Bethell-fox等^[24]研究相一致,他们认为被试者进行心理旋转加工后增加认知负荷,从而影响加工效率。此外,研究增加地图难度的自变量,复杂地图与简单地图比较,复杂地图多为野外地图,涉及到许多地貌信息,是经过高度概括综合的图形,包括复杂各异的地图形状、符号和注记,造成选手的识图效率会随着地图难度增加而降低,表明复杂地图的信息识别需要更多专项知识和时间对其进行加工,制约着选手的识图效率。专家组在简单地图和复杂地图识别中均优于新手组,这是

由于专家组长年的专项训练使其具有更丰富的专项知识和识图经验,可以在不同地图条件下正确并快速提取信息。

在定向运动项目的比赛过程中,选手在跑动过程中需要不断对地图进行识别,这需要选手以自己的身体作为运动主体,将环境方位和地图位置进行匹配,定向运动选手对地图在角度不断变化条件下的识记和匹配过程,需要心理旋转、方位认知、空间记忆等多种视空间认知能力的协调配合。因此,充分了解定向运动选手识图过程中的心理旋转特征可以更有效地指导运动员进行专项刻意训练,获得这种专项认知能力特征,可以有效提升专项竞技能力。

3.2 地图旋转角度对定向运动选手地图识别能力的影响

在心理旋转研究中,空间识别的角度效应一直被研究者反复证实^[25]。在跳水运动员的研究中,发现运动员身体的旋转角度越大专家优势越明显,表现出更高正确率^[13]。本研究结合定向运动项目的专项特点,在地图旋转角度中设置90°、180°和270°任务难度,研究发现在不同角度的识图认知任务中,随着角度加大,其识图效率也明显降低,这与以往研究一致^[13]。本研究同样证实了角度效应制约不同水平运动员的专项认知能力。在现实的定向运动专项训练中,教练员和运动员往往过多关注路线规划和地图信息的识别,出现跑向相反方向或者地图和实地角度错误等现象,在实际训练中教练员经常将这种现象归结于基础知识不扎实和比赛紧张,而忽略了地图指北的准确性以及快速地图方向标定的认知技能训练。研究也发现,专家组错误率显著低于新手组,这也表明专家组经过长期专项训练会提升自身的心理旋转能力和识图效率,这种差距的产生可能是由于定向运动专家对刺激图像的信息搜索和记忆的认知能力更强,从而提升了自身的空间认知能力,所以在旋转条件下依然能较好捕捉到关键信息;而新手组在信息识别过程中占据了大量认知资源,随着角度改变,更加难以进行有效识别。由此可见,旋转角度在定向运动识图过程中制约着选手的识图效率。

4 结论

心理旋转与地图难度均制约着定向运动选手的识图能力,随着心理旋转与地图难度认知压力的加大,定向运动选手识图效率降低,但专家组明显好于新手组。地图旋转角度越大,定向运动选手识图效率越低,但专家组明显好于新手组。定向运动专家与新手的识图效率受心理旋转与地图难度的制约,表现出不同的

认知加工特征,专家运动员表现出明显的专项认知优势,表明定向运动选手的心理旋转能力与识图效率息息相关,因此定向运动专项心理旋转能力可作为运动员选材的重要指标,并在专项训练中需重点加强心理旋转能力的刻意训练,从而有效提升运动竞技能力,取得优异成绩。

参考文献:

- [1] 刘阳. 户外定向[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2018.
- [2] 李俊. 我国女子定向运动员空间认知能力的调查与分析[J]. 体育科技文献通报, 2010, 18(7): 1-2+7.
- [3] ROGER N S, JACQUELINE M. Mental rotation of three-dimensional objects[J]. Science, 1971, 171(3972): 701-703.
- [4] HEIL M, ROLKE B. Toward a chronopsychophysiology of mental rotation[J]. Psychophysiology, 2002, 39(4): 414-422.
- [5] LEVINE M. You-Are-Here maps psychological considerations[J]. Environment & Behavior, 1982, 14(2): 221-237.
- [6] 梅丹. 场认知方式和导航方式对地图导航效率的影响[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2012.
- [7] SCHMIDT M, EGGER F, KIELIGER M, et al. Gymnasts and orienteers display better mental rotation performance than non-athletes[J]. Journal of Individual Differences, 2015, 37(1): 1-7.
- [8] HABACHA H, LEIEUNE-POUTRAIN L, MARGAS N, et al. Effects of the axis of rotation and primordially solicited limb of high level athletes in a mental rotation task[J]. Human Movement Science, 2014, 37: 58-68.
- [9] LEHMANN J, JANSEN P. The influence of juggling on mental rotation performance in children with spina bifida[J]. Brain and Cognition, 2012, 80(2): 223-229.
- [10] WU W. Thought in action: Expertise and the conscious mind by barbara gail montero[J]. Australasian Journal of Philosophy, 2018.
- [11] MOREAU D, MANSY-DANNAY A, CLERC J, et al. Spatial ability and motor performance: Assessing mental rotation processes in elite and novice athletes[J]. International Journal of Sport Psychology, 2011, 42(2): 525-547.
- [12] 王鹏, 游旭群. 想象空间心理旋转的角色效应[J]. 心理学探新, 2006, 26(3): 39-42.
- [13] 冯甜. 跳水运动员心理旋转的时空具身效应[D]. 上海: 上海体育学院, 2018.
- [14] VOYER D, JANSEN P. Motor expertise and performance in spatial tasks: A meta-analysis[J]. Human Movement Science, 2017, 54(1):, 110-124.
- [15] SHEPARD S, METZLE D. Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task[J]. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1988: 3-11.
- [16] LIU. Visual search characteristics of precise map reading by orienteers[J]. Peer J, 2019, 7(1): 7592.
- [17] 刘阳, 何劲鹏. 不同任务情境下定向运动员视觉记忆特征及加工策略[J]. 体育学刊, 2017, 24(1): 64-70.
- [18] 彭钊. 心理旋转对定向越野识图反应时的影响研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2017.
- [19] 周成林, 刘微娜. 竞技比赛过程中认知优势现象的诠释与思考[J]. 体育科学, 2010, 30(10): 13-18.
- [20] 林儒. 定向运动员地图空间认知过程训练理论与实践研究[J]. 搏击(体育论坛), 2011, 3(8): 56-57.
- [21] ISHIKAWA T, MONTELLO D R. Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places[J]. Cognitive Psychology, 2006, 52: 93-192.
- [22] HEGARTY M, MONTELLO D R, RICHARDSON A E. Spatialability at different scales: Individual differences in aptitude-test performance and spatial-layout learning[J]. Intelligence, 2006, 34(1): 151-176.
- [23] UTTAL D, MEADOW N G, TIPTON E, et al. The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies[J]. Psychological Bulletin, 2013, 139(1): 352-402.
- [24] BETHELL-FOX C, SHEPARD S. Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity[J]. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1988, 14(1): 12-23.
- [25] CORINNE J, FRED W M. Mental object rotation and egocentric body transformation: Two dissociable processes[J]. Spatial Cognition & Computation, 2005, 5(2): 217-237.