

视空工作记忆下篮球运动员赛场 注意捕获的眼动研究

康鹏飞

(南京财经大学 体育部, 南京 210003)

摘要: 目的: 研究视空工作记忆及不同负荷、视觉混乱度对篮球运动员赛场注意捕获的影响。方法: 选取30名国家二级及以上等级篮球运动员, 30名公共体育课篮球兴趣班成员, 采用2(高负荷/低负荷)×2(普通组/专业组)×2(客体工作记忆/空间工作记忆)×2(高视觉混乱度/低视觉混乱度)的混合实验设计。结果: 专业组在任何搜索任务下的成绩和效率都显著优于普通组; 在低负荷下, 被试赛场捕获成绩和效率均显著优于高负荷情境; 在客体与空间工作记忆搜索任务中, 低混乱度下的搜索成绩均显著优于高混乱度; 高混乱度下, 被试客体工作记忆搜索任务的成绩和效率显著高于空间工作记忆; 低混乱度下, 被试客体工作记忆搜索任务的效率显著高于空间工作记忆。结论: 不同视空工作记忆会对篮球运动员的赛场注意捕获效果产生影响, 高负荷会使运动员赛场表现下降; 混乱度高低影响运动员的搜索成绩但不影响搜索效率; 混乱度高时, 空间工作记忆负载对运动员的赛场表现影响更大, 混乱度低时, 空间工作记忆负载和客体工作记忆负载只会导致被试搜索效率的差异。

关键词: 客体工作记忆; 空间工作记忆; 视觉搜索; 注意捕获

中图分类号: G804.8

文献标志码: A

文章编号: 1008-3596 (2023) 03-0067-10

记忆和视觉搜索一直是运动认知心理学研究和关注的热点。其中, 工作记忆是影响视觉搜索绩效的一个重要因素^[1-2]。Baddeley等^[3]提出工作记忆的多成分模型, 将工作记忆分为视觉空间模板(又称视空工作记忆)、中央执行系统等四部分, 其中视空工作记忆可分为客体工作记忆和空间工作记忆。视觉搜索是指个体主动从许多干扰项中寻找到目标项的过程, 该任务已发展成为认知心理学家研究选择性注意的一种重要实验范式^[4]。选择性注意与工作记忆相互作用, 前者在后者的多个环节中发挥着重要作用^[5]。

篮球运动是研究选择性注意的典型项目。运动员在赛场上无论进攻还是防守, 都要同时对己方和对方运动员及篮球的飞行路线等至少2个以上的目标进行观察和判断, 对恰当线索信息的记忆利用和采用有效的搜索策略, 有助运动员提高获胜几率。篮球运动不断发展, 对运动员认知能力的要求也越来越高。为此, 通过场景视觉搜索任务范式研究篮球运动员赛场注意捕获能力, 以期为篮球运动员认知能力训练提供借鉴。

已有研究者采用视觉搜索任务与视空工作记忆任务结合的双任务范式, 考察客体工作记忆、

收稿日期: 2022-11-12

基金项目: 2021年“江苏省社科应用研究精品工程”高校思想政治教育专项课题“课程思政视域下高校体育课程与思政教育融合研究”(21SZC-064)

作者简介: 康鹏飞(1981—), 男, 江苏南京人, 讲师, 硕士, 研究方向为体育教育训练学。

文本信息: 康鹏飞. 视空工作记忆下篮球运动员赛场注意捕获的眼动研究[J]. 河北体育学院学报, 2023, 37(3): 67-76.

空间工作记忆对传统视觉搜索任务的影响。结果表明,相比无记忆负载条件,客体工作记忆负载和空间工作记忆负载对传统视觉搜索任务成绩的影响更为显著^[6]。Treisman 等^[7]研究表明,空间工作记忆负载下传统视觉搜索任务的效率明显低于无负载条件,而与无负载条件相比,客体工作记忆负载对传统视觉搜索任务效率的影响并不显著。有关客体选择性注意与客体工作记忆关系的研究已得到越来越多的关注,有研究者认为客体的选择性注意在客体工作记忆信息的保持中发挥了一定作用,客体的选择性注意和客体工作记忆之间可能共享某些机制^[8-9]。此外,脑成像研究结果发现,客体工作记忆编码时的脑区与视觉选择性注意激活时的脑区叠加程度较高,说明客体工作记忆需要视觉选择性注意的参与^[10]。

在眼动研究中,传统视觉搜索任务目标单一、特征清晰、任务明确,而真实场景搜索任务包含很多外围信息,目标复杂、特征多维、不确定性高,被试需要调动更多脑资源去搜索和辨别每个项目。在相对复杂的情境中对单一目标做出识别,对于被试来说具有更大的意义、更真实的空间感,因而具有更高的生态效度^[11]。我们把视觉画面中存在过多的项目导致某些作业绩效下降的状态称为视觉混乱,它是影响真实场景任务搜索绩效的重要因素。有研究发现,场景画面视觉混乱度的增加对搜索绩效有明显影响^[12]。而在视空工作记忆对真实场景搜索绩效影响的过程

中,视觉混乱度是否起作用需要更进一步证实。

本研究采用真实的篮球赛场情景图片作为实验材料,加入视觉混乱度这一变量,采用客体工作记忆和空间工作记忆任务与篮球运动员的赛场真实情景相结合的双任务范式,将搜索反应时和正确率结果与眼动技术结合起来,通过眼动过程的注视点数、总注视时间、首次眼跳潜伏期等指标更精准了解视空工作记忆对赛场信息捕获的影响,同时探讨不同负荷、赛场混乱度所发挥的作用,分析视觉混乱度是否会影响视空工作记忆负荷对篮球运动员的赛场信息捕获。

研究假设:专业组在任何搜索任务下的成绩和效率都高于普通组;在不同负荷、不同混乱度条件下,被试在客体工作记忆下的成绩和效率优于空间工作记忆。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

综合考量以往相似研究中样本量设置、统计方法对样本量的要求和研究成本,本研究共纳入 60 名本科生组成有效样本。样本按照篮球运动等级分为专业组和普通组,专业组为南京师范大学和南京体育学院二级及以上篮球运动员,普通组为南京师范大学公共体育课学生(表 1)。与被试签署知情同意书,并向其详细介绍实验目的、实验流程。为保证数据真实稳定,所有被试按拟定时间依次参加实验,实验前避免剧烈运动。

表 1 研究对象基本情况表

组别	性别	年龄/y	运动等级	备注
专业组 (n=30)	男(20人)	22.3±1.3	国家二级及以上等级篮球运动员,参加篮球训练时间 5 年以上。	所有被试均为右利手,健康状况良好,无肢体残障,无脑部损伤,视力正常,无认知能力障碍,无色盲色弱,未参加过该类实验。
	女(10人)			
普通组 (n=30)	男(20人)	21.3±1.2	公共体育课篮球兴趣班成员,接触篮球时间不超过 1 年,无运动等级和比赛成绩。	
	女(10人)			

1.2 实验设计

该研究主要考察不同工作记忆负荷水平下篮球运动员的 2 种工作记忆对赛场注意捕获效率的影响。研究采用 2(负荷:高,低)×2(组别:普通组,专业组)×2(工作记忆类型:客体工作记忆,空间工作记忆)×2(视觉混乱度:高,低)的混合实验设计。其中,负荷、组别为组间变量,工作记忆类型、视觉混乱度为组内变量。因变量包括场景搜索任务的反应时和正确率,完成工作记忆任务的正确率,以及眼动指标中的首

次眼跳潜伏期、注视点数、总注视时间。

真实场景搜索实验中,Rosenholtz 提出采用以特征拥塞(feature congestion,FC)和子带熵(subband entropy,SE)为指标,对图片视觉混乱度进行测量^[13]。研究将 60 名研究对象根据实验需要分为 4 组,每组 15 人(男生 10 人、女生 5 人),分别完成高负荷-普通、高负荷-专业、低负荷-普通、低负荷-专业这 4 种条件下的实验。每一种实验条件下均有 4 种视觉搜索的任务类型:视觉混乱度高(FC、SE 高)-客体工

作记忆、视觉混乱度高(FC、SE高)-空间工作记忆、视觉混乱度低(FC、SE低)-客体工作记忆、视觉混乱度低(FC、SE低)-空间工作记忆。正式实验前有20张练习实验图片(每种任务类型5张),练习结束之后呈现正式实验材料,正式实验中每位被试一共完成120张场景图片(每种任务类型30张),图片的呈现方式和顺序采用ABBA平衡方法。

1.3 实验任务与材料

1.3.1 客体工作记忆任务

客体工作记忆任务开始时,首先呈现不同颜色(红、橙、绿、蓝、紫)、不同形状(正方形、三角形、梯形、圆形)且镶嵌着不同开口方向(朝上、朝下、朝左、朝右)“E”字的图形,大小、规格均统一。低负荷条件下同时呈现2个图形,高负荷条件下同时呈现4个图形,呈现时间均为3 000 ms,被试需要在这一时间中记住图形的所有特征,包括颜色、形状、“E”字开口方向。之后间隔5 000 ms呈现1个图形,让被试判断该图形是否为先前呈现过的图形。

1.3.2 空间工作记忆任务

空间记忆任务开始时,呈现与客体工作记忆一致的图形。所有呈现的搜索项目随机出现在1个4×4的网格节点上,低负荷条件下依然是同时呈现2个图形,高负荷条件下同时呈现4个图形,呈现时间均为3 000 ms,被试需要在这一时间中记住所有呈现图形的具体位置信息。之后间隔5 000 ms,在4×4的网格节点上随机呈现1个图形,让被试判断该图形呈现的位置与先前呈现的位置是否一致。

1.3.3 视觉场景搜索任务

首先呈现目标刺激500 ms,随后间隔和工作记忆任务共4 000 ms,呈现需要搜索的场景图片持续4 000 ms,在这一时间中,让被试按键判断该场景图片中是否有搜索目标。

1.3.4 材料制作

工作记忆任务材料利用Photoshop CS等软件进行制作。场景搜索任务材料为NBA赛事图片210张,对图片视觉混乱度进行测量,筛选出高FC和高SE的图片(FC: 4.26 ± 0.27 ; SE: 3.82 ± 0.25) 70张作为高视觉混乱度组的材料,将低FC和低SE的图片(FC: 3.86 ± 0.29 ; SE: 3.36 ± 0.9) 70张作为低视觉混乱度组的材料。视觉混乱度高和低分组中的图片在指标FC

和SE两方面均具有显著差异($P < 0.001$)。通过筛选,最终获得140张图片(20张练习实验,120张正式实验),在70张(10张练习实验,60张正式实验)高视觉混乱度图片中截取无重复信息的小片段和无关小片段各35张(5张练习实验,30张正式实验),与此对应的是,在低视觉混乱度组截取无重复信息的小片段和无关小片段各35张(5张练习实验,30张正式实验)。所有实验材料采用E-prime 2.0进行编程。

1.4 实验流程

实验前再次向被试详细讲解全部流程。准备就绪后,被试坐于实验台前,视线与屏幕中心平齐,眼睛距屏幕70 cm,下颌置于U型托上,两臂放置于实验台上,待情绪稳定后开始实验。经练习并确定被试已基本掌握整个实验流程后开始正式实验。练习阶段所使用的所有材料均不会出现在正式实验阶段。要求被试在整个实验过程注意力集中,身体姿势稳定,尽量减少眨眼,独立完成全部实验。具体实验流程如下:①呈现指导语,被试阅读并理解后按任意键开始实验。②在电脑屏幕中心呈现黑色注视点“+”,持续时间为500 ms。③呈现4个无意义字母500 ms,要求被试匀速连续不断地出声复述(目的在于排除言语编码对实验的影响^[14])。④500 ms黑屏后呈现目标图片500 ms。⑤500 ms黑屏后呈现镶嵌着“E”字的图形3 000 ms,“E”字图形随机出现在1个4×4的网格节点上。当为客体工作记忆任务时,被试需要记住呈现图形的所有特征;当为空间工作记忆任务时,需要记住图形的具体位置信息。⑥黑屏500 ms,呈现场景图片4 000 ms,被试需要快速按键判断是否为已观察到目标图片。⑦500 ms黑屏后呈现若干“E”字图形1 500 ms,被试按键判断该“E”字图形特征(客体工作记忆)或位置(空间工作记忆)是否与先前出现的一致。按键结束后该次实验结束,进入下一试次实验。

1.5 数据采集与处理

眼动数据由北京飞宇星电子科技有限公司的Hi-speed型眼动记录仪采集。行为数据使用E-prime 2.0软件采集,初步采集后通过E-DataAid对数据进行筛选、合并及预处理,剔除($M \pm 3SD$)以外的极端值,分析被试在视觉场景搜索任务中的反应时、正确率及搜索绩效等。有效数据采用SPSS 23.0软件进行重复测量方差分析,

对不满足球形检验的统计量采用 Greenhouse-Geisser 法校正自由度和 P 值，主效应显著时采用 Bonferroni 法进行事后多重比较，交互作用显著则采用简单效应分析对数据进一步讨论。

2 结果与分析

2.1 不同条件下搜索绩效和眼动数据的描述统计

表 2 高负荷客体工作记忆-视觉场景搜索任务数据统计表

指标	高 FC、SE		低 FC、SE	
	专业	普通	专业	普通
反应时/ms	1 287.33±97.32	1 590.07±165.14	1 256.40±124.65	1 333.73±131.47
正确率/%	0.79±0.04	0.75±0.03	0.80±0.04	0.77±0.04
首次眼跳潜伏期/ms	360.80±11.55	371.47±19.74	358.00±19.67	368.47±17.57
注视点数/ms	3.80±0.86	5.27±1.16	3.67±0.72	4.60±0.91
总注视时间/ms	1 238.60±141.17	1 500.07±178.09	1 192.67±100.09	1 447.13±109.72
RT/FC	298.61±32.43	366.19±41.08	336.79±40.88	344.72±46.41
RT/SE	329.08±40.52	413.34±43.49	377.84±42.11	394.15±44.85

表 3 低负荷客体工作记忆-视觉场景搜索任务数据统计表

指标	高 FC、SE		低 FC、SE	
	专业	普通	专业	普通
反应时/ms	1 094.67±112.34	1 399.67±173.94	1 022.73±93.26	1 234.47±113.99
正确率/%	0.83±0.04	0.77±0.03	0.85±0.04	0.78±0.04
首次眼跳潜伏期/ms	347.13±17.38	366.33±20.90	339.93±10.04	335.60±13.43
注视点数/ms	3.67±0.72	4.87±0.92	3.07±0.70	4.33±0.98
总注视时间/ms	1 052.93±58.85	1 441.47±107.70	926.60±90.93	1 175.07±92.50
RT/FC	264.88±32.89	321.32±47.89	264.88±30.70	331.79±41.08
RT/SE	293.03±42.61	359.89±53.04	307.62±37.27	381.93±35.01

表 4 高负荷空间工作记忆-视觉场景搜索任务数据统计表

指标	高 FC、SE		低 FC、SE	
	专业	普通	专业	普通
反应时/ms	1 351.13±160.01	1 713.67±193.46	1 342.53±119.48	1 444.33±117.81
正确率/%	0.76±0.04	0.73±0.04	0.82±0.05	0.76±0.04
首次眼跳潜伏期/ms	362.93±20.33	373.67±14.75	360.47±23.89	372.87±17.11
注视点数/ms	4.13±0.92	5.00±1.13	3.87±0.64	4.80±0.77
总注视时间/ms	1 300.60±161.22	1 600.87±191.86	1 256.60±93.40	1 490.40±119.19
RT/FC	327.02±43.65	393.09±53.04	359.22±34.22	372.59±40.08
RT/SE	359.34±44.44	440.49±61.62	405.06±52.85	427.49±49.26

表 5 低负荷空间工作记忆-视觉场景搜索任务数据统计表

指标	高 FC、SE		低 FC、SE	
	专业	普通	专业	普通
反应时/ms	1 178.53±121.57	1 445.53±156.81	1 078.00±150.74	1 294.33±104.98
正确率/%	0.82±0.04	0.76±0.04	0.84±0.04	0.82±0.57
首次眼跳潜伏期/ms	350.40±14.93	369.47±14.19	338.67±8.29	352.47±7.90
注视点数/ms	3.80±0.68	5.00±1.07	3.27±0.80	4.73±1.03
总注视时间/ms	1 103.53±100.20	1 476.53±133.19	1 001.13±150.47	1 197.20±127.39
RT/FC	285.41±37.75	373.28±59.14	298.78±33.06	333.16±38.95
RT/SE	314.77±39.45	370.92±43.59	326.27±61.65	383.71±33.04

2.2 场景搜索任务的反应时间

由表 6 可知，各种实验条件下被试主效应显著，普通组反应时大于专业组。在高混乱度客体和空间工作记忆搜索任务中，负荷主效应显著，被试在高负荷下反应时更长，被试与负荷的交互效应不显著。在低混乱度-客体工作记忆搜索任务中，负荷主效应显著，被试在高负荷高反应时更长，被试与负荷交互效应显著。经过简单效应分析，普通组和专业组在高负荷下反应时均显著高于低负荷（ $P = 0.02 < 0.05$ ， $P = 0.00 < 0.05$ ）。在低混乱度-空间工作记忆搜索任务中，负荷主效应显著，被试在高负荷下反应时更长，被试与负荷的交互作用不显著。

表 6 被试搜索任务反应时的方差分析结果

条件	主效应和交互效应	<i>F</i>	<i>P</i>	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	69.585	0.000***	0.554
	负荷	27.646	0.000***	0.331
	被试×负荷	0.001	0.925	0.000
高混乱度- 空间工作记忆	被试	58.055	0.000***	0.509
	负荷	28.455	0.000***	0.337
	被试×负荷	1.337	0.252	0.023
低混乱度- 客体工作记忆	被试	22.993	0.000***	0.291
	负荷	30.501	0.000***	0.353
	被试×负荷	4.970	0.03 *	0.082
低混乱度- 空间工作记忆	被试	24.526	0.000***	0.305
	负荷	41.641	0.000***	0.426
	被试×负荷	3.179	0.08	0.054

注：* 表示 $P < 0.05$ ；** 表示 $P < 0.01$ ；*** 表示 $P < 0.001$ ，下同。

经配对样本 t 检验，在高混乱度下，被试客体与空间工作记忆搜索任务的反应时差异显著 $t = -3.10$ ， $P = 0.003 < 0.01$ ；在低混乱度下，反应时差异同样显著 $t = -4.00$ ， $P = 0.00 < 0.05$ 。在客体工作记忆搜索任务中，被试高混乱度和低混乱度下的反应时差异显著 $t = 4.78$ ， $P = 0.00 < 0.05$ ；在空间工作记忆搜索任务中，反应时差异同样显著 $t = 4.65$ ， $P = 0.00 < 0.05$ 。

2.3 场景搜索任务的正确率

由表 7 可知，各种实验条件下被试主效应显著，专业组正确率高于普通组；负荷主效应显著，被试在低负荷下正确率更高。只有在低混乱度-客体工作记忆搜索任务中，被试与负荷呈现出显著的交互效应， $F_{(1,56)} = 6.28$ ， $P = 0.02 <$

0.05 ， $\eta_p^2 = 0.10$ 。经简单效应分析，普通组在高负荷下虽然正确率更低，但差异不显著（ $P = 0.75 > 0.05$ ）；专业组在高负荷下的正确率显著低于低负荷（ $P = 0.00 < 0.05$ ）。经配对样本 t 检验，在高混乱度下，被试客体与空间工作记忆搜索任务的正确率差异显著 $t = 2.83$ ， $P = 0.006 < 0.05$ ；在低混乱度下，正确率差异不显著 $t = -0.78$ ， $P = 0.44 > 0.05$ 。在客体工作记忆搜索任务中，被试高混乱度和低混乱度下的搜索正确率差异显著 $t = -2.18$ ， $P = 0.03 < 0.05$ ；在空间工作记忆搜索任务中，正确率差异同样显著 $t = -4.66$ ， $P = 0.00 < 0.05$ 。

表 7 被试搜索任务正确率的方差分析结果

条件	主效应和交互效应	<i>F</i>	<i>P</i>	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	28.194	0.000***	0.335
	负荷	9.795	0.003**	0.149
	被试×负荷	0.545	0.463	0.010
高混乱度- 空间工作记忆	被试	15.390	0.000***	0.216
	负荷	19.224	0.000***	0.256
	被试×负荷	1.653	0.204	0.029
低混乱度- 客体工作记忆	被试	21.665	0.000***	0.279
	负荷	8.774	0.004**	0.135
	被试×负荷	6.282	0.015 *	0.101
低混乱度- 空间工作记忆	被试	11.472	0.001**	0.170
	负荷	10.760	0.002**	0.161
	被试×负荷	2.476	0.121	0.042

2.4 场景搜索任务的眼动指标

2.4.1 首次眼跳潜伏期

表 8 被试搜索任务首次眼跳潜伏期的方差分析结果

条件	主效应和交互效应	<i>F</i>	<i>P</i>	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	10.602	0.002**	0.159
	负荷	4.201	0.045 *	0.070
	被试×负荷	0.865	0.356	0.015
高混乱度- 空间工作记忆	被试	12.627	0.001**	0.184
	负荷	3.981	0.051	0.066
	被试×负荷	0.987	0.335	0.017
低混乱度- 客体工作记忆	被试	10.485	0.002**	0.158
	负荷	14.691	0.004**	0.208
	被试×负荷	0.415	0.522	0.007
低混乱度- 空间工作记忆	被试	10.354	0.002**	0.156
	负荷	26.861	0.000***	0.324
	被试×负荷	0.030	0.864	0.007

由表 8 可知, 各实验条件下被试主效应显著, 普通组首次眼跳潜伏期比专业组长, 且被试与负荷的交互效应不显著。在高混乱度-客体工作记忆和低混乱度-客体、空间工作记忆搜索任务中, 负荷主效应显著, 被试在高负荷下首次眼跳潜伏期更长。在高混乱度-空间工作记忆搜索任务中, 负荷主效应边缘显著, 被试在高负荷下首次眼跳潜伏期更长, 被试与负荷的交互效应不显著。经配对样本 t 检验, 在高混乱度下, 被试客体与空间工作记忆搜索任务的首次眼跳潜伏期差异不显著 $t = -0.91$, $P = 0.37 > 0.05$; 在低混乱度下, 差异同样不显著 $t = -0.20$, $P = 0.84 > 0.05$ 。在客体工作记忆搜索任务中, 被试高混乱度和低混乱度下的首次眼跳潜伏期差异不显著 $t = 1.84$, $P = 0.07 > 0.05$; 在空间工作记忆搜索任务中, 二者差异却显著 $t = 2.48$, $P = 0.00 < 0.05$ 。

2.4.2 注视点数

表 9 被试搜索任务注视点数的方差分析结果

条件	主效应和交互效应	F	P	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	30.854	0.000***	0.355
	负荷	1.234	0.271	0.022
	被试 $\times$ 负荷	0.309	0.581	0.005
高混乱度- 空间工作记忆	被试	17.205	0.000***	0.235
	负荷	0.448	0.506	0.008
	被试 $\times$ 负荷	0.448	0.506	0.008
低混乱度- 客体工作记忆	被试	25.929	0.000***	0.316
	负荷	4.024	0.050	0.067
	被试 $\times$ 负荷	0.595	0.444	0.011
低混乱度- 空间工作记忆	被试	31.832	0.000***	0.362
	负荷	2.456	0.123	0.042
	被试 $\times$ 负荷	1.572	0.215	0.027

由表 9 可知, 各实验条件下被试主效应显著, 普通组注视点数多于专业组, 负荷主效应不显著, 被试与负荷交互效应不显著。经配对样本 t 检验, 在高混乱度下, 被试客体与空间工作记忆搜索任务的注视点数差异不显著 $t = -0.51$, $P = 0.62 > 0.05$; 在低混乱度下, 二者差异同样不显著 $t = -1.69$, $P = 0.09 > 0.05$ 。在客体工作记忆搜索任务中, 被试高混乱度和低混乱度下的注视点数差异显著 $t = 3.12$, $P = 0.003 < 0.01$; 在空间工作记忆搜索任务中, 二者差异却不显著 $t = 1.84$, $P = 0.07 > 0.05$ 。

2.4.3 总注视时间

由表 10 可知, 各实验条件下被试主效应显著, 普通组总注视时间大于专业组; 负荷主效应显著, 被试在高负荷下总注视时间更长。在高混乱度-客体工作记忆搜索任务中, 被试与负荷交互效应边缘显著。其他条件下, 被试与负荷交互效应不显著。经配对样本 t 检验, 在高混乱度下, 被试客体与空间工作记忆搜索任务的总注视时间差异显著 $t = -2.81$, $P = 0.01 < 0.05$; 在低混乱度下, 二者差异同样显著 $t = -2.53$, $P = 0.01 < 0.05$ 。在客体工作记忆搜索任务中, 被试高混乱度和低混乱度下的总注视时间差异显著 $t = 5.48$, $P = 0.00 < 0.05$; 在空间工作记忆搜索任务中, 二者差异也同样显著 $t = 4.48$, $P = 0.00 < 0.05$ 。

表 10 被试搜索任务总注视时间的方差分析结果

条件	主效应和交互效应	F	P	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	95.006	0.000***	0.573
	负荷	13.417	0.001**	0.193
	被试 $\times$ 负荷	3.631	0.062	0.011
高混乱度- 空间工作记忆	被试	75.064	0.000***	0.573
	负荷	17.106	0.000***	0.234
	被试 $\times$ 负荷	0.876	0.353	0.015
低混乱度- 客体工作记忆	被试	97.586	0.000***	0.635
	负荷	111.724	0.000***	0.666
	被试 $\times$ 负荷	0.014	0.907	0.000
低混乱度- 空间工作记忆	被试	44.850	0.000***	0.445
	负荷	73.065	0.000***	0.566
	被试 $\times$ 负荷	0.346	0.559	0.006

2.5 场景搜索任务的搜索效率

研究中使用的混乱度指标为 FC、SE, 因此相对应的搜索效率指标分别为 RT/FC、RT/SE。

2.5.1 搜索效率: RT/FC

由表 11 可知, 各实验条件下被试主效应显著, 专业组搜索效率高于普通组; 负荷主效应显著, 被试在低负荷低下搜索效率更高。仅在低混乱度-客体工作记忆搜索任务中, 被试与负荷交互效应显著。经简单效应分析, 普通组在高负荷下搜索效率低于低负荷, 但差异不显著 ($P = 0.41 > 0.05$), 专业组在高负荷下搜索效率显著低于低负荷 ($P = 0.00 < 0.05$)。经配对样本 t 检验, 在高混乱度下, 被试客体与空间工作记忆

搜索任务的搜索效率差异显著 $t = -4.38$, $P = 0.00 < 0.05$; 在低混乱度下, 二者差异同样显著 $t = -4.39$, $P = 0.00 < 0.05$ 。在客体工作记忆搜索任务中, 被试高混乱度和低混乱度下的搜索效率差异不显著 $t = -0.94$, $P = 0.35 > 0.05$; 在空间工作记忆搜索任务中, 二者差异也不显著 $t = 0.47$, $P = 0.64 > 0.05$ 。

表 11 被试搜索任务搜索效率 RT/FC 方差分析结果

条件	主效应和交互效应	F	P	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	37.734	0.000***	0.403
	负荷	15.155	0.000***	0.213
	被试 $\times$ 负荷	0.305	0.583	0.005
高混乱度- 空间工作记忆	被试	36.865	0.000***	0.397
	负荷	5.871	0.019*	0.095
	被试 $\times$ 负荷	0.739	0.394	0.013
低混乱度- 客体工作记忆	被试	13.016	0.001**	0.189
	负荷	16.727	0.000***	0.230
	被试 $\times$ 负荷	8.085	0.006**	0.126
低混乱度- 空间工作记忆	被试	6.346	0.015*	0.102
	负荷	27.764	0.000***	0.331
	被试 $\times$ 负荷	1.229	0.272	0.021

2.5.2 搜索效率: RT/SE

表 12 被试搜索任务搜索效率 RT/SE 方差分析结果

条件	主效应和交互效应	F	P	η_p^2
高混乱度- 客体工作记忆	被试	41.973	0.000***	0.403
	负荷	14.729	0.000***	0.208
	被试 $\times$ 负荷	0.556	0.459	0.010
高混乱度- 空间工作记忆	被试	30.644	0.000***	0.354
	负荷	21.178	0.000***	0.095
	被试 $\times$ 负荷	1.016	0.318	0.018
低混乱度- 客体工作记忆	被试	19.247	0.000***	0.256
	负荷	15.931	0.000***	0.221
	被试 $\times$ 负荷	7.884	0.007**	0.123
低混乱度- 空间工作记忆	被试	9.463	0.003**	0.145
	负荷	22.288	0.000***	0.285
	被试 $\times$ 负荷	1.818	0.183	0.031

由表 12 可知, 各实验条件下被试主效应显著, 专业组搜索效率高于普通组; 负荷主效应显著, 被试在低负荷下搜索效率更高。只有在低混乱度-客体工作记忆搜索任务中, 被试与负荷呈现出显著的交互效应。经简单效应分析, 普通组在高负荷下搜索效率低于低负荷, 但差异不显著

($P = 0.38 > 0.05$), 专业组在高负荷下搜索效率显著低于低负荷 ($P = 0.00 < 0.05$)。经配对样本 t 检验, 在高混乱度下, 被试客体与空间工作记忆搜索任务的搜索效率差异显著 $t = -3.20$, $P = 0.002 < 0.01$; 在低混乱度下, 二者差异同样显著 $t = -3.44$, $P = 0.001 < 0.01$ 。在客体工作记忆搜索任务中, 被试高混乱度和低混乱度下的搜索效率差异不显著 $t = -1.98$, $P = 0.06 > 0.05$; 在空间工作记忆搜索任务中, 二者差异同样不显著 $t = -1.490$, $P = 0.142 > 0.05$ 。

3 研究分析

3.1 结论

不同负荷下视空工作记忆对篮球运动员赛场注意捕获的影响主要表现在: ①专业组在任何搜索任务下的成绩和效率都高于普通组; ②在客体与空间工作记忆搜索任务中, 高低混乱度下的搜索效率差异均不显著, 低混乱度下的搜索成绩显著优于高混乱度; ③在高混乱度下, 被试客体工作记忆搜索任务的成绩和效率优于空间工作记忆; 在低混乱度下, 被试客体工作记忆搜索任务的成绩与空间工作记忆差异不显著, 但客体工作记忆的效率显著高于空间工作记忆。

3.2 讨论

3.2.1 篮球运动员不同任务的行为特征

上述实验结果显示, 专业组在各任务中的视觉搜索效率都显著高于普通组, 专业组反应时间短、正确率高。专业组被试为篮球专项二级及以上运动员, 有相对丰富的理论知识和专项技能训练经验, 知觉的敏锐性更高, 这种专项技能一定程度会迁移到相关任务的判断与执行过程中, 有助于快速对信息进行分类加工和判断。而普通组被试为大学公共体育课学生, 没有接受过专业训练, 仅体育课的学习不足以培养全面的篮球专项技能, 大脑中储存的相关信息较少, 需要运用较长时间来调取、分析、判断信息, 影响了对任务判断的速度和准确性。

3.2.2 篮球运动员不同任务的眼动特征

人的视觉系统时刻在输入大量信息, 但获得进一步加工的信息只是少数。注意被分配给任务相关的位置或客体, 可能会主动从中选择一些信息进行加工, 也可能无意识地、自动地被一些刺激吸引。眼动技术为了解感觉信息的输入、即时的注意甚至是知识经验的影响, 提供了可量化

的信息^[15]。

篮球运动赛场场景复杂,球员的心理活动亦非常复杂,不同水平选手在场景知觉中的眼动特征也不尽相同。首次眼跳潜伏期、注视点数、总注视时间这几个关键性指标能反映专业组和普通组认知加工策略的差异。Scott等^[16]通过眼跳实现对场景中有兴趣的信息进行定位,并在视网膜上建立起与场景相对应的拓扑结构的眼跳地图,进而快速获得场景整体信息。当目标画面呈现时,被试通过一个或多个心理加工过程,以确定注视的可能位置,这个过程决定了首次眼跳发生的时间,反映为被试获取场景信息并做出眼跳决策的时长。本研究显示,低负荷下被试捕获成绩和效率都高于高负荷,高负荷下被试的首次眼跳潜伏期、总注视时间长于低负荷。且普通组的首次眼跳潜伏期显著长于专业组。原因是,随着工作记忆负荷增加,被试对于无关信息的注意捕获程度也会增加,注意捕获受到认知控制调节。当工作记忆的负荷发生变化时,无关信息所引起的注意捕获效应也会发生改变。当工作记忆负荷升高时,无关信息的注意捕获的效应也会增大,进而干扰了对于关键信息的捕获,导致视觉搜索的反应时增加和搜索效率下降。专业组在视觉搜索前期就能集中在有效信息区域,而普通组则需要较长的心理加工过程才能定位到有效线索。因此,首次眼跳潜伏期也能反映不同水平运动员的信息加工速度。通常认为,较高的工作记忆负荷将占用被试更多的注意资源,当负荷增高时,被试为有效完成任务,其有限的注意资源会发生调整,这也是信息返回抑制的过程,反应时间不可避免会延长。因此被试在负荷高时,搜索任务的正确率和搜索效率都会降低^[17]。

总注视时间是场景知觉研究中的一个重要指标,可以反映认知困难程度^[18]。由眼动实验各指标数据可知,专业组和普通组的注意选择方式不同,可能是因为专业组积累了更多比赛经验,关键时刻能够快速与已存储的认知模板相匹配,对赛场情境的变化做出精确的预判。专业组对赛场信息的关注点与普通组不同,更关注对比赛进程产生决定性影响的信息,同时不易被无关信息干扰,对于信息的处理和理解也更迅速和精确。而普通组专项认知度较低,难以将注意指向包括先行视觉信息在内的比赛关键信息,从而影响了视觉搜索速度。崔运坤等^[18]研究认为,选择性

注意和意识是影响知觉学习效果的两个因素,视觉既是选择性注意形成的重要途径,又是促进运动员有意识进行动作执行的有效手段^[19]。多项研究指出,专业运动员可以利用较早的视觉线索和高效率的视觉搜索策略,更精准地预测对手的行为意图;专业训练可以提高专业运动员对关键信息的敏感性和知觉分化水平,对动态刺激的警觉性更高;可以在复杂的运动背景下迅捷精准地觉察出关键信息^[20-21]。本研究的结果与此一致。

大量研究对专业运动员和普通运动员之间的差异进行关注,并引发专业优势是由于专业运动员具有更好的视觉物理系统还是有更高的感知信息加工能力的争论。付全等^[22]通过比较不同水平篮球运动员在有无线索条件下和不同视野范围内进行视觉搜索后发现,专业组与普通组相比,视觉搜索正确率更高,速度优势较为明显。王丽岩等^[23]发现,在立体视觉成像条件下,专业运动员通常采用视觉搜索频率快、注视轨迹更为集中、注视次数较少的视觉搜索模式。张海斌等^[24]通过实验探索不同水平排球运动员在扣球预判过程中的视觉搜索特征,发现专业运动员将有限的注意资源集中于关键信息,避免了无效信息的干扰,提高了资源利用率。解缤等^[25]通过比较不同水平羽毛球运动员的注视时间发现,专业运动员能够利用诸如模式识别、情景概率等方面的知觉认知优势有效引导视觉搜索,在较短的时间内关注到关键信息部位,而普通运动员需要使用较多的注视次数。

在空间工作记忆搜索任务中,被试高混乱度下的首次眼跳潜伏期、总注视时间长于低混乱度,说明被试在高混乱度下搜索画面中的目标场景做出眼跳决策的难度更高。在客体工作记忆搜索任务中,被试在高混乱度下的注视点数、总注视时间均高于低混乱度,说明被试在高混乱度下需要更多的注视次数才能锁定目标,且搜索过程需要花费更多的时间。本研究结果显示,无论在空间还是客体工作记忆搜索任务中,高混乱度下的搜索成绩均低于低混乱度,这与已有研究结果一致^[7]。但高混乱度与低混乱度下的搜索效率差异不显著。根据前人研究推测可能的原因,首先,场景图片任务的判断时间为4 000 ms,被试必须在规定时间内找到场景中的目标图片并做出反应,否则实验程序会自动跳到下一刺激画面,这

让被试产生一定的时间压力。高混乱度情景让被试产生了更高的时间压力,从而提升搜索效率,导致高低混乱度下的搜索效率差异不显著。其次,被试在高低混乱度下的搜索注意资源的分配存在差异,在高混乱度下,被试分配较多的注意资源到搜索任务,分配较少的注意资源到记忆任务,而在低混乱度下则相反,导致被试在高低混乱度下的搜索效率差异不显著。

前人研究结果显示,空间工作记忆负载和客体工作记忆负载都会影响传统视觉搜索任务成绩。也有研究显示,与无负载条件相比,空间工作记忆负载下传统视觉搜索任务的效率明显降低,而客体工作记忆负载则不会^[26]。本研究发现,在高混乱度下,被试客体工作记忆搜索任务的成绩和效率均优于空间工作记忆;在低混乱度下,被试客体工作记忆搜索任务的成绩与空间工作记忆差异不显著,但客体工作记忆搜索任务的效率显著优于空间工作记忆。结合眼动过程,无论混乱度高低,被试空间和客体工作记忆搜索任务下赛场注意捕获中首次眼跳潜伏期、注视点数差异不显著,总注视时间差异显著,但总注视时间差异并不影响搜索效率。可能的原因有:客体工作记忆激活了左顶后皮层布鲁德曼40区、左前运动区、左侧颞叶下部;而空间工作记忆激活了包括右枕前皮层、右前运动区、右顶后皮层在内的大脑右半球部分脑区,客体与空间工作记忆在生理结构方面存在半球不对称性^[27]。

值得注意的是,在低混乱度-客体工作记忆搜索任务中,在搜索成绩和搜索效率的各指标下,被试与负荷的交互效应均显著,且专业组低负荷下的搜索成绩、搜索效率均优于高负荷,而普通组在高低负荷下的搜索成绩和搜索效率差异不显著。可能在低负荷下,任务难度已经超过了普通组的能力,当负荷提高后,普通组的搜索成绩和效率也不会过多发生改变,这值得进一步探讨。

3.2.3 研究局限

受客观条件限制,本研究主要存在以下局限:①研究被试样本量较少,今后应继续做跟踪性、拓展性研究,进一步契合篮球训练的实践需要。②后续研究中可借助更多先进实验手段,如功能磁共振成像(fMRI)等技术,深入发掘视空工作记忆及不同负荷、视觉混乱度对篮球运动员赛场注意捕获的影响机制。

参考文献:

- [1] NAKAYAMA K, MARTINI P. Situating visual search[J]. *Vision Research*, 2011, 51(13):1526.
- [2] ANDERSON D E, VOGEL E K, AWH E. A common discrete resource for visual working memory and visual search[J]. *Psychological Science*, 2013, 24(6):929.
- [3] BADDELEY A. Working memory: theories, models, and controversies[J]. *Annual Review of Psychology*, 2012, 63(1):1.
- [4] ROSENHOLTZ R, LI Y, NAKANO L. Measuring visual clutter[J]. *Journal of Vision*, 2007, 7(2):17.
- [5] 周成林,赵洪朋,张怡. 运动领域中的认知神经心理学研究进展[J]. *天津体育学院学报*, 2012, 27(3):197.
- [6] NEIDER M B, ZELINSKY G J. Exploring the perceptual causes of search set-size effects in complex scenes[J]. *Perception*, 2010, 39(6):780.
- [7] TREISMAN A M, GELADE G. A feature-integration theory of attention[J]. *Cognitive Psychology*, 1980, 12(1):97.
- [8] 罗良,林崇德,陈枕. 注意次级任务对客体与空间工作记忆信息保持的选择性干扰[J]. *心理发展与教育*, 2010, 26(6):561.
- [9] MAYER J S, BITTNER R A, NIKOLIĆ D, et al. Common neural substrates for visual working memory and attention[J]. *Neuroimage*, 2007, 36(2):441.
- [10] HENDERSON J M, CHANCEAUX M, SMITH T J. The influence of clutter on real-world scene search: evidence from search efficiency and eye movements[J]. *Journal of Vision*, 2009, 9(1):32.
- [11] 张怡,周成林. 网球运动员技术动作预判能力的视觉信息加工策略研究[J]. *天津体育学院学报*, 2014, 29(6):467.
- [12] AWH E, JONIDES J, REUTER-LORENZ P A. Rehearsal in spatial working memory[J]. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance*, 1998, 24(3):780.
- [13] 任衍具,孙琪. 视空工作记忆负载对真实场景搜索绩效的影响[J]. *心理学报*, 2014, 46(11):1613.
- [14] AWH E, VOGEL E K, OH S H. Interactions between attention and working memory[J]. *Neuroscience*, 2006, 139(1):201.
- [15] FRANĚK M, ŠEFARA D, PETRUŽÁLEK J, et al. Differences in eye movements while viewing images with various levels of restorativeness[J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2018, 57:10.
- [16] SCOTT N, ZHANG R, LE D, et al. A review of eye-tracking research in tourism[J]. *Current Issues in Tourism*, 2019, 22(10):1244.

- [17] 年青,柴娇. 篮球运动员客体工作记忆对场景搜索任务的影响机制[J]. 沈阳体育学院学报,2016,35(2):118.
- [18] GOLLER J, MITROVIC A, LEDER H. Effects of liking on visual attention in faces and paintings[J]. Acta Psychologica, 2019, 197: 115.
- [19] 崔运坤,张英波. 视觉-距离知觉信息整合对跳远起跳踏板技能习得的影响[J]. 北京体育大学学报, 2018, 41(3): 103.
- [20] 吴璇,陈旭,刘尚礼. 跆拳道运动员在动态威胁情景下的视觉搜索优势:来自 ERP 的证据[J]. 北京体育大学学报,2017,40(9):60.
- [21] 张怡,周成林. 专业网球选手不同时机判断击球落点的行为特征:来自 ERP 的证据[J]. 北京体育大学学报,2013,36(4):82.
- [22] 付全,冯丽伟. 篮球运动员不同视野范围的视觉搜索优势及眼动特征[J]. 首都体育学院学报,2014,26(4):371.
- [23] 王丽岩,李安民,臧徐州. 不同视觉条件下乒乓球运动员发球视觉搜索特征的比较研究[J]. 沈阳体育学院学报,2012,31(5):59.
- [24] 张海斌,孟献峰,张松奎,等. 不同水平排球运动员在扣球情境任务中视觉搜索特征的试验研究[J]. 天津体育学院学报,2018,33(3):243.
- [25] 解缤,于新彦. 不同水平羽毛球运动员后场球落点判断过程直觉性决策的眼动特征分析[J]. 西安体育学院学报,2014,21(6):735.
- [26] SOLMAN G J F, CHEYNE J A, SMILEK D. Memory load affects visual search processes without influencing search efficiency[J]. Vision Research, 2011, 51(10): 1185.
- [27] SMITH E E, JONIDES J. Working memory: a view from neuro imaging[J]. Cognitive Psychology, 1997, 33(1):5.

A Study on Eye Movement of Basketball Player's Attention Capture under Visuo-spatial Working Memory

KANG Pengfei

(Ministry of sports, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210003, China)

Abstract: *Objectives:* To study the effects of visuospatial working memory, different loads, and visual confusion on the attention capture of basketball players. *Methods:* 30 national second-level and above basketball players and 30 members of basketball interest classes in public physical education classes are selected. A mixed experimental design of 2 (high load / low load) $\times$ 2 (general group / professional group) $\times$ 2 (object working memory / spatial working memory) $\times$ 2 (high visual confusion/ low visual confusion) is adopted. *Results:* The performance and efficiency of the professional group in any search task are significantly higher than those of the ordinary group; under low load, the performance and efficiency of field capture are significantly better than those under high load; in the object and spatial working memory search tasks, the search performance under low confusion was significantly better than that under high confusion; under high confusion, the performance and efficiency of the object working memory search task are significantly higher than that of the spatial working memory; under low confusion, the efficiency of working memory search task was significantly higher than that of spatial working memory. *Conclusions:* Different visuospatial working memory will have an impact on the attention capture effect of basketball players on the field, and high load will reduce the players' performance on the field; the level of confusion affects the search results of athletes but does not affect the search efficiency; when the degree of confusion is high, the spatial working memory load has a greater impact on the performance of the athletes; when the degree of confusion is low, the spatial working memory load and the object working memory load will only lead to the difference in the search efficiency of the subjects.

Key words: object working memory; spatial working memory; visual search; attention capture