



# 足球运动员进攻战术预判决策的视觉搜索特征: 空间工作记忆容量的影响

## Visual Search Characteristics of Football Players in the Context of Offensive Tactical Pre-judgment Decision-Making: Effect of Spatial Working Memory Capacity

史鹏<sup>1\*</sup>, 王国动<sup>2</sup>, 魏征<sup>2</sup>, 孙金月<sup>1</sup>, 章冬杨<sup>2</sup>, 张铎耀<sup>2</sup>  
SHI Peng<sup>1\*</sup>, WANG Guodong<sup>2</sup>, WEI Zheng<sup>2</sup>, SUN Jinyue<sup>1</sup>,  
ZHANG Dongyang<sup>2</sup>, ZHANG Duoyao<sup>2</sup>

**摘要:**目的:探讨高水平运动员进攻战术预判决策的视觉搜索特征和空间工作记忆(spatial working memory, SWM)容量的影响。方法:共选取27名被试,采用2(运动水平:专家组、新手组)×2(SWM容量:高容量组、低容量组)双因素实验设计,以回忆报告范式测量被试SWM容量,以还原拍摄的“3 v 2”真实比赛录像视频为战术决策任务材料,采用Dikablis Professional头戴式眼动仪,配合D-Lab 3.0、SPSS 25.0、GraphPad Prism 8软件进行数据采集、处理、统计分析和绘图。结果:1)专家组战术决策更敏捷、合理( $P<0.01$ ),原因是专家组多采用“大眼跳、注视集中”的经验驱动搜索策略,有较高的特征提取和模式匹配能力。2)高容量组战术决策的敏捷性显著低于低容量组( $P<0.01$ ),SWM容量影响专家组进攻战术预判决策的视觉搜索特征,高容量专家组采用“小眼跳、注视集中”的刺激驱动与经验驱动相结合的视觉搜索策略,在空当( $P<0.05$ )和近端防守球员( $P<0.01$ )AOI投入较多的注视次数,在空当AOI投入较长的注视时间( $P<0.05$ ),深度提取关键信息以选择最优决策;低容量专家组采用大幅度眼跳的经验驱动视觉搜索策略,在上述AOI上表现为更少的注视次数和更短的注视时间,筛选出关键信息后并维持注视追踪。结论:专家组有更高的战术决策绩效和更有效的视觉搜索策略,SWM容量影响足球运动员进攻战术决策的视觉搜索特征,且高容量组战术决策敏捷性较低。

**关键词:**进攻战术;预判决策;视觉搜索;空间工作记忆;足球

**Abstract:** Objective: To explore the visual search characteristics of high-level athletes' offensive tactical pre-judgment decision and the effect of spatial working memory (SWM) capacity. Methods: A total of 27 subjects were selected. The experiment was carried out using a two-factor experimental design with 2 (exercise levels: Expert group, novice group) × 2 (SWM capacities: High-capacity group, low-capacity group). The SWM capacity of the subjects was measured in the form of recall report, and the tactical decision-making task material was the video restored from the “3 v 2” real game video. Dikablis Professional head-mounted eye tracker was used in conjunction with D-lab 3.0, SPSS 25.0, and GraphPad Prism 8 software for data acquisition, processing, statistical analysis and drawing. Results: 1) The tactical decision-making of the expert group was more agile and reasonable ( $P<0.01$ ), because the experience-driven search strategy of “big saccade and gaze concentration” was mostly adopted, and it had higher feature extraction and pattern matching capabilities. 2) The agility of tactical decision-making in the high-capacity group was lower than that in the low-capacity group ( $P<0.01$ ). The SWM capacity effected the visual search feature of football offensive tactical pre-judgment decisions. The high-capacity expert group adopts a visual search strategy combining stimulus-driven and experience-driven approaches such as “small saccade and focused gaze”. In the empty space ( $P<$

### \*通信作者简介:

史鹏(1996-),男,在读博士研究生,主要研究方向为运动决策的信息加工及眼动行为训练,E-mail:1658585524@qq.com。

### 作者单位:

1. 上海体育学院,上海 200438;
2. 辽宁师范大学,辽宁 大连 116029
1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;
2. Liaoning Normal University, Dalian 116029, China.

0.05) and near-end defense players ( $P < 0.01$ ), the AOI invests more fixation counts, and in the empty space, the AOI invests more fixation duration ( $P < 0.05$ ) to deeply extract key information to select the optimal decision. The low-capacity expert group adopts an experiential driven visual search strategy, which exhibited fewer fixation counts and shorter fixation duration ( $P < 0.05$ ) on the AOI mentioned above. After selecting key information, it maintained the implementation of fixation tracking. Conclusions: The expert group has higher tactical decision-making performance and more effective visual search strategy. SWM capacity effects the visual search characteristics of football players' offensive tactical decision-making, and the high-capacity group has lower tactical decision-making agility.

**Keywords:** offensive tactics; predictive decision-making; visual search; spatial working memory; football

**中图分类号:** G804.8 **文献标识码:** A

现代足球竞赛身体对抗日趋激烈,攻守转换速度加快(李春阳等,2021),这要求足球运动员拥有超强的战术意识以应对瞬息万变的场景。战术意识是以战术知识和专项经验为基础形成的心智活动(黄竹杭,2008),较高的战术意识在比赛中体现为观察决策的有效性和技能选择的合理性(部义峰,2021)。因此,视觉搜索在战术意识中发挥重要作用,并决定了运动员的信息筛选和行为决策。高水平足球运动员发挥高效战术决策的前提是其有效的选择性注意加工策略,这种策略使运动员能够通过更广泛的视野从竞赛场景获取更有效的信息,从而与环境刺激相互联系诱发更灵活的决策(王洪彪,2013;Rocal et al.,2018)。工作记忆(working memory, WM)和选择性注意是知觉和行动间动态交互作用中2个重要的认知系统(张明等,2012)。WM在执行任务过程中是用于信息暂时性存储和加工的资源有限系统(Ma et al.,2014),选择性注意是对外界信息进行筛选以确保有限认知资源得以高效运行的系统(Quigley et al.,2014),WM会促使个体对WM表征的信息或与信息有关的特征投入更多的注意(龙芳芳等,2019;王洪彪,2013;Conway et al.,2007)。因此,WM在运动员视觉搜索过程中发挥重要作用。

视觉工作记忆(visual working memory)作为WM多组分模型的重要组成部分,可以实现对客体 and 空间信息的暂时性存储和加工(李华庆等,2019;Klauer et al.,2004)。其中,对图案、形状等客体信息进行暂时性存储和加工的系统称为客体工作记忆(object working memory, OWM),主要执行“what”功能;对位置、方向等空间信息进行暂时性存储与加工的系统称为空间工作记忆(spatial working memory, SWM),主要执行“where”功能(李华庆等,2019;Anderson et al.,2011)。运动员在足球竞赛中做出合理有效的决策,需要对场上复杂多变的信息进行存储加工,并通过与已有运动图式建立联系诱发选择性注意、提取关键信息(吕中凡等,2020),这一过程中SWM容量起非常重要的作用。目前,SWM容量与运动员认知加工的相关研究主要集中于探讨SWM容量对运动员预判决策的影响,根据SWM容量将被试划分为高容量和低容量2类,比

较二者预判决策的差异。李华庆等(2019)认为,SWM容量影响篮球运动员防守预判的敏捷性,且低SWM容量组防守预判更为敏捷;陈士博(2017)研究表明,在高压情景下,运动员高SWM容量的优势不再显著。但相关研究尚未达成统一结论,例如,Furley等(2012)认为,高SWM容量的运动员注意力更加集中,有利于将更多的注视资源集中于当前任务,进而提高决策效率;付颖颖等(2016)研究认为,SWM容量不会影响运动员的战术决策。

此外,足球竞赛的高压环境往往会影响个体信息加工中的注意资源分配,进而导致预判决策能力下降(冯甜等,2021;Récopé et al.,2019),但这更可能体现在经验不足的运动员中。高水平运动员通过耦合感觉-运动系统积累的时间压力应对经验丰富,受时间压力的影响较低(冯甜等,2021)。有研究发现,不同WM容量个体在压力下均会出现认知活动衰退的现象,其中高容量个体更容易受到影响(陈瑾等,2014)。据此提出研究假设:SWM容量可能影响足球运动员在进攻战术决策任务中的视觉搜索特征。基于此,本研究以信息刺激复杂多变的足球“3v2”进攻战术决策情景为刺激材料,通过“专家-新手”范式,探讨高水平足球运动员的进攻战术决策绩效和视觉搜索策略,并探讨SWM容量对其的影响。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 实验对象

共选取27名被试。专家组为参加2021年中国大学生足球联赛(China University Football Association, CUFA)的13名男性运动员,运动员技术等级均为国家二级及以上,年龄为(25.54±2.40)岁,持续训练年限为(5.08±1.12)年;新手组为14名足球专项学生,年龄为(24.57±1.65)岁,持续训练年限为(2.00±0.91)年。所有被试优势脚均为右脚,双眼裸眼视力或矫正视力正常,无散光、色盲、色弱等。实验前1天无熬夜、失眠等,且实验当天精神状态良好。

### 1.2 实验设计

采用2(运动水平:专家组、新手组)×2(SWM容量:高容量组、低容量组)双因素实验设计,组间变量为运动

水平,组内变量为SWM容量。将刺激视频划分为空当、球门(含守门员)、近端进攻球员、远端进攻球员、近端防守球员和远端防守球员6个兴趣区域(area of interest, AOI)。以战术决策绩效和视觉信息加工的眼动参数为因变量,其中战术决策绩效包括决策敏捷性(反应时)和决策合理性(专家评价),眼动参数包括注视特征(注视次数、注视时间)和扫视特征(扫视次数、眼跳幅度)。

### 1.3 刺激材料

1)SWM容量测试材料。借鉴张明等(2002)的研究,采用回忆报告范式测量被试的SWM容量。实验材料由“W”和“M”2种字母组成,形成 $n$ 行 $m$ 列的字母矩阵,且每次实验均呈现3个“W”和 $n$ 个“M”。加工负载随实验次数的增加而增加,其增加规律为每次实验后增加1行或1列字母,“W”的位置随机变化,且不与上次实验位置相同。实验材料包含2个预备材料和10个不同加工负载的正式材料。

2)进攻战术决策任务材料。“3v2”真实录像取自于2019—2020赛季欧洲足球5大联赛积分榜前2名球队的主客场比赛。真实录像的还原拍摄在L大学11人制足球场进行,拍摄期间天气良好,无刺激光线,且拍摄期间无建筑物和树木阴影。由1名研究者和5名熟知“3v2”战术的足球专项学生进行录像还原,研究者扮演1名进攻球员,手持佳能6D相机、50 mm定焦镜头以第一视角进行拍摄,5名足球专项学生分别扮演2名进攻球员、2名防守球员和1名守门员。拍摄过程中,不允许出现球员间肢体、手势、眼神交流,以排除实验过程中对被试的引导。通过小组讨论判断球员跑动的位置、轨迹、相对速度和球员撕扯所形成的空当大小是否与真实录像一致,若不一致,则重新拍摄。共拍摄2个预备视频和9个正式视频。

从球员启动初现移动方向时开始剪辑,控球球员做出决策后1 000 ms结束剪辑,时长约为5 000 ms。实验前,邀请6名足球专项学生和6名辅修学生(非足球专项,但有至少1学期足球学习经验的体育专业大学生)进行刺激材料效度检验,要求其独立观看刺激材料,记录其决策反应时和决策合理性,对低区分度视频再次进行剪辑,多次重复检验,最终确定刺激材料时长为4 000~6 000 ms。

### 1.4 实验流程

1)SWM容量测试。依次将被试带入实验室,填写基本信息后进行SWM容量测试。刺激材料由35.4 cm×19.9 cm的戴尔笔记本电脑呈现。通过被试回忆判断字母空间位置的结果评价对不同负载刺激材料的信息加工能力。被试在每次测试中所读取信息的时间为3 000 ms,3 000 ms后呈现空白屏,要求口头报告3个字母“W”的位置。若均正确则进入下次实验,否则用同一负载刺激材料再次呈现;若被试此次回忆判断字母位置均正确则进入下一次实验,否则将终止实验,将回忆判断正确的加工负载级别

定义为SWM容量。正式实验时长约3 min。

2)战术决策绩效测试。眼动记录设备选用Dikablis Professional头戴式眼动仪(Ergoneers,德国),采样率为60 Hz,追踪精度为 $0.1^{\circ}\sim 0.3^{\circ}$ ,采集每名被试的眼动数据。将负责追踪眼睛的eye-camera和负责录制场景的field-camera与眼动仪信息收集装置相连接,将数据信息传输端口与装有D-Lab 3.0软件的联想笔记本电脑连接,用以记录被试眼动过程。将戴尔笔记本电脑与SHARP XG-D3080XA投影仪连接,将刺激材料投放到幕布(幕布距离被试测试区域约2.5 m)上。实验过程中,要求被试坐立面对幕布,眼睛水平视线在幕布中央。采用手动调节校准和4点校准,对被试佩戴的眼动仪进行校准。通过预备实验提高被试对实验流程和操作任务的熟悉程度,给予适时指导,纠正不当操作。呈现3 000 ms的空白屏后,播放刺激材料,并要求被试按键进行决策反应,若未进行按键反应,系统播放结束后自动进入空白屏,若被试在有限时间内做出按键反应,系统将在按键后进入空白屏。实验过程中,1人负责刺激材料播放和记录被试口头报告,1人负责操作D-Lab 3.0软件。每名被试的眼动实验测试时间约为5 min。

### 1.5 数据处理

借鉴李华庆等(2019)的研究,以SWM容量的中位数为界,将被试划分为高、低SWM容量组。

基于D-Lab 3.0软件提取被试决策反应时数据,以此反映决策敏捷性。根据被试战术决策选择进行编码,以对球门的威胁程度为依据,邀请5名长期从事足球教学与训练的专家,分别采用Likert 5点评分法对每种决策的合理性进行评价,取其平均值作为战术决策合理性分值。

基于D-Lab 3.0软件,逐帧分析、手动标记处理每个AOI的注视点数量,导出研究所需的眼动参数。

### 1.6 数理统计

采用SPSS 25.0和GraphPad Prism 8软件进行统计分析和绘图。采用Kandall' $W$ 和谐系数计算专家战术决策合理性评判的一致性程度。采用单因素MANOVA进行战术决策绩效和眼动参数的统计分析,若存在交互作用,则采用EMMEANS编程检验简单效应。检验水平定为 $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 战术决策绩效

足球运动员决策敏捷性的单因素MANOVA结果显示(图1),运动水平主效应显著( $F=6.666, P=0.010, \eta^2=0.028$ ),专家组显著高于SWM容量主效应显著( $F=16.942, P=0.000, \eta^2=0.068$ ),高容量组显著低于低容量组;运动水平与SWM容量的交互作用不显著( $F=2.461, P=0.111, \eta^2=0.011$ )。

专家战术决策合理性评判的一致性结果显示, Kan-



dall'  $W=0.635, \chi^2=142.957, df=45, P<0.01$ , 具有较高一致性。足球运动员决策合理性的单因素 MANOVA 结果显示(图 1), 运动水平主效应显著 ( $F=11.531, P=0.001, \eta^2=$

$0.046$ ), 专家组显著高于新手组; SWM 容量主效应不显著 ( $F=2.132, P=0.146, \eta^2=0.009$ ), 运动水平与 SWM 容量的交互作用不显著 ( $F=0.904, P=0.343, \eta^2=0.004$ )。

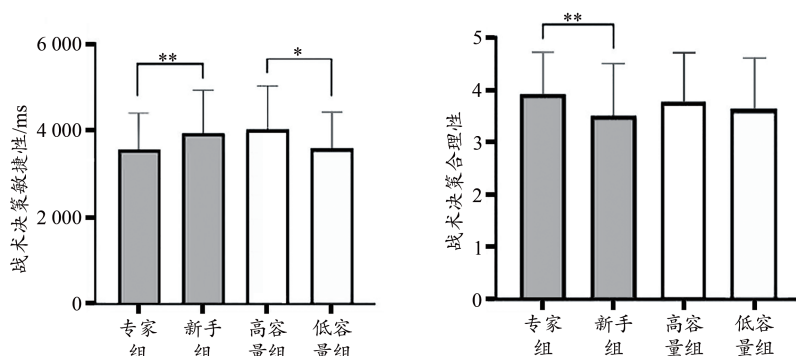


图 1 足球运动员进攻战术决策绩效的单因素 MANOVA 结果

Figure 1. One-Way MANOVA Results of Football Players' Offensive Tactical Decision-Making Performance

注: \* $P<0.05$ , \*\* $P<0.01$ ;下同。

## 2.2 视觉搜索特征

### 2.2.1 注视次数

足球运动员注视次数的单因素 MANOVA 结果显示, 在空当、球门、近端进攻球员、近端防守球员和远端防守球员 AOI, 运动水平的主效应显著 ( $P<0.05$ ), 专家组在空当 AOI 的注视次数显著多于新手组, 在球门、近端进攻球员、近端防守球员和远端进攻球员 AOI 的注视次数显著少于新手组; 在空当 AOI, SWM 容量的主效应显著 ( $F=22.037, P=0.000, \eta^2=0.087$ ), 高容量组在空当 AOI 的注视次数显著多于低容量组; 在空当和近端防守球员 AOI, 运

动水平与 SWM 容量的交互作用显著 ( $P<0.05$ )。简单效应检验显示, 高容量专家组在空当和近端防守球员和远端进攻球员 AOI 的注视次数显著多于低容量专家组 ( $P<0.01$ ), 高容量新手组在近端防守球员 AOI 的注视次数显著少于低容量新手组 ( $P<0.01$ ; 图 2)。对于总注视次数, 运动水平的主效应显著 ( $F=5.640, P=0.018, \eta^2=0.024$ ), 专家组显著少于新手组; SWM 容量的主效应显著 ( $F=7.076, P=0.018, \eta^2=0.030$ ), 高容量组显著多于低容量组; 运动水平与 SWM 容量的交互作用不显著 ( $F=0.417, P=0.519, \eta^2=0.002$ )。

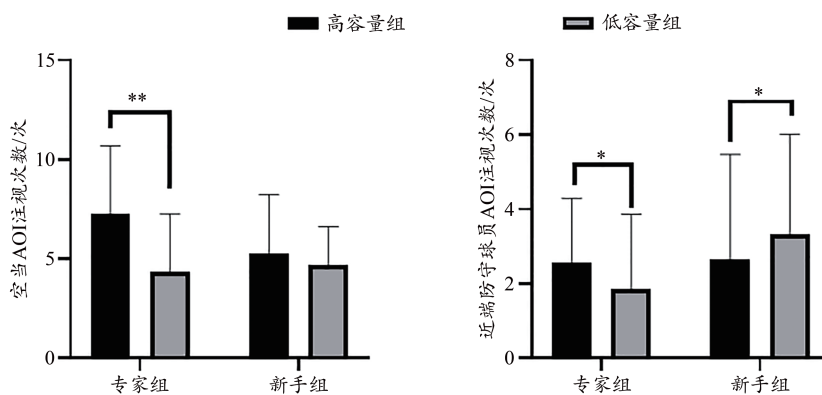


图 2 足球运动员进攻战术决策任务下注视次数的单因素 MANOVA 结果

Figure 2. One-Way MANOVA Results of Fixation Counts for Football Players' Offensive Tactical Decision-Making Tasks

### 2.2.2 注视时间

足球运动员注视时间的单因素 MANOVA 结果显示, 在球门和近端防守球员 AOI, 运动水平的主效应显著 ( $P<0.05$ ), 专家组在上述 AOI 的注视时间显著短于新手组; 在空当和球门 AOI, SWM 容量的主效应显著 ( $P<0.05$ ), 高容量组在上述 AOI 的注视时间显著长于低容量组; 在空

当和近端防守球员 AOI, 运动水平与 SWM 容量的交互作用显著 ( $P<0.05$ )。简单效应检验显示, 高容量专家组在空当 AOI 的注视时间显著长于低容量专家组 ( $P<0.05$ ), 高容量新手组在近端防守球员 AOI 的注视时间显著短于低容量新手组 ( $P<0.05$ ; 图 3)。对于总注视时间, 运动水平的主效应显著 ( $F=4.418, P=0.043, \eta^2=0.018$ ), 专家组

显著短于新手组;SWM容量的主效应显著( $F=4.592, P=0.033, \eta^2=0.020$ ),高容量组显著长于低容量组;运动水平与SWM容量的交互作用显著( $P<0.05$ )。简单效应检验结果显示,高容量专家组总注视时间显著长于低容量专家组( $P<0.05$ ;图3)。

### 2.2.3 扫视次数

足球运动员扫视次数的单因素MANOVA结果显示,

在近端进攻球员和远端进攻球员AOI,运动水平的主效应显著( $P<0.05$ ),专家组在上述AOI的扫视次数显著少于新手组;在近端进攻球员AOI,SWM容量的主效应显著( $F=4.577, P=0.033, \eta^2=0.020$ ),高容量组显著少于低容量组;运动水平和SWM容量的交互作用不显著( $P>0.05$ )。对于总扫视次数,主效应和交互作用均不显著( $P>0.05$ )。

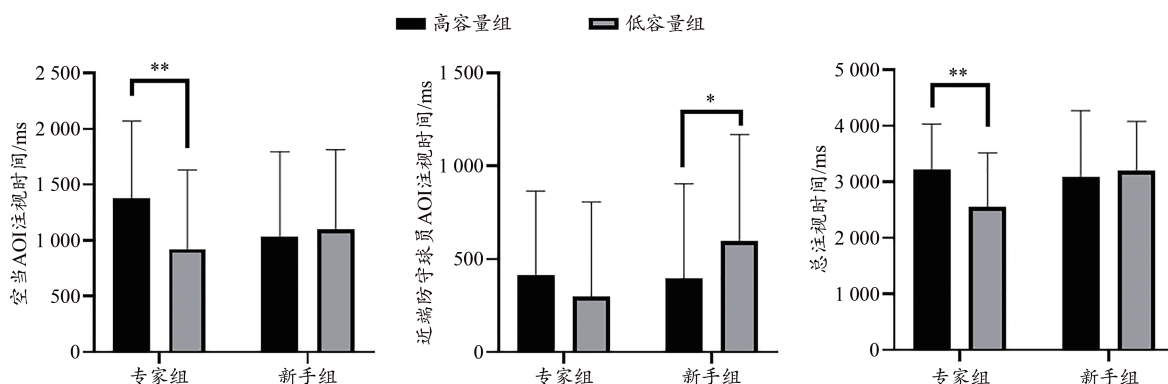


图3 足球运动员进攻战术决策任务下注视时间的单因素MANOVA结果

Figure 3. One-Way MANOVA Results of Fixation Duration under Football Players' Offensive Tactical Decision-Making Task

### 2.2.4 眼跳幅度

足球运动员眼跳幅度的单因素MANOVA结果显示,在空当和近端进攻球员AOI,运动水平的主效应显著( $P<0.05$ ),专家组在上述AOI的眼跳幅度显著大于新手组;在远端进攻球员AOI,SWM容量的主效应显著( $F=3.936, P=0.048, \eta^2=0.017$ ),高容量组大于低容量组;在空当和近端

进攻球员AOI,运动水平和SWM容量的交互作用显著( $P<0.05$ )。简单效应检验结果显示,高容量专家组在上述AOI的眼跳幅度显著小于低容量专家组( $P<0.05$ ;图4)。对于总眼跳幅度,主效应和交互作用均不显著( $P>0.05$ )。

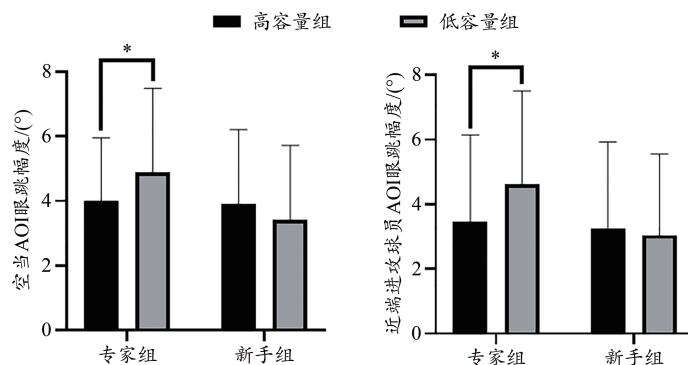


图4 足球运动员进攻战术决策任务下眼跳幅度的单因素MANOVA结果

Figure 4. One-Way MANOVA Results of Saccade Length under the Football Player's Offensive Tactical Decision-Making Task

## 3 讨论

### 3.1 足球运动员进攻战术决策的视觉搜索策略

“快”是同场对抗类项目的核心要素之一,有效的视觉搜索是做出快速动作反应和正确预判决策的前提(廖彦罡等,2009)。在足球“3v2”进攻战术决策场景下,运动员需要在动态多变的场景中快速、准确地搜集和把握事关决策的有效信息,通过调整认知适应变化的外界刺激,

结合自身程序性知识和丰富临场经验做出最佳战术决策。专家组表现出更敏捷、合理的决策,反映其视觉信息提取加工的高速度、高准确性。在竞技体育领域,技战术知识的储备数量是成为专家的必要条件,是否具备符合该运动特征的有组织的知识是成为专家的决定性因素(王洪彪,2013;Petiot et al.,2022)。在本研究中,专家组有较高的运动等级和较长的训练年限,参加重要比赛的

机会较多,因此具备更复杂的概念网络,包括与技战术相关的陈述性知识和程序性知识,以及特定运动策略和情景模式(Lexl et al., 2015)。另外,专家组长时记忆系统中的概念网络(图式,包括专项知识和组块数量、比赛情景和环境变化),是运动决策过程中模式识别的关键因素,能够促使其将刺激信息与大脑中已有的图式结构进行比较和匹配,从而有效辨别该刺激信息的意义(段再复等, 2017; Gorman et al., 2017)。专家组知识结构和运动图式的有序化,使其能够根据场景变化调整自己的注意策略,快速搜索出有价值的信息,从而做出高效合理的运动决策。

运动员为识别“3v2”进攻战术决策场景中的信息,双眼必须保持一定方位,使场景信息呈现在视网膜上,这一眼动活动称为注视;运动员通过一系列注视,在不断变化的场景中快速搜寻关键信息,注视点位置不断发生变化,这种注视点发生快速跳动的眼动活动称为扫视或眼跳(Aksum et al., 2020; Vitor de Assis et al., 2020)。其中,注视反映运动员对刺激材料的加工程度,注视越多说明视觉信息加工程度越深;扫视反映运动员对场景信息的提取情况,扫视越多说明越难找到关键信息,眼跳幅度越小说明视觉搜索越集中(廖彦罡等, 2009)。在预期线索的选择上,专家组和新手组在视觉搜索和信息提取过程中有本质区别,专家组通过更多扫视搜索近端进攻球员和远端进攻球员 AOI 的信息,通过更大幅度眼跳对空当和近端进攻球员 AOI 提取加工,并对空当 AOI 投入更长的注视时间。足球战术进攻的核心是对守方球门造成威胁,同时“3v2”进攻战术最主要的特点是传球路线多、进攻面积广,因此,专家组倾向于对攻防球员撕扯变化的空当 AOI 予以注意,以寻找传威胁球的机会。在扫视运动期间,视觉是清晰的、稳定的,用于注视转换的扫视(眼跳)可分为经验驱动和刺激驱动的注意转移(Binda et al., 2018)。专家组长时记忆系统存储了大量的足球专项运动图式,使其能够根据专项认知进行视觉信息的提取与加工,通过大幅度眼跳多次搜索事关决策的有效信息,并有意将注视集中于空当等关键信息位置,因此表现出“大眼跳、注视集中”的经验驱动搜索策略。而新手组长时记忆系统缺乏相关战术场景和应答模块,只能通过更多的扫视和注视搜索不断变化的刺激信息,是典型的刺激驱动的视觉搜索策略。

### 3.2 SWM 容量对足球运动员进攻战术决策视觉搜索特征的影响

SWM 与执行注意有密切关联(Engle, 2018),对于揭示运动员的预判决策具有重要意义(王洪彪, 2013)。信息加工的类比计算机模型观点(Ricker et al., 2018)认为,WM 类似于计算机的“内存条”,其容量越大,信息加工速度便越快。相关研究(Duchowski et al., 2013; Furley et al., 2012)也表明,高容量可促进运动员投入更多的注意资源

于认知任务,有助于搜索到更多的场景信息。本研究结果显示,SWM 容量影响足球运动员战术决策即时加工的敏捷性,具体表现为高容量组战术决策反应时更长,与类比计算机模型的观点相反,但与李华庆等(2019)对篮球运动员防守预判决策的研究结果一致。研究认为,虽然高容量有助于搜索到更多场景信息,但同时也意味着增加了信息处理负荷,需要调动更多信息加工资源去解决冲突和干扰信息(Duchowski et al., 2013; Jost et al., 2011)。

SWM 容量影响足球运动员进攻战术决策任务下的视觉搜索特征,具体表现为高容量专家组采用“小眼跳、注视集中”的视觉搜索策略,在空当和近端防守球员 AOI 投入更多的注视次数,在空当 AOI 投入更长的注视时间;而高容量新手组在近端防守球员、AOI 投入更少的注视次数和更短的注视时间。记忆的标签机制(memory-based tagging mechanisms, MBTM)(Olfe, 1994; Peterson et al., 2001)理论认为,视觉搜索过程中注意需从一个空间位置转移到另一个空间位置,并且先前已经被注意选择的空当位置可能被储存在 WM 中以抑制注意重复选择,从而优化视觉搜索效率。但本研究结果并不支持 MBTM 假说,高容量专家组通过小幅度眼跳维持对空当和近端防守球员等关键信息位置的注视,因此并未产生更多的抑制重复。在排球拦网(曹立智, 2016)、羽毛球反手搓推勾(李阳阳, 2017)和篮球战术(卢新豪, 2021)等技能的预判决策研究中,较高的 WM 刷新与运动员预判决策绩效存在关联,刷新功能越高越有助于监控和筛选相关刺激信息。研究认为,足球“3v2”进攻战术决策是一项开放性的被试敏捷性-合理性权衡任务,其场景涵盖的刺激复杂多变,高容量专家组有绝对的 SWM 容量资源去存储和加工更多信息,动用更多的刷新功能去筛选关键信息,有助于运动员从全局出发考虑最优决策。但这无疑增加了信息加工负载,易造成提取信息与记忆图示的相互干扰,提取加工信息所需的注视时间也就明显增多。因此,高容量组在解决问题时更依赖于 WM 系统,因而在复杂任务干扰其 WM 系统时表现出压力下的“choking”,这将影响战术决策的敏捷性(陈亚林等, 2009; Taheri et al., 2017)。相反,低容量专家组受制于 SWM 容量的有限性,在大幅度眼跳基础上,通过选择性注意系统筛选关键信息区域,因此推测其可以抑制对周边变化刺激的注意,避免多信息间的干扰和冲突,维持对关键区域的注视追踪。高容量新手组与低容量新手组的组间差异主要体现在对近端防守球员 AOI 的注视次数和注视时间上,其中高容量组的注视次数更少,注视时间更短。受限于运动经验,新手组长时记忆系统中缺少与战术决策场景相匹配的完整运动图式,因此难以关注到这些关键信息。虽然低容量新手组对上述 AOI 的注视次数较多、注视时间较长,但只是看到了,并未引起注意(Ribeiro et al., 2021)。



### 3.3 研究不足

1) 研究结果与类比计算机模型的观点并不一致,有待后续研究进一步验证。刺激材料可能无法体现高容量专家组的视觉搜索优势,这可能是造成研究结果间差异的主要原因。所选取的足球“3v2”进攻战术决策场景涉及较少的AOI,若增大刺激材料难度,可能会呈现不一致的研究结果。2) 鉴于客观条件,研究采用视频呈现刺激信息,无法使材料呈现1:1的画面,生态学效度偏低。3) 限于位置职责要求,不同场上位置球员的视觉搜索行为可能存在差异。后续研究可以加大刺激材料难度、提高生态学效度和增加场上位置变量等,以更加契合足球战术决策训练的实践需求。

### 4 结论

在实验室场景下,探讨足球运动员“3v2”进攻战术预判决策的视觉搜索特征和SWM容量的影响。结果显示:1) 专家组多采用“大眼跳、注视集中”的经验驱动搜索策略,有较高的特征提取和模式匹配能力,表现出更加敏捷、合理的战术决策行为;2) 高容量组战术决策的敏捷性低于低容量组,SWM容量影响专家组“3v2”进攻战术决策的视觉搜索特征,高容量专家组采用“小眼跳、注视集中”的刺激驱动与经验驱动相结合的视觉搜索策略,在空当和近端防守球员AOI投入较多的注视次数,在空当AOI投入较长的注视时间,深度提取关键信息以选择最优决策;低容量专家组受限于SWM容量,采用大幅度眼跳的经验驱动视觉搜索策略,通过选择性注意系统筛选关键信息区域,在上述AOI上表现出更少的注视次数和更短的注视时间,维持对关键区域的注视追踪。

### 参考文献:

- 部义峰,2021.青少年足球训练实践的方法论:理论认知与模式应用[J].体育学研究,35(3):58-66.
- 曹立智,2016.执行功能对排球运动员拦网决策的影响[D].北京:北京体育大学.
- 陈瑾,吴雯,2014.工作记忆与压力下“Choking”现象的关系[J].心理技术与应用,2(6):19-23.
- 陈士博,2017.压力与工作记忆容量对深度知觉的影响[D].杭州:浙江大学.
- 陈亚林,刘昌,2009.有关工作记忆的压力下“Choking”[J].心理科学进展,17(4):691-698.
- 段再复,张力为,孙拥军,等,2017.分心刺激对大学生运动员持续注意的影响[J].天津体育学院学报,32(5):369-381.
- 冯甜,李亚伟,张忠秋,2021.跳水运动员心理旋转的时间具身效应及脑加工时程特征[J].北京体育大学学报,44(2):105-115.
- 付颖颖,迟立忠,2016.情绪调节策略对篮球运动员决策的影响:工作记忆容量的调节作用[J].北京体育大学学报,39(4):72-79.
- 黄竹杭,杨雪芹,徐湘,2008.构建以战术意识为核心的足球竞技能力结构[J].北京体育大学学报,31(9):1269-1272.
- 李春阳,王庆军,2021.足球训练方法论的流变、反思与现代实践[J].

西安体育学院学报,38(5):625-632.

- 李华庆,迟立忠,2019.视-空间工作记忆容量对篮球运动员防守预判的影响[J].天津体育学院学报,34(2):172-178.
- 李阳阳,2017.视觉搜索对羽毛球反手搓推勾技术预判的影响-执行功能的调节作用[D].北京:北京体育大学.
- 廖彦罡,张学民,葛春林,2009.排球运动员观察运动情境图片的眼动分析[J].天津体育学院学报,24(2):133-137.
- 卢新豪,2021.体育专业大学生脑执行功能与篮球战术决策相关性研究[D].南昌:江西科技师范大学.
- 吕中凡,史鹏,2020.我国优秀运动员视觉搜索特征:基于眼动实验的Meta分析[J].南京体育学院学报,19(2):43-51.
- 龙芳芳,李昱辰,陈晓宇,等,2019.视觉工作记忆的巩固加工:时程、模式及机制[J].心理科学进展,27(8):1404-1416.
- 王洪彪,2013.运动决策情境中认知加工理论模型的初步构建[J].沈阳体育学院学报,32(3):28-32.
- 张明,隋洁,方伟军,2002.学习困难学生视空间工作记忆提取能力的多指标分析[J].心理科学,25(5):565-568.
- 张明,王爱君,2012.视觉搜索中基于工作记忆内容的注意捕获与抑制[J].心理科学进展,20(12):1899-1907.
- AKSUM K M, MAGNAGUAGNO L, BJORN DAL C T, et al., 2020. What do football players look at? An eye-tracking analysis of the visual fixations of players in 11 v 11 elite football match play[J]. Front Psychol, 11(10):2624-2634.
- ANDERSON D E, VOGEL E K, AWH E, 2011. Precision in visual working memory reaches a stable plateau when individual item limits are exceeded[J]. J Neurosci, 31(3):1128-1138.
- BINDA P, MORRONE M C, 2018. Vision during saccadic eye movements[J]. Annu Rev Vis Sci, 10(4):193-213.
- CONWAY A R A, JARROLD C, KANE M J, et al., 2007. Ariation in working memory[M]. New York: Oxford University Press: 123-124.
- DUCHOWSKI A T, KREJTZ K, KREJTZ I, et al., 2013. An eye on perceptual graphics: Eye-tracking methodology[J]. Eurographics, 3(6):258-261.
- ENGLE R W, 2018. Working memory and executive attention: A revisit[J]. Perspect Psychol Sci, 13(2): 190-193.
- FURLEY P A, MEMMERT D, 2012. Working memory capacity as controlled attention in tactical decision making[J]. J Sport Exerc Psychol, 34(3):322-344.
- GORMAN A D, ABERNETHY B, FARROW D, 2017. Is the relationship between pattern recall and decision-making influenced by anticipatory recall?[J]. Q J Exp Psychol, 30(12):21-42.
- JOST K, BRYCK R L, VOGEL E K, et al., 2011. Are old adults just like low working memory young adults? Filtering efficiency and age differences in visual working memory[J]. Cereb Cortex, 21(5): 1147-1154.
- KLAUER K C, ZHAO Z, 2004. Double dissociations in visual and spatial short-term memory[J]. J Exp Psychol Gen, 133(3):355-381.
- LEXL H, ESSIG K, KNOBLAUCH A, et al., 2015. Cognitive representations and cognitive processing of team-specific tactics in soccer[J]. Plos One, 10(2): 219-236.
- MA W J, HUSAIN M, BAYS P M, 2014. Changing concepts of working memory[J]. Nature Neuroscience, 17(3):347-356.
- OLFE J M, 1994. Guided search 2.0: A revised model of visual search[J]. Psychon B Rev, 12(1): 202-238.

- PETERSON M S, KRAMER A E, WANG R F, et al., 2001. Visual search has memory[J]. *Psychol Sci*, 12: 287-292.
- PETIOT G H, BAGATIN R, MOUCHET A, 2022. Describing the tactical knowledge used by young competitive soccer players: A psychological phenomenological analysis[J]. *Human Movement*, 23(4): 1-13.
- QUIGLEY C, MULLER M M, 2014. Feature-selective attention in healthy old age: A selective decline in selective attention? [J]. *J Neurosci*, 34(7): 2471-2476.
- RÉCOPÉ M, FACHE H, BEAUJOUAN J, et al., 2019. A study of the individual activity of professional volleyball players: Situation assessment and sense making under time pressure[J]. *Appl Ergon*, 80(13):226-237.
- RIBEIRO L, FIGUEIREDO L, PEREZ-MORALES J, et al., 2021. Tactical knowledge and visual search analysis of female handball athletes from different age groups[J]. *J Phys Educ Sport*, 21(2): 948-955.
- RICKER T J, NIEUWENSTEIN M R, BAYLISS D M, et al., 2018. Working memory consolidation: Insights from studies on attention and working memory[J]. *Ann NY Acad Sci*, 1424(1): 8-18.
- ROCAL A, FORD P R, MEMMERT D, 2018. Creative decision making and visual search behavior in skilled soccer players [J]. *Plos One*, 13(7): 381-393.
- TAHERI H, FAZELI D, GHASEMIAN M M, 2017. The effect of choking under pressure on movement variability and freezing (freeing) of degrees of freedom in skilled and novice table tennis players[J]. *Sport Psychol Stud*, 6(22):145-156.
- VÍITER DE ASSIS J, GONZALEZ-VILLORA S, CLEMENTE F M, et al., 2020. Do youth soccer players with different tactical behavior also perform differently in decision-making and visual search strategies?[J]. *Int J Perf Anal Spor*, 20(6):1143-1156.

(收稿日期:2022-01-24; 修订日期:2023-03-20; 编辑:高天艾)

