

# 空间工作记忆容量对足球运动员进攻战术决策视觉信息加工的影响

史鹏<sup>1</sup>, 吕中凡<sup>2,3</sup>, 王国动<sup>2,3</sup>, 魏征<sup>2,3</sup>, 孙金月<sup>1</sup>, 章冬杨<sup>2,3</sup>, 张铎耀<sup>2</sup>

(1.上海体育学院 体育教育训练学院,上海 200438;2.辽宁师范大学 体育学院,大连 116029;  
3.辽宁省运动人体科学重点实验室,大连 116029)

**摘要:**[目的] 探讨空间工作记忆(spatial working memory, SWM)容量对足球运动员进攻战术决策视觉信息加工的影响.[方法] 通过回忆报告范式测量被试 SWM 容量,将被试划分为高容量组和低容量组,以“3V2”真实比赛录像还原拍摄成的视频为刺激材料,采用 Dikablis Professional 头戴式眼动仪,配合 D-lab 软件记录和处理眼动参数和决策反应时,邀请专家分别独立对决策合理性进行赋分,采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析.[结果] 1)高容量组战术决策的反应时间显著性长于低容量组( $p < 0.01$ );高容量组和低容量组不存在显著性差异( $p > 0.589$ );2)高容量组和低容量组总的注视次数、扫视次数和眼跳角度不存在显著性差异( $p > 0.05$ );3)高容量组在空当的注视次数、注视时间和注视分配上显著性多于低容量组( $p < 0.05$ ),在远端攻防球员的眼跳角度显著性小于低容量组( $p < 0.05$ ).[结论] 高容量运动员战术决策反应时高的原因在于其采用“平行一系列”视觉搜索策略,对空当投入更多的注视;低容量运动员战术决策反应时高的原因在于其采用“系列化”视觉搜索策略,能够对关键兴趣区域进行有效预判.

**关键词:**空间工作记忆容量;战术决策;视觉搜索;足球

**中图分类号:**G843

**文献标志码:**A

足球竞赛场景瞬息万变、时空转换迅速、身体对抗激烈,战术意识是运动员战术决策的重要前提,是影响竞赛进程和获取竞赛胜利的核心因素.战术意识是指运动员对专项认知所形成的心智过程,这一过程促使运动员对比赛场景的感知和理解,有效把握关键信息,从而做出战术动作决策<sup>[1]</sup>.视觉搜索是战术意识这一思维决策的核心所在,决定了战术信息选择的有效性和战术行为决策的合理性.HEIKO 等<sup>[2]</sup>研究认为经验丰富的足球运动员专注于刺激的特定区域,采用较少的注视评估潜在的战术;ANDRÉ 等<sup>[3]</sup>研究发现足球运动员高创造性的表现与早期感知高度相关的线索有关.上述研究表明,高水平运动员具备高效战术决策的专长优势源于其独特的选择性注意策略.工作记忆(Working Memory, WM)对于选择性注意来讲尤为重要,其与选择性注意存在一种相互作用的关系,其不仅用于信息储存,而且影响注意控制,主要通过将个体注意导向 WM 表征的信息或与信息有关的特征,影响注意方向<sup>[4-5]</sup>.综上,WM 在运动员视觉信息加工过程中发挥着重要作用,但关于 WM 对视觉信息加工的直接影响尚需进一步探讨.

WM 是一个对信息进行暂时性存储,并支持个体认知操作的记忆系统,基于这种双重功能,使其成为连接视觉感知系统和长时记忆系统的桥梁,推动感知与记忆的交互<sup>[6-7]</sup>.其中对图案、形状等客体信息进行暂时性存储与加工的系统称为客体工作记忆(Object Visual Working Memory, OWM),主要执行“what”的功能;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”的功能<sup>[8-9]</sup>.足球竞赛过程中,运动员需要对场上复杂多变的信息进行有效提取与

收稿日期:2021-11-19;修回日期:2022-02-27.

基金项目:辽宁省教育厅人文社科青年项目(WQ2020012);辽宁师范大学研究生创新创业资助项目(2020cx20).

作者简介:史鹏(1996—),男,山东淄博人,上海体育学院博士研究生,研究方向为运动技能学习与控制.

通信作者:吕中凡(1965—),辽宁师范大学教授,博士,研究方向为球类运动的视觉情报与处理、运动心理学, E-mail: luzhongfan@sina.com.

加工,根据攻防球员的位置信息以及空当的变化情况进行预判决策,因此 SWM 容量起着非常重要的作用。李华庆等<sup>[8]</sup>研究认为 SWM 容量影响篮球运动员防守预判的反应时,且低容量的被试防守预判更为迅速。但是,该研究结果与前人研究存在争议,FURLEY 等<sup>[10]</sup>研究认为,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。因此,SWM 容量在运动员认知加工中的作用尚需进一步进行探讨。另外,以往研究多基于行为指标探讨 SWM 容量对运动员视觉搜索绩效的影响,此类研究对探讨 SWM 容量与注视时间的关联具有一定的积极意义,但无法有效解释 SWM 容量如何影响运动员的视觉信息加工。因此,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,借助眼动记录技术,探讨不同 SWM 容量运动员进攻战术决策的行为绩效和眼动参数,进而深化对 SWM 容量对运动决策复杂认知加工的理解,同时为足球战术意识的研究提供心理学依据,为我国足球运动员的运动训练与监控提供认知心理学指导。

## 1 实验设计与研究方法

### 1.1 实验对象

共选取 23 名被试,均参加过 CUFA 足球联赛的高水平大学生运动员,运动等级均为二级以上,年龄为 $(24.37 \pm 2.36)$ 岁,平均训练年限为 $(4.97 \pm 2.64)$ a。所有被试的优势脚均为右脚,均报告了解“3V2”战术决策任务,双眼裸眼视力或矫正视力正常,无散光、色盲、色弱等。实验前一天无熬夜、失眠等症状,且实验当天精神状态良好。根据 SWM 容量测试结果将被试分为高、低容量组,研究将测试结果前 27% 的被试定义为高容量组,将测试结果后 27% 的被试定义为低容量组。另外,高容量组末位和低容量组首位均存在 3 名 SWM 容量测试结果相同的被试,因此本研究剔除 7 名被试,纳入 16 名被试进行眼动实验,高容量组和低容量组被试各 8 名,保证了 SWM 容量在同一组别上的同质性。

### 1.2 实验设计

研究采用回忆报告范式测量被试 SWM 容量;采用第一视角对足球运动员“3V2”进攻战术决策场景下的视觉信息加工进行研究。采用 2 SWM 容量(高、低)的单因素实验设计展开实验研究,组间变量为 SWM 容量。将刺激视频划分为空当、球门(含守门员)、近端攻防球员和远端攻防球员 4 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反应性和决策合理性,眼动参数包括注视次数、注视时间、扫视次数、眼跳角度和注视分配。运动员在不断变化的场景中快速搜寻关键信息,通过双眼保持一定方位,使场景信息呈现在视网膜上的动作称为注视;线索搜索过程中注视点位置的跳动和转移,称为眼跳或扫视。

### 1.3 刺激材料

实验所选取的“3V2”真实录像均取自于欧洲 5 大联赛,采用“EV 录屏”软件截取录像资料。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,无刺激性太阳光线,且拍摄期间无建筑物和树木阴影等干扰因素。由 1 名研究者和 5 名熟知“3V2”战术打法的足球专项大学生进行录像还原,研究者扮演 1 名进攻球员,手持佳能 6D 相机配合 50 mm 定焦镜头以第一视角进行拍摄,经商议 5 名足球专项大学生分别扮演 2 名进攻球员、2 名防守球员和 1 名守门员,共拍摄 9 个正式视频和 2 个预备视频。采用“EV 剪辑”软件对照比赛真实运动场景进行剪辑,以球员启动初现移动方向时开始进行剪辑,以真实运动场景中控球球员做出运动决策后 1 000 ms 结束剪辑,剪辑视频时长为 5 000 ms 左右。实验前对刺激材料的效度进行检验,另邀请 6 名专选学生和 6 名普修学生分别独立观看刺激材料,分别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

#### 1.4.1 SWM 容量测试

研究借鉴文献<sup>[11-12]</sup>SWM 容量测试内容,根据 SWM 既包括加工成分又包括存储成分的特征,采用回忆报告范式进行测量,以此对被试进行 SWM 高、低容量分组。实验材料由“W”和“M”两种字母组成,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”。第 1 次测试的材料为 3 行 3 列的 WM 字母矩阵,加工负载随测试次数的增加而增加,其增加规律为每次测试后增加一行或一列字母,“W”的位置随机变化,

且不与上次测试位置相同.不同负载刺激材料的信息加工功能通过被试回忆判断字母的空间位置加以评价.被试在每次测试中所读取信息的时间为 3 000 ms,之后呈现空白屏,要求口头报告 3 个字母“W”的位置.若被试回忆判断字母位置均正确则进入下次实验,否则用同一负载的刺激材料再次呈现,若被试此次回忆判断字母位置均正确则进入下次测试材料,否则将止步实验,将回忆判断正确的加工负载级别系列定义为 SWM 容量.试验材料包含 2 个预备实验材料和 10 个不同加工负载的正式实验材料,正式试验时长大约为 3 min.

### 1.4.2 眼动实验

眼动记录设备选用德国 Ergoneers 生产的 Dikablis Professional 头戴式眼动仪,采样率为 60 Hz,追踪精度为  $0.1^{\circ}\sim 0.3^{\circ}$ ,采集每位被试的眼动数据.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 Lenovo 笔记本电脑连接,用以记录被试眼动行为过程.选用 Dell 笔记本电脑与 SHARP XG-D3080XA 投影仪连接,并将刺激材料投放到幕布(幕布距离被试测试区域 2.5 m 左右)上.实验过程中要求被试坐在测试区域,面对投影仪幕布,眼睛水平视线在幕布中央,与足球运动真实场景的第一视角保持一致.采用手动调节校准和 4 点校准两种校准方法对被试佩戴的眼动仪进行校准.通过预备实验提高被试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,进行刺激材料播放,并要求被试按键进行决策反应,若并未进行按键反应,系统将播放结束后自动进入空白屏界面,若被试能够在有限时间内做出按键反应,系统将在按键后进入空白屏界面.眼动实验由 2 人协调配合完成,其中 1 人负责进行刺激材料播放和记录被试决策方案(运球、传球、射门等);1 人负责操作 D-Lab 3.0 软件记录被试的眼动过程.每位被试的眼动实验测试时间大约为 5 min.

### 1.5 数理统计

基于 D-lab 3.0 软件提取被试决策反应时数据.根据所有被试战术决策选择进行编码,以真实比赛场景下的决策选择为最佳决策依据,邀请专家对每位被试战术决策合理性进行判断,依据来源为被试行为选择对守门员所造成的威胁程度.邀请 5 名长期从事足球教学与训练的专家分别采用 Likert 5 级量表的形式对每种战术决策合理性进行评价.决策合理性的分值为 1~5 分,其中 1 分表示非常不合理,3 分表示一般,5 分表示非常合理,取其平均值作为战术决策合理性分值.在 D-lab 3.0 软件数据统计与提取模块,勾选本研究所需要的眼动参数并导出,经 Excel 2010 软件处理后保存.采用 SPSS 25.0 软件进行统计分析和绘图,采用 Kendall 和谐系数计算专家战术决策合理性评判的一致性程度;采用独立样本  $t$  检验进行决策绩效和眼动参数的统计分析,探讨 SWM 容量对战术决策和视觉搜索的影响.研究所涉及统计学方法均将检验水平定为  $\alpha=0.05$ .

## 2 研究结果

### 2.1 战术决策绩效

高、低容量组的被试各进行 72 次眼动测试.在战术决策反应时上,高容量组战术决策的反应时间显著性长于低容量组( $t=8.557, p<0.01$ );在战术决策合理性上,高容量组和低容量组不存在显著性差异( $t=-0.542, p=0.589$ )(表 1).因此,在“3V2”进攻战术决策场景下,SWM 容量较低的运动员表现出既迅速又合理的决策行为.

### 2.2 视觉信息加工的眼动特征

#### 2.2.1 注视次数

高容量组和低容量组在“3V2”进攻战术决策场景下总的注视次数不存在显著性差异( $t=0.554, p=0.581$ );高容量组在空当 AOI 的注视次数显著性多于低容量组( $t=$

2.847,  $p=0.005$ ),2 组在球门、近端攻防球员和远端攻防球员的注视次数不存在显著性差异( $p>0.05$ )(表 2).

#### 2.2.2 注视时间

高容量组在“3V2”进攻战术决策场景下总的注视时间显著性多于低容量组( $t=3.026, p=0.003$ );高容

表 1 进攻战术决策绩效的组间比较

Tab. 1 Comparison between groups of offensive tactical decision-making performance

变量	高容量组	低容量组	$t$	$p$
决策反应时/ms	3 958.63±677.93	3 076.81±534.93	8.557	0.000
决策合理性分值	3.77±1.03	3.86±0.87	-0.542	0.589

量组在空当的注视时间显著性多于低容量组( $t=3.293, p=0.001$ ),2 组在球门、近端攻防球员和远端攻防球员的注视时间不存在显著性差异( $p>0.05$ )(表 3)。

表 2 进攻战术决策场景下注视次数的组间比较

Tab. 2 Comparison between groups on the number of gazes in offensive tactical decision-making scenarios

AOI	高容量组注视次数	低容量组注视次数	<i>t</i>	<i>p</i>
空当	5.07±2.95	3.83±2.17	2.847	0.005
球门	0.83±1.13	0.77±1.25	0.312	0.756
近端攻防球员	4.13±2.41	4.80±3.49	-1.324	0.188
远端攻防球员	4.58±3.40	4.55±3.58	0.045	0.964
总计	14.61±7.27	13.94±6.90	0.554	0.581

表 3 进攻战术决策场景下注视时间的组间比较

Tab. 3 Comparison between groups on the fixation time in offensive tactical decision-making scenarios

AOI	高容量组注视时间/ms	低容量组注视时间/ms	<i>t</i>	<i>p</i>
空当	1 239.66±657.87	870.03±670.17	3.293	0.001
球门	46.25±84.45	50.14±14.36	-0.196	0.845
近端攻防球员	942.20±720.55	910.40±770.29	0.253	0.801
远端攻防球员	887.20±630.00	816.50±694.12	0.632	0.529
总计	3 115.30±709.41	2 647.00±1 078.70	3.026	0.003

运动员在不同 AOI 上的注视时间占总注视时间的比例称为注视时间分配比例.高容量组在“3V2”进攻战术决策场景下的注视时间分配排序由长到短为空当,近端攻防球员,远端攻防球员,球门;低容量组为近端攻防球,空当,远端攻防球员,球门.高容量组和低容量组在空当和近端攻防球员的注视侧重点不同,其中高容量组对空当的注视分配显著性大于低容量组( $p<0.05$ ),低容量组对近端攻防球员的注视分配大于高容量组,但并不具有统计学意义( $p>0.05$ ).

2.2.3 扫视次数

高容量组和低容量组在“3V2”进攻战术决策场景下总的扫视次数不存在显著性差异( $t=0.316, p=0.752$ );高容量组和低容量组在空当、球门、近端攻防球员和远端攻防球员 AOI 的扫视次数不存在显著性差异( $p>0.05$ )(表 4)。

表 4 进攻战术决策场景下扫视次数的组间比较

Tab. 4 Comparison between groups on the number of saccades in offensive tactical decision-making scenarios

AOI	高容量组扫视次数	低容量组扫视次数	<i>t</i>	<i>p</i>
空当	2.63±1.61	2.29±1.76	1.209	0.229
球门	0.56±1.01	0.32±0.68	1.688	0.094
近端攻防球员	2.24±1.82	2.57±2.14	-0.971	0.333
远端攻防球员	2.20±1.81	2.23±2.04	-0.107	0.915
总计	7.63±4.17	7.41±4.36	0.316	0.752

2.2.4 眼跳角度

高容量组和低容量组在“3V2”进攻战术决策场景下总的眼跳角度不存在显著性差异( $t=-0.665, p=0.507$ );高容量组在远端攻防球员的眼跳角度显著性小于低容量组( $t=-2.113, p=0.036$ ),两组在空当、球

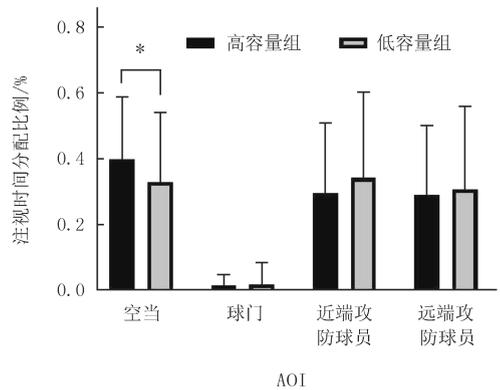


图1 进攻战术决策场景下注视分配的组间比较

Fig.1 Comparison between groups of gaze allocation in offensive tactical decision-making scenarios

门和近端攻防球员的眼跳角度不存在显著性差异( $p>0.05$ )(表 5)。

表 5 进攻战术决策场景下眼跳角度的组间比较

Tab. 5 Comparison between groups in saccade angles in offensive tactical decision-making scenarios

AOI	高容量组眼跳角度/(°)	低容量组眼跳角度/(°)	<i>t</i>	<i>p</i>
空当	4.44±2.24	4.35±2.54	0.229	0.819
球门	2.16±2.75	1.90±2.96	0.543	0.588
近端攻防球员	7.33±5.39	7.54±5.49	-0.228	0.820
远端攻防球员	5.92±3.85	7.43±4.62	-2.113	0.036
总计	19.85±11.54	21.22±12.83	-0.665	0.507

### 3 分析与讨论

本研究以足球“3V2”进攻战术决策场景为刺激材料,旨在测试不同 SWM 容量运动员足球进攻战术决策行为绩效和眼动参数,揭示 SWM 容量在视觉信息加工中的作用,归纳不同容量运动员的视觉搜索策略。信息加工的类比计算机模型观点认为,WM 类似于计算机的“内存条”,其容量越大,信息加工速度越快<sup>[13]</sup>。但本研究结果与其存在出入,这可能与其自身的视觉搜索策略存在关联,研究将着重对其进行分析与讨论。

任何运动项目的制胜本质是一致的,即要求运动员尽快准确做出最佳预判决策,并做出动作反应的过程<sup>[14]</sup>。SWM 是工作记忆多成分模型的重要组成部分,是实现空间信息的暂时性加工与储存的认知过程,对于揭示预判决策等高级认知活动具有重要意义<sup>[15]</sup>。本研究结果显示,SWM 容量对足球运动员进攻战术决策行为绩效和视觉搜索存在影响,验证了 SWM 容量个体差异影响决策行为和即时加工的论断。SWM 容量对战术决策反应时的影响显著,即高容量运动员决策反应时长于低容量运动员;在战术决策合理性上,SWM 容量的效应不显著。该研究结果与类比计算机模型的观点相反,但进一步支持了李华庆<sup>[8]</sup>等的研究。战术决策的前提是有效的视觉搜索,运动员通过对外界输入信息的编码、存储、整合等操作,实现高绩效的决策<sup>[16]</sup>。虽然高 SWM 容量有助于搜索到更多信息,但也意味着高容量运动员需要调用更多执行注意去解决冲突和干扰信息<sup>[17-18]</sup>,因此信息加工的时间相对延长。文献<sup>[19]</sup>指出,高 SWM 容量个体在解决问题时更依赖于 WM 系统,因而在复杂任务压力干扰其 WM 系统时,这些个体便表现出压力下“Choking”,这将影响战术决策。另外,任务决策类型对 SWM 容量个体任务决策产生调节作用,高容量个体倾向于认知决策,低容量个体倾向于直觉决策<sup>[20]</sup>。本研究实验设计是开放性的被试反应时-合理性权衡任务,高容量运动员追求合理性投入较多认知资源,因而延长了决策时间,而低容量运动员直觉决策的倾向,使其投入较少注视对关键 AOI 进行加工,避免多信息间的冲突,因而战术决策反应时较短。眼动参数显示高容量运动员的总注视时间显著性多于低容量运动员,因此耗费更多的时间进行认知信息加工,导致决策反应时拉长。高容量运动员在空当 AOI 投入的更多的注视次数和注视时间,而空当是最为关键的信息区域<sup>[21]</sup>,运动员往往通过解读空当的大小和变化做出决策,同时也需要通过“过滤器”将扫视过程中的非关键线索过滤掉,因此耗费较多的时间和注意资源;而低容量运动员基于球门威胁程度的考虑,通过对近端攻防球员投入更多的注视,并通过远端攻防球员的眼跳追随,实现对关键 AOI 的有效预判,其战术决策也并未因低容量而降低。

基于记忆的标签机制(Memory-Based Tagging Mechanisms, MBTM)认为,在视觉搜索过程中,注意需要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<sup>[22-23]</sup>。本研究显示不同容量运动员总的扫视次数和眼跳角度不存在显著性差异。该研究结果似乎不符合 MBTM 机制,高容量运动员并未产生较少的回视眼跳和抑制重复。研究认为,足球“3V2”进攻战术决策场景复杂多变的特征导致高容量运动员搜索集合的不断变化,增加了 SWM 负载,造成视觉搜索与 SWM 的相互干扰。本研究所选取运动员经验较为丰富,但由于 SWM 容量的作用,使得其在进攻战术决策任务中表现出不同的视觉搜索策略。高容量运动员基于反应时-合理性的权衡,倾向于对攻防球员不断撕扯变化的空当予以更多的注视,因此在增加战术决策合理性的同时降低了战术决策的反应时;而低容量运动员与之相反,限于其有限的 SWM 容量,仅对关键 AOI 进行眼跳追随,同时附带对决策场景信息

的认知加工,并未对空当做出过多的解读,可能并未参与过多的反应时-合理性权衡,因此战术决策行为绩效偏高.综上,高容量运动员从全局出发把握整体运动场景中的信息,采用刺激驱动与经验驱动相结合的“平行-系列”视觉搜索策略;而低容量专家组多基于特定线索进行决策,采用经验驱动的“系列化”视觉搜索策略.

研究认为,刺激材料的难度可能是造成与类比计算机模型观点歧义的原因.研究所选取的足球“3V2”进攻战术决策场景,涉及 AOI 数量较少,可能体现不出高容量运动员视觉搜索策略的经济性,因此研究假设若增加刺激材料难度,提高 AOI 数量,可能呈现不一致的研究结果.鉴于客观条件原因,本研究还存在以下不足:1)采用二维动态材料的形式呈现刺激信息,在视觉信息的呈现形式上无法使材料呈现 1:1 的画面,生态学效度偏低;2)限于专业职责要求,不同场上位置球员的战术决策和视觉搜索行为绩效可能存在差异.后续研究中可以从提高刺激材料难度、提高生态学效度和增加场上位置变量等方面进一步对该领域进行考察,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,探讨了 SWM 容量对足球进攻战术决策视觉信息加工的影响,结果发现:1)高容量运动员战术决策反应时高于低容量运动员;不同容量运动员战术决策合理性不存在显著性差异;2)高容量运动员战术决策反应时高的原因在于其采用“平行-系列”视觉搜索策略,对空当投入更多的注视;低容量运动员战术决策反应时高的原因在于其采用“系列化”视觉搜索策略,能够对关键 AOI 进行有效预判.建议通过减少刺激驱动的搜索改进高容量专家组信息加工策略,以适应相对简单的任务场景.

## 参 考 文 献

- [1] 黄竹杭,杨雪芹,徐湘.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,2008,31(9):1269-1272.  
HUANG Z H, YANG X Q, XU X. Building a football competition ability construction with a core of conscious of tactics[J]. Journal of Beijing Sport University, 2008, 31(9): 1269-1272.
- [2] LEX H, ESSIG K, KNOBLAUCH A, et al. Cognitive representations and cognitive processing of team-specific tactics in soccer[J]. PLoS One, 2015, 10(2): e0118219.
- [3] ANDRÉ R, FORD P R, MEMMERT D. Creative decision making and visual search behavior in skilled soccer players[J]. PLoS One, 2018, 13(7): e0199381.
- [4] 王洪彪.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,2013,32(3):28-32.  
WANG H B. Initial construction of cognitive processing models in the sport decision-making situations[J]. Journal of Shenyang Sport University, 2013, 32(3): 28-32.
- [5] CONWAY A R A, JARROLD C, KANE M J, et al. Ariation in working memory[M]. New York: Oxford University Press, 2007: 123-124.
- [6] MA W J, HUSAIN M, BAYS P M. Changing concepts of working memory[J]. Nature Neuroscience, 2014, 17(3): 347-356.
- [7] 龙芳芳,李昱辰,陈晓宇,等.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,2019(8):1404-1416.  
LONG F F, LI Y C, CHEN X Y, et al. Consolidation processing of visual working memory: time course, pattern and mechanism[J]. Advances in Psychological Science, 2019(8): 1404-1416.
- [8] 李华庆,迟立忠.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,2019,34(2):172-178.  
LI H Q, CHI L Z. Effect of visual spatial working memory capacity on defensive anticipation in basketball[J]. Journal of Tianjin University of Sport, 2019, 34(2): 172-178.
- [9] ANDERSON D E, VOGEL E K, AWH E. Precision in visual working memory reaches a stable plateau when individual item limits are exceeded[J]. The Journal of Neuroscience: the Official Journal of the Society for Neuroscience, 2011, 31(3): 1128-1138.
- [10] FURLEY P A, MEMMERT D. Working memory capacity as controlled attention in tactical decision making[J]. Journal of Sport & Exercise Psychology, 2012, 34(3): 322-344.
- [11] 张明,隋洁,方伟军.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,2002(5):565-568.  
ZHANG M, SUI J, FANG W J. Accessing the retrieval capability of visuospatial working memory of students with learning disabilities[J]. Psychological Science, 2002(5): 565-568.
- [12] 涂佳佳.手机游戏玩家的视觉工作记忆优势及相关神经机制[D].漳州:闽南师范大学,2020.  
TU J J. Visual working memory advantage and related neural mechanisms of mobile game players[D]. Zhangzhou: Minnan Normal University, 2020.
- [13] RICKER T J, NIEUWENSTEIN M R, BAYLISS D M, et al. Working memory consolidation: insights from studies on attention and work-

- ing memory[J].Annals of the New York Academy of Sciences,2018,1424(1):8-18.
- [14] 廖彦罡,张学民,葛春林.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,2009(2):133-137.  
LIAO Y G,ZHANG X M,GE C L.Eye movement of volleyball players in pictures scene[J].Journal of Tianjin University of Sport, 2009(2):133-137.
- [15] KLAUER K C,ZHAO Z M.Double dissociations in visual and spatial short-term memory[J].Journal of Experimental Psychology General,2004,133(3):355-381.
- [16] 弭元元,谭碧蓝,王彬又.运动目标预测跟踪的神经计算机制[J].河南师范大学学报(自然科学版),2021,49(6):55-63  
MI Y Y,TAN B L,WANG B Y.Neural mechanisms for anticipative tracking of moving objects[J].Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition),2021,49(6):55-63.
- [17] DUCHOWSKI A T,KREJTZ K,KREJTE I,et al.An eye on perceptual graphics:eye-tracking methodology[J].The Eurographics Association,2013,3(6):258-261.
- [18] JOST K,BRYCK R L,VOGEL E K,et al.Are old adults just like low working memory young adults? Filtering efficiency and age differences in visual working memory[J].Cerebral Cortex,2010,21(5):1147-1154.
- [19] 陈亚林,刘昌.有关工作记忆的压力下“Choking”[J].心理科学进展,2009,17(4):691-698.  
CHEN Y L,LIU C.Choking under pressure relate to working memory[J].Adv Psychol Sci,2009,17(4):691-698.
- [20] 叶浣钰.情绪与工作记忆对羽毛球运动员决策的影响[D].北京:北京体育大学,2012.  
YE H Y.Effects of emotion and working memory on decision-making of badminton players[D].Beijing:Beijing Sport University,2012.
- [21] 史鹏,吕中凡,魏征,等.足球运动员进攻战术决策任务下的视觉搜索特征[J].福建体育科技,2021,40(2):26-28.  
SHI P,LV Z F,WEI Z,et al.The feature of visual search in football player's attacking tactical decision task[J].Fujian Sports Science and Technology,2021,40(2):26-28.
- [22] WOLFE J M.Guided Search 2.0 A revised model of visual search[J].Psychonomic Bulletin & Review,1994,1(2):202-238.
- [23] PETERSON M S,KRAMER A F,WANG R F,et al.Visual search has memory[J].Psychological Science,2001,12(4):287-292.

## Effects of spatial working memory capacity on visual information processing of football players' offensive tactics decision

Shi Peng<sup>1</sup>, Lü Zhongfan<sup>2,3</sup>, Wang Guodong<sup>2,3</sup>, Wei Zheng<sup>2,3</sup>, Sun Jinyue<sup>1</sup>,  
Zhang Dongyang<sup>2,3</sup>, Zhang Duoyao<sup>2</sup>

(1. School of Physical Education and Sport Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2. Physical Education College, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 3. Sports Human Science Key Laboratory of Liaoning Province, Dalian 116029, China)

**Abstract:** [Purpose] To explore the influence of spatial working memory(SWM)capacity on the visual information processing of football players'offensive tactical decision-making. [Method] Subjects were selected to measure their SWM capacity through the recall report paradigm. The subjects were divided into high-capacity group and low-capacity group. The video restored from the "3V2" real game video was used as the stimulation material. Dikablis professional head mounted eye tracker was used to record and process the eye movement parameters and decision-making response with D-Lab software. Experts are invited to independently score the rationality of decision-making, and SPSS 25.0 software is used for statistical analysis. [Result] 1)The reaction time of tactical decision-making in high-volume group was significantly longer than that in low-volume group( $p < 0.01$ ); There was no significant difference between high volume group and low volume group( $p > 0.589$ ); 2)There was no significant difference between high volume group and low volume group in total fixation times, saccade times and saccade distance( $p > 0.05$ ); 3)The fixation times, fixation time and fixation distribution of high-capacity group were significantly higher than those of low-capacity group( $p < 0.05$ ), and the saccade angle of AOI of distal offensive and defensive players was significantly lower than that of low-capacity group( $p < 0.05$ ). [Conclusion] The reason for the high response time of high-capacity athletes'tactical decision-making is that they adopt the "parallel series" visual search strategy and pay more attention to the empty; the reason for the high response time of low-capacity athletes'tactical decision-making is that they can effectively predict the key aera of interest by using the "series" visual search strategy.

**Keywords:** spatial working memory capacity; tactical decision-making; visual search; football