



国家飞碟射击运动员运动视觉能力与专项成绩的相关性研究

Study on the Correlation between Sports Vision Ability and Special Performance of National Clay Target Shooters

高东旭^{1,2}, 苑廷刚^{1*}, 王国杰³, 程泓人⁴, 韩鹏鹏⁵, 刘嘉伟^{1,6}, 陈超²
GAO Dongxu^{1,2}, YUAN Tinggang^{1*}, WANG Guojie³, CHENG Hongren⁴,
HAN Pengpeng⁵, LIU Jiawei^{1,6}, CHEN Chao²

摘要:目的:探讨国家飞碟射击运动员运动视觉能力与专项成绩的关系。方法:通过Senaptec系统测评国家飞碟射击队32名运动员(男14人,女18人)运动视觉能力指标,以3场2023年国际射联世界杯选拔赛资格赛成绩均值反映其专项成绩,采用多元线性逐步回归分析二者的相关性。结果:1)运动员的优势手反应时与专项成绩相关性最高,呈近似线性正相关($r=0.916, P<0.001$),决策机制(go/no go)正确点击数量、远近切换得分与专项成绩呈非常高度正相关($r=0.800\sim 0.856, P<0.01$),决策机制整体得分、多目标追踪比例得分、感知范围数量、手眼协调平均反应时、反应时均值与专项成绩呈高度正相关($r=0.520\sim 0.609, P<0.01$)。对比敏感度等其他指标与专项成绩呈中度正相关($r=0.363\sim 0.487, P<0.05$)。决策机制错误点击数量与专项成绩具有高度负相关性($r=0.510, P<0.01$)。2)左、右眼视觉清晰度、远近切换得分、近端切换平均反应时、多目标追踪比例得分、多目标追踪极限速度、手眼协调平均反应时、决策机制整体得分、决策机制正确点击数量、平均反应时、优势手反应时中表现优异的运动员专项成绩较好($P<0.05$)。3)优势手反应时、决策机制正确点击数量、双眼视觉清晰度、对比敏感度、感知范围、多目标追踪是预测飞碟射击运动员专项成绩的关键变量($R^2=95.59\%, P<0.001$)。结论:国家飞碟射击运动员的专项成绩受到运动视觉能力不同程度的影响。视觉清晰度、远近切换、多目标追踪、手眼协调、决策机制、反应时对飞碟射击专项成绩具有显著影响,优势手反应时、决策机制、感知范围、多目标追踪视觉能力对于提升飞碟射击运动员专项成绩表现至关重要。

关键词:运动视觉能力;飞碟射击;运动表现;反应时;测试评价

Abstract: Objective: To explore the relationship between sports vision ability and special performance of national clay target shooters. Methods: The sports vision ability of 32 athletes (14 male, 18 female) of the national clay target shooting team was evaluated by Senaptec system, their special performance was reflected by the average results of three World Cup qualifiers, and the correlation was analyzed by multiple linear stepwise regression. Results: 1) The athletes' dominant hand reaction time had the highest correlation with the special performance, showing an approximate linear positive correlation ($r=0.916, P<0.001$), and the number of correct clicks of the decision mechanism (go/no go) and the near/far quickness score had a very high positive correlation with the special performance ($r=0.800\sim 0.856, P<0.01$), the overall score of go/no go, the score of multi-object tracking ratio, the number of perceptual span, the mean reaction time of hand-eye coordination, and the mean reaction time were highly positively correlated with the special performance ($r=0.520\sim 0.609, P<0.01$). Contrast sensitivity and other indexes were moderately positive correlated with the special performance ($r=0.363\sim 0.487, P<0.05$). There was a high negative correlation between the number of wrong clicks of the go/no go and the special performance ($r=0.510, P<0.01$). 2) Athletes with excellent performance in left and right eye visual acuity, near/far quickness score, near quickness reaction time, multi-object tracking

基金项目:

国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费资助项目(基本23-29)

第一作者简介:

高东旭(1995-),男,在读博士研究生,主要研究方向为数字化科学训练,E-mail:2695331189@qq.com。

*通信作者简介:

苑廷刚(1969-),男,研究员,博士,主要研究方向为运动视频图像多重处理技术、运动技术分析和评价、运动训练科学化监控和评价,E-mail:yuantinggang@ciss.cn。

作者单位:

1. 国家体育总局体育科学研究所,北京 100061;
 2. 上海体育大学,上海 200438;
 3. 南京体育学院,江苏南京 210014;
 4. 武汉体育学院,湖北武汉 430079;
 5. 北京体育大学,北京 100084;
 6. 清华大学,北京 100084
1. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China;
2. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;
3. Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China;
4. Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China;
5. Beijing Sport University, Beijing 100084, China;
6. Tsinghua University, Beijing 100084, China.

ratio score, multi-object tracking fastest speed, hand-eye coordination average reaction time, overall score of go/no go, number of correct clicks of go/no go, mean reaction time and dominant hand reaction time could achieve better special performance ($P < 0.05$). 3) Dominant hand reaction time, number of correct clicks of the go/no go, binocular visual clarity, contrast sensitivity, perceptual range and multi-target tracking were the key variables to predict the special performance of clay target shooters ($R^2 = 95.59\%$, $P < 0.001$). Conclusions: The special performance of national clay target shooters is affected by the sports vision ability to different degrees. Visual acuity level, near/far quickness, multi-object tracking, hand-eye coordination, go/no go and reaction time have a significant effect on the special performance of clay target shooting. Dominant hand reaction time, go/no go, perceptual span and multi-object tracking visual ability are crucial to improve the special performance of clay target shooters.

Keywords: sports vision ability; clay target shooting; performance; reaction time; evaluation

中图分类号: G871.3 **文献标识码:** A

飞碟射击对运动员的运动视觉能力具有较高的要求,精英飞碟运动员击发瞬间的视觉信息处理速度要求接近前庭眼追踪系统的极限,只有几毫秒的时间对碟靶等重要视觉信息进行判断和决策(Bahill et al., 1984)。研究发现,高水平运动员比一般水平的运动员表现出更强的预测、模式识别和视觉搜索能力(Eccles et al., 2006; Helsen et al., 1999)。精英飞碟射击运动员同样具备更快的反应时,视觉捕捉和目标追踪能力(Abernethy et al., 1999; Causer et al., 2010),但运动表现更多取决于哪些运动视觉能力仍需进一步探寻。前人研究对类似的目标截击性运动的视觉反应时(Classse et al., 1997)、动态立体视敏度(Solomon et al., 1988)、双眼散光(Spaniol et al. 2015)、视觉辨识能力(Reichow et al., 2011)与运动表现进行了相关性分析,但仍存在一定的研究局限。视觉研究相关的评估手段和标准不一也导致研究结果存在一定出入(Erickson et al., 2011)。以往飞碟射击领域中运动视觉研究主要为眼动追踪实验研究(孙国晓等, 2018),精英、亚精英(Causer et al., 2010)、专家-新手范式的视觉能力比较研究(Abernethy et al., 1999),目前鲜见关于运动视觉能力与运动成绩相关性分析研究。

Senaptec 系统(美国)的前身为 Nike SPARQ 感知训练站,能够进行全面的运动视觉能力测试且系统的信、效度已经过检验(Wang et al., 2015),在棒球(Klemish et al., 2018; Liu et al., 2020)、冰球(Poltavski et al., 2014)、垒球(Appelbaum et al., 2016)等类似飞碟射击的目标拦截性项目研究中得到应用。因此,本研究通过 Senaptec 测试系统对国家飞碟射击队运动员 10 类运动视觉能力指标进行数据采集后与运动专项成绩进行相关性分析,以探求对于飞碟射击运动员专项成绩提升重要的运动视觉能力指标。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究选取国家飞碟射击队运动员共 32 名(男 14 人,女 18 人),年龄(23.56±5.10)岁,训练年限(9.41±4.83)年,

双向项目 16 名、多向项目 16 名,运动员技术等级均为一级以上。受试者按照国家飞碟射击队统一安排训练,每周不少于 5 天,每天不少于 3 h,同时本研究采用的测试方案与流程获得了国家飞碟射击队教练员的同意,且所有受试者在测试前均已被告知测试内容,获得其知情同意。

1.2 研究方法

1.2.1 运动专项成绩测试

本研究选取的受试者由双、多向飞碟射击运动员组成,除了资格赛同为 125 靶外,由于 2 个项目的其余竞赛单元规则有所差异很难统一反映运动成绩,且无论从技术发挥稳定性还是运动员的综合实力体现,资格赛成绩都是对飞碟射击运动员竞技水平评价和认识的最佳方式,经过与国家飞碟射击队教练组进行充分论证,本研究选取国家飞碟射击队在运动视觉能力测试后的 3 场世界杯选拔赛资格赛成绩(2023 年塞浦路斯站、埃及站世界杯选拔赛莆田站、清流站)进行统计,计算平均值作为运动员运动专项成绩指标。所有运动员的测试场地、靶场环境相同,且能够充分调动运动员的求胜欲望,真实反映运动员的竞技水平。

1.2.2 运动视觉能力测试

1) 测试时机选择:根据国家飞碟射击队的赛训安排,一方面避免与比赛冲突影响测试进度,同时避免运动员因高强度比赛引起的疲劳影响测试结果,经过与国家飞碟射击队教练组研讨,决定在第一场世界杯选拔赛前 3 周进行运动视觉能力测试(图 1)。2) 测试指标:Elmurr(2011)将运动视觉功能划分为软件和硬件指标 2 种类型,硬件指标主要在视觉信息的接收层面。受到运动员视觉系统的眼部特征影响,视觉系统的硬件包括静态视敏度、感知深度等运动视觉能力测评的基础指标。软件指标主要在视觉信息的加工层面,这类指标受运动员的经验和策略的影响,视觉系统的软件包括信息处理策略,记忆编码检索、感知信息提取及预判等主要用于处理传入信息的相关指标(Elmurr, 2011),本研究采用的 Senaptec 系统基于上述理论依据对测试指标进行分类说明(表 1):共 10 类指标,分

别为视觉清晰度 (visual clarity, VC)、对比敏感度 (contrast sensitivity, CS)、感知深度 (depth perception, DP)、远近切换 (near/far quickness, N/FQ)、感知范围 (perception span, PS)、多目标追踪 (multiple object tracking, MOT)、反应时 (reaction time, RT)、目标捕捉 (target capture, TC)、手眼协调 (eye hand coordination, EHC)、决策机制 (go/no go, G/NG)。3) 测试方法: 测试采用 Senaptec 系统 (美国) 按照系统设定的先后顺序进行评估 (表 2), 测试设计参照 Jones 等 (2016) 的研究, 根据系统模式而定。



图1 运动视觉能力测试

Figure 1. Sports Vision Ability Test

1.3 数据统计

运用 SPSS 26.0 统计软件进行数据分析, 结果以平均值 ± 标准差 ($M \pm SD$) 表示, 统一采用 95% 置信区间 (95% CI)。数据的正态分布通过 Shapiro-Wilk 方法配合直方图进行检验。采用中位数分割法将各运动视觉能力测试指标结果数据分为优秀组和非优秀组, 采用独立样本 t 检验比较组间的专项成绩差异, Cohen's d 效应量 (effect size, ES) 取值在 0.20~0.49 为小效应, 0.50~0.79 为中等效应, ≥ 0.80 为大效应。通过单因素线性回归分析确定运动视觉能力测试指标与专项成绩之间的关系, 相关系数 r 在 0.10~0.29 为低相关, 0.30~0.49 为中度相关, 0.50~0.69 为高度相关, 0.70~0.89 为非常高度相关, 0.90~0.99 为近似线性相关。采用多元线性逐步回归分析法探究影响飞碟射击专项成绩的关键运动视觉因素, 效应量 R^2 分为弱 (1%~8%)、中 (9%~24%) 和强 ($\geq 25\%$) 3 个等级 (Lachenbruch, 1989)。 $P < 0.05$ 为具有显著差异, $P < 0.001$ 为具有非常显著差异。

表1 运动视觉能力测试指标说明

Table 1 Description of Sports Vision Ability Test Indicators

指标分类	测试指标	测试内容	测试目的
运动视觉系统硬件指标 (接收视觉信息)	VC	测试一定的距离下对细节的视觉敏锐度	反映运动员的静态视敏度
	CS	测量一定距离下对比度的最小可分辨差	反映运动员视觉系统在不同亮度条件下处理有关物体及其背景空间的能力
	DP	评估受试者在使用液晶眼镜时在一定距离内检测深度差异的速度和准确性	反映运动员快速且准确判断眼前物体的距离以及空间位置关系的能力
运动视觉系统软件指标 (处理视觉信息)	N/FQ	测试 30 s 内能够正确判断的近处和远处目标的数量	评估运动员视觉能力的调节性会聚功能, 即视线和焦点在远处和近处切换的能力
	PS	评估受试者记忆和重建视觉模式的能力	评估运动员的视觉感知识别能力, 使用双视野测量识别物体、速度和跨度
	MOT	测评受试者同时跟随多个移动目标的能力	反映选择性注意、分配注意、持续注意等多方面能力
	RT	测量受试者对简单刺激信号做出动作应答的时间	反映运动员对简单视觉刺激的反应和应对速度
	TC	测量受试者注意力切换和识别外周视域目标的速度	反映运动员视觉跳跃追踪的能力
	EHC	测量受试者对快速变化的目标通过视觉导向的反应手速	在获取视觉信息的基础上, 处理整合视觉信息, 引导控制身体迅速、连贯、准确做出动作, 反映运动员视觉系统和动作执行系统的配合能力
G/NG	测量在 go/no go 刺激下执行和抑制视觉导向并做出手反应的水平	反映了在快速、准确找到目标的基础上, 运动员对自身反应抑制的控制能力和认知灵活性	

2 结果

2.1 测试指标

在测试指标结果中 (表 3), 运动员在 VC 测试中 VC_B 更具优势 (4.97 ± 0.21); CS 测试中 CS_6 测试结果更为理想 [$(2.010 \pm 0.020) \log CS$ vs $(1.995 \pm 0.114) \log CS$]; DP 测试中 DP_P 更具优势 (104.69 ± 14.10) arcsec; N/FQ 中 NFQ_N_RT 短于 NFQ_F_RT [$(884.91 \pm 16.57) ms$ vs $(1\ 214.75 \pm 6.78) ms$]; EHC 测试中, EHC_C_RT 小于 EHC_P_RT [$(534.07 \pm 48.88) ms$ vs $(621.48 \pm 41.91) ms$];

RT 测试中, RT_ND 多于 RT_D 的用时 [$(310.72 \pm 31.55) ms$ vs $(308.75 \pm 7.91) ms$];

2.2 运动视觉能力对飞碟射击专项成绩的影响

与运动视觉能力得分较低的运动员相比 (图 2), RT_D、RT_A 较高水平的运动员的专项成绩可提升 6.007 靶 [$3.470, 8.543$], 4.458 靶 [$1.487, 7.428$], 具有较强显著性差异 ($P < 0.01$, $ES = 0.49 \sim 0.66$); GNG_G_HIT、GNG_SCORE 较高的运动员可提升 5.831 靶 [$3.239, 8.424$], 3.230 靶 [$0.046, 6.414$], 具有显著性差异 ($P < 0.05$, $ES = 0.34 \sim 0.64$);

N/FQ_SCORE、NFQ_N_RT 水平较优的运动员可提升专项成绩 5.790 靶 [3.184, 8.395]、3.315 靶 [0.143, 6.486], 具有较强显著性差异 ($P < 0.05$, $ES = 0.36 \sim 0.62$)。EHC_RT 水平较优的运动员的专项成绩高 4.539 靶 [1.489, 7.589], 具有显著性差异 ($P < 0.05$, $ES = 0.47$); MOT_P_S 和 MOT_SPEED 水平较优的运动员专项成绩可提升 3.517 靶 [0.285, 6.749]

和 3.475 靶 [0.185, 6.765], 具有显著性差异 ($P < 0.05$, $ES = 0.35 \sim 0.36$)。VC_L 和 VC_R 较优的运动员可提升专项成绩 3.157 靶 [0.020, 3.162]、2.646 靶 [0.584, 4.708], 具有显著性差异 ($P < 0.05$, $ES = 0.34 \sim 0.42$); GNG_R_HIT 得分高的运动员的专项成绩比较低水平的运动员低 6.363 靶 [2.363, 10.363], 具有较强显著性差异 ($P < 0.01$, $ES = 0.51$)。

表 2 运动视觉能力测试详细说明
Table 2 The Detailed Description of the Sports Vision Ability Test

测试指标	基本位置与起始姿势	具体要求	评判标准
VC 	受试者手持移动端站在距离平板电脑 3 m 处测试	判断平板显示屏上 C 形图案的缺口方向并在移动端滑向相应方向; 先测试左、右单眼视力、后测试双眼视力	判断的精准度越高, 图形越小。测试指标单位为 logMAR, 越小越好, 采用 5 分法换算, 即 5-得分
CS 		平板显示屏上会出现 4 个黑色圆形, 其中随机方向上 1 个圆形内部会出现深浅不一的同心圆, 需找出后在移动端滑向对应方向	随着正确率增加, 同心圆内的对比度越来越不明显。测试指标单位为 logCS, 越高越好
DP 		屏幕上出现 4 个黑色圆形, 随机 1 个为有立体视觉感, 需找出该圆形并在移动端滑向对应方向。先进行双眼测评, 后分别完成右、左眼测试	随着正确率增加, 目标圆的对比度和立体感越来越不明显。测试指标单位为 arcsec, 越小越好
N/FQ 	受试者距离平板显示屏 3 m, 手持的移动端顶部位于平板屏幕底部且距离双目 40 cm	测试时, 平板显示屏 (远端) 和移动端 (近端) 交替出现 C 字图案, 运动员在 30 s 内在远端和近端之间切换焦点判断缺口方向后, 迅速在移动端滑向对应方向	判断速度越快, 方向越准确越好, 测试指标包括 30 s 内滑动数量, 越高越好; 远、近端反应时单位为 ms, 越小越好
PS 	受试者站在距离平板显示屏 60 cm 处, 眼睛和屏幕中心水平	屏幕上出现一定数量从中心向外辐射状的圆圈, 一些圆圈中心快速闪现黑点, 运动员需找出点击黑点所在圆圈	圆圈、黑点的数量不断增加, 范围不断变广, 得分基于正确判断的累积数量, 越高越好
MOT 		屏幕上出现几组球, 每组球由 2 个黑色球组成, 其中 1 个球变为红色后即变回黑色, 随后开始不停随机顺、逆时针方向转动, 停转后需要找出每组内最初变红的球	测试指标包括正确追踪的数量 (个)、速度 [$^{\circ}$]/s 比例得分 (%) 和综合得分, 越高越好
RT 		受试者先选择惯用手。屏幕上先出现 2 个圆形, 用双手食指轻触圆心, 圆形变为绿色, 后 2 个圆形随机变红, 需迅速抬起对应的食指再放下	测试包括优势手反应时、非优势手反应时及平均反应时, 单位为 ms, 动作速度越快越好
TC 	受试者手持移动端站在距离屏幕 3 m 处, 调整大屏中间的蓝色标志线和视线平齐	受试者注视屏幕的中心点, 屏幕的 4 个角落随机突然出现 C 字图案, 判断缺口方向并在移动端划出相应方向	测试指标单位为 ms, 速度越快越好
EHC 	运动员站在距离大屏 60 cm 处, 升高大屏中线与双臂平齐或略高, 以免影响外周视野范围内目标物的点触速度	屏幕上出现 8 列 10 行空心圆环, 其中 1 个圆环会随机变为蓝绿色, 受试者点击后在随机位置再出现 1 个要求在规定时间内尽可能快速、准确地点击到更多数量	测试指标包括整体用时、平均反应时、中央区域反应时、外周区域反应时, 单位均为 ms, 越小越好
G/GG 		屏幕上会出现和眼-手协调相同的 8 列圆形, 上面会随机出现绿点或红点, 出现绿点需要快速点触, 出现红点不得点触	测试指标包括整体得分、正确点击数量越高越好, 错误点击数量越低越好

注: 插图测试指标示意图。

2.3 运动视觉能力与飞碟射击专项成绩之间的相关性

在所有测试指标中 (表 4), RT_D 与专项成绩的相关性最高, 呈近似线性正相关 ($r = 0.916$, $P < 0.001$), 解释了

运动员 83.3% 的专项成绩方差, GNG_G_HIT ($r = 0.856$, $P < 0.01$) 与专项成绩呈非常高度正相关, 解释了运动员 72.4% 的专项成绩方差; NFQ_SCORE ($r = 0.800$, $P < 0.001$) 与

专项成绩呈非常高度正相关,解释了运动员 62.7% 的专项成绩方差。RT_A($r=0.609, P<0.01$)、NFQ_F_RT($r=0.592, P<0.01$)、PS($r=0.586, P<0.01$)、MOT_P_S($r=0.549, P<0.01$)、EHC_RT($r=0.534, P<0.01$)、GNG_SCORE($r=0.520, P<0.01$)与专项成绩呈高度正相关,解释了运动员 35.1%、32.9%、32.1%、27.8%、26.1%、24.6%的专项成绩方差。

表3 测试指标的描述性统计结果

Table 3 Descriptive Statistical Results of Test Indicators

测试内容	测试指标	结果	95% CI	
			下限	上限
专项成绩	3场世界杯选拔赛专项成绩平均值	113.64±4.60	111.98	115.29
VC	VC_R(5分法)	4.86±0.21	4.786	4.941
	VC_L(5分法)	4.87±0.08	4.847	4.902
	VC_B(5分法)	4.97±0.04	4.950	4.981
CS	CS_6/logCS	2.010±0.020	2.006	2.023
	CS_18/logCS	1.995±0.114	1.954	2.036
DP	DP_P/arcsec	104.69±14.10	99.61	109.77
	DP_L/arcsec	133.29±11.23	129.24	137.34
	DP_R/arcsec	128.03±14.90	122.66	133.40
N/FQ	NFQ_SCORE	24.73±0.92	24.40	25.06
	NFQ_N_RT/ms	884.91±16.57	878.94	890.88
	NFQ_F_RT/ms	1 214.75±6.78	1 212.31	1 217.20
TC	TC/ms	231.80±8.52	228.72	234.87
PS	PS/个	47.07±0.51	46.89	47.25
MOT	MOT_P_S	0.762±0.041	0.747	0.777
	MOT_C_S	1 832.46±596.40	1 617.44	2 047.48
	MOT_OBJ/个	5.00±0.36	4.87	5.13
	MOT_SPEED/[$(^{\circ})\cdot s^{-1}$]	495.50±107.67	456.68	534.32
EHC	EHC_T/ms	47 367.94±2 408.51	46 499.58	48 236.30
	EHC_RT/ms	595.75±28.82	585.35	606.14
	EHC_C_RT/ms	534.07±48.88	516.45	551.69
	EHC_P_RT/ms	621.48±41.91	606.37	636.59
G/NG	GNG_SCORE	8.38±1.04	8.00	8.75
	GNG_G_HIT/个	8.03±1.81	7.38	8.68
	GNG_R_HIT/个	0.16±0.37	0.02	0.29
RT	RT_A/ms	311.06±1.46	310.54	311.59
	RT_D/ms	308.75±7.91	305.90	311.60
	RT_ND/ms	310.72±31.55	299.34	322.09

注:VC_R,右眼视力;VC_L,左眼视力;VC_B,双眼视力;CS_6,每度视角6周栅条的空间频率对比阈限;CS_18,每度视角18周栅条的空间频率对比阈限;DP_P,双眼感知深度阈值;DP_L,左侧感知深度阈值;DP_R,右侧感知深度阈值;NFQ_SCORE,远近切换30s得分;NFQ_N_RT,远近切换近端平均反应时;NFQ_F_RT,远近切换远端平均反应时;TC,目标捕捉极限速度;PS,感知范围数量;MOT_P_S,多目标追踪比例得分;MOT_C_S,多目标追踪综合得分;MOT_OBJ,多目标追踪最高可追踪的数量;MOT_SPEED,多目标追踪最高可追踪的速度;EHC_T,手眼协调总体用时;EHC_RT,手眼协调平均反应时;EHC_C_RT,手眼协调中心视域平均反应时;EHC_P_RT,手眼协调外周区域平均反应时;GNG_SCORE,决策机制整体得分;GNG_G,决策机制正确点击数量;GNG_R,决策机制错误点击数量;RT_A,平均反应时;RT_D,优势手反应时;RT_ND,非优势手反应时。

EHC_C_RT、VC_R、VC_L、VC_B、CS_6、DP_L、DP_R、NFQ_N_RT、MOT_C_S、MOT_SPEED、EHC_T、EHC_P_RT、TC与专项成绩呈中度正相关($r=0.354\sim 0.487, P<0.05$),解释了运动员 9.6%~21.2%的专项成绩方差;GNG_R_HIT($r=0.510, P<0.01$)与专项成绩呈高度负相关,解释了运动员 23.6%的专项成绩方差。

2.4 飞碟射击专项成绩的关键影响因素

以专项成绩为因变量,将在独立样本 t 检验中具有显著性差异的 12 项测试指标作为自变量进行多元线性逐步回归

分析,分析限制运动员专项成绩的关键影响因素。本研究发现,RT_D($B=0.298, t=8.143, P<0.001$;表 5)、GNG_G_HIT 对专项成绩的影响具有非常显著差异($B=0.868, t=5.580, P<0.001$;表 5)。

最终回归方程为:

$$\hat{Y} = -153.451 + 0.298 \times RT_D + 0.868 \times GNG_G_HIT + 23.838 \times CS_6 + 12.032 \times VC_B + 1.254 \times PS + 0.001 \times MOT_C_S \quad (1)$$

式(1)解释了运动员 95.9%的专项成绩方差(校正 $R^2=$

0.959, $F=122.92, P<0.001$), 其中 RT_D 指标占比为 51.25%, GNG_G_HIT 指标占比为 34.03%, CS_6 指标占比为 12.26%,

VC_B 指标占比为 11.33%, PS 指标占比为 13.84%, MOT_C_S 指标占比为 9.32%。

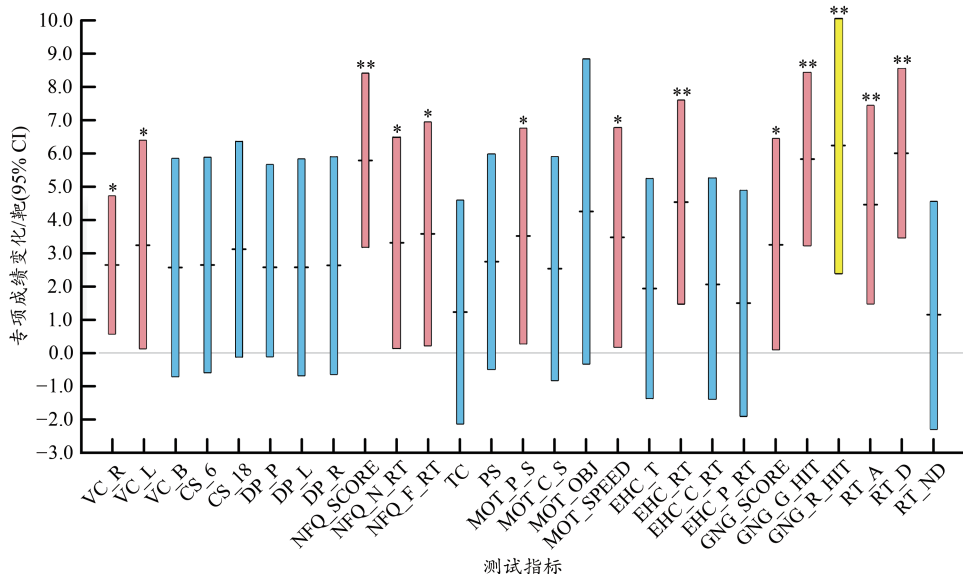


图2 运动视觉能力测试指标对专项成绩的影响

Figure 2. Effects of Sports Vision Ability Test Indicators on Special Performance

注:测试指标粉、蓝、黄分别代表该指标的优秀组较非优秀组的专项成绩有显著提升、无显著变化、有显著降低;* $P<0.05$,** $P<0.01$;下同。

3 分析与讨论

视觉、感知以及动作控制能力在目标截击性运动中的特殊作用多年来一直备受关注(孙文芳等, 2018; Miller et al., 2011)。研究发现:1)在 RT(RT_A、RT_D)、G/NG(GNG_G_HIT、GNG_R_HIT)、NFQ(NFQ_SCORE、NFQ_N_RT)测试中表现较为突出的飞碟射击运动员可有效提升专项成绩($P<0.01$);2)各测试指标与专项成绩呈不同程度的相关性;3)运动员的专项成绩受 RT_D 和 GNG_G_HIT 的影响最大。整体上,本研究与 Poltavski 等(2015)采用 Nike 感知训练站分析运动视觉能力与冰球运动员运动表现的相关性结果类似,运动表现指标与动态视觉感知和视觉动作控制能力具有显著关联,即与知觉、注意力、认知参数相结合的运动视觉能力指标与运动员进球得分和平均比赛分数强相关。此外,本研究结果也与 Ciuffreda 等(2004)在对视觉功能与运动表现相关性研究的 Meta 分析中赋予这些视觉功能的相对权重具有一定吻合性,即视觉软件能力对于运动员的运动表现具有更积极的预测作用。

3.1 运动视觉系统硬件指标分析

不仅是 Elmurr(2011)的指标分类, Erickson(2018)研究认为, VC、CS 和 DP 相关指标同属侦测和选择输入信息的感知机制范畴, VC 测试结果主要体现了运动员静态视觉敏感度; CS 属于静态视觉, 反映视觉系统在不同亮度条件下处理有关物体及其背景空间的能力, CS 与 VC 存在一定关系, CS 较好的运动员能将视觉目标“看得清”“分得

准”。从本研究结果来看, CS_6、VC_B 是预测运动成绩的关键变量。DP 反映了运动员快速、准确判断眼前物体的距离以及空间位置关系的能力, VC、DP 这类在远处提取视觉细节和确定深度差异的测试指标, 反映了视觉系统的一般性基础能力, 也是长期的训练经验积累的视觉硬件优势(Elmurr, 2011)。

静态视觉能力良好是正常进行视觉信息获取的前提, 碟靶在视网膜上出现越清晰, 对其飞行速度变化判断越准确, 接靶也就越准确。赛训中经常会换到新的、背景较乱的靶场, 有时背景中较明显的物体会吸引射手注意力, 影响看靶效果, 若看靶不清, 起枪也会带有盲目性, 影响接靶的准确性(王晓等, 2016)。日常训练中教练员也会在靶场 36 m 弦上从靶房向 8 号位设立起 6、8、12 m 等距离提示的号牌帮助运动员培养持枪准星所指位置空间感知准确性(刘继昇, 2004)。Klemish 等(2018)采用 Nike 感知训练站的测试系统比较投手和击球手的视觉能力差异发现, 专业水平的击球手具有更好的 VC($t=3.75, P<0.001$)和 DP($t=2.42, P=0.047$), 证实了高水平运动员有更加突出的感知能力。在截击性任务中, 完成预估目标的空间位置和移动轨迹需要一定的基础视觉能力(Hofeldt, 1996)。

3.2 运动视觉系统软件指标分析

3.2.1 N/FQ 与 TC

N/FQ 测试评估运动员视觉能力的调节性会聚功能, 即在中央视域视线和焦点远端、近端切换的能力。TC 测

试更多是对中央视区以外的视野范围发现突然出现的目标的视觉目标敏感性。二者作为动态视觉敏感度(dynamic vision ability, DVA)的测评指标反映了运动员眼部肌肉协调性和眼动效率,对快速移动的目标做出反应的跳眼运动的启动延迟是影响 DVA 测评结果的关键因素之一(Kohmura, 2008)。

表4 测试指标与专项成绩的相关性
Table 4 Correlation between Test Indicators and Special Performance

预测变量	专项成绩					
	<i>r</i>	<i>R</i> ²	校正 <i>R</i> ²	德宾-沃森	<i>F</i>	<i>t</i>
VC_R	0.486**	0.237	0.211	1.515	9.301**	3.050**
VC_L	0.367*	0.135	0.106	1.786	4.677*	2.163*
VC_B	0.367*	0.135	0.106	1.526	4.662*	2.159*
CS_6	0.363*	0.131	0.102	1.519	4.539*	2.131*
CS_18	0.324	0.105	0.075	1.795	3.524	1.877
DP_P	0.337	0.114	0.084	1.295	3.845	1.961
DP_L	0.425*	0.181	0.153	1.776	6.613*	2.572*
DP_R	0.387*	0.150	0.122	1.685	5.292*	2.300*
NFQ_SCORE	0.800**	0.639	0.627	1.963	53.212**	7.295**
NFQ_N_RT	0.445*	0.198	0.171	1.978	7.393*	2.719*
NFQ_F_RT	0.592**	0.350	0.329	2.115	16.188**	4.023**
TC	0.487**	0.237	0.212	1.402	9.323**	3.053**
PS	0.586**	0.343	0.321	2.164	15.670**	3.959**
MOT_P_S	0.549**	0.301	0.278	1.781	12.945**	3.598**
MOT_C_S	0.423*	0.179	0.152	1.374	6.543*	2.558*
MOT_OBJ	0.319	0.102	0.072	1.218	3.393	1.842
MOT_SPEED	0.409*	0.167	0.140	1.429	6.035*	2.457*
EHC_T	0.392*	0.154	0.125	1.717	5.444*	2.333*
EHC_RT	0.534**	0.285	0.261	1.986	11.945**	3.456**
EHC_C_RT	0.354*	0.125	0.096	1.199	4.286*	2.070*
EHC_P_RT	0.403*	0.162	0.134	1.080	5.805*	2.409*
GNG_SCORE	0.520**	0.270	0.246	1.184	11.094**	3.331**
GNG_G_HIT	0.856**	0.733	0.724	1.197	82.281**	9.071**
GNG_R_HIT	0.510**	0.260	0.236	1.882	10.555**	-3.249**
RT_A	0.609**	0.371	0.351	1.598	17.731**	4.211**
RT_D	0.916**	0.839	0.833	1.696	156.075**	12.493**
RT_ND	0.001	0.000	-0.033	1.441	0.000	0.007

注:* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

表5 专项成绩的多元线性逐步回归分析结果
Table 5 Results of Multiple Linear Stepwise Regression Analysis
Special Performance

预测变量	<i>R</i> ²	校正 <i>R</i> ²	<i>F</i>	B	β	<i>t</i>
常量	0.967	0.959	122.92**	-153.451		-5.659**
RT_D				0.298	0.513	8.143**
GNG_G_HIT				0.868	0.340	5.580**
CS_6				23.838	0.123	3.013**
VC_B				12.032	0.113	2.765*
PS				1.254	0.138	3.121**
MOT_C_S				0.001	0.093	2.329*

碟靶抛出后飞行距离不断变化,从靶房、出靶口到靶场圆心,看靶区远近位置也在不断变换,只有合理调控视觉注意力才能达到清晰、准确的看靶效果(刘继昇, 2004)。碟靶抛出速度在0~3 s内随机发生,飞行初速度约为25 m/s,需要运动员对碟靶目标捕捉的速度能力(武文强, 2006)。此外,赛训中碟靶飞行的轨迹变化较大,在选好看靶区后可能出现偏向靶飞出原视野中心,在随机位置和不同时间条件下,运动员只有以超强的动态视敏度为基础才能稳定破靶(王晓等, 2016)。不仅是飞碟射击项目,注意力的调节对大多数竞技体育项目均具有重

要意义 (Di Russo et al., 2003)。Poltavski 等 (2015) 证明了动态视敏度得分可以预测冰球运动员的进球率。综述研究指出, 运动员的 DVA 优于非运动员, 精英运动员的 DVA 优于业余或非精英运动员 (Stine et al., 1982)。Ciuffreda 等 (2004) 进一步提出, 动态视觉注意力训练可以显著促进运动员表现的整体提高 (如将视觉注意力焦点从一个视域动态转移到另一个区域), 无论哪个项目都应将其纳入运动视觉训练中。

3.2.2 RT/EHC 与决策机制

RT 是衡量个人执行动作技能效率和有效性的经典指标 (Magill et al., 2006)。本研究测试中采用的简单反应时作为视觉动作的应答时间 = 反应时 + 动作时间, 与中心视域反应时间相关 (Erickson, 2007)。EHC 指标更多是在简单反应时的基础上反映运动员能否处理、整合视觉信息并引导控制身体迅速连贯的做出动作且保证准确度的能力, 体现了视觉系统和动作执行的配合。决策机制测评则在视觉刺激的呈现方式上进一步增加了难度, 运动员需要在回应视觉刺激的过程中进行判断, 再根据判断选择对应的动作来回答不同视觉信号刺激的变化。3 项指标同属视觉信息加工的效应机制评价范畴 (Erickson, 2018)。

飞碟射击从看靶飞出到击发总用时 0.4~0.7 s, 碟靶持续高速飞行, 抛出后的瞬间视觉信息刺激反应快慢是重要的决胜因素。猎枪弹随着飞行距离增加弹丸有效散布面和侵彻力减小, 若反应迟缓, 射击距离变远, 碟靶的时速和转速减慢也会降低离心力影响和弹丸碰撞时的碎裂效果 (刘继昇, 2004)。从本研究结果看, 专项成绩与 RT_D 之间的相关性最高, 与 RT_A 呈高度正相关, RT_D 是专项成绩的关键影响因素, 这是由于高水平运动员普遍追求快打技术, 接靶速射的趋势要求运动员超强的击发意识和快速的运枪动作, 对负责持枪握把和击发的优势手反应能力提出了较高要求 (张文杰, 2001)。以专家表现的刻意练习观点来看, 运动员所获得的优异表现反映了其多年积累的结构化的练习 (Ericsson et al., 1993)。飞碟射击核心技术在于“看起接靶”配合的快速、准确和稳定 (王晓等, 2016)。运动员经常在极短时间和感知限制的情况下做出反应和动作, 长期速射命中训练极大锻炼了其眼手反应和协调能力, 经过长时间手眼协调专项练习能够塑造稳定的神经反应和肌肉运动感觉, 测试中对新异视觉刺激也能做出相匹配的快速、准确反应 (Ericsson, 2003)。此外, 飞碟射击项目对运动员快速区分关键视觉刺激和抑制非目标运动的反应能力具有较高要求 (王满东等, 2014)。运动员面对邻近靶场的碎碟靶飞来或报好后抛出碎靶、未抛靶等情况需要及时做出判断并截断下意识举枪或击发反应。突出的决策能力能够在多个项目中区分优秀和次优秀运动员 (Mann et al., 2007)。

3.2.3 PS 与 MOT

PS 测试主要评估运动员通过双视野来测量识别物体的速度和跨度的能力。考验飞碟射击运动员能否在一定范围内记住所见目标及位置信息以及是否能在脑中复现相应的视觉信息, 即记忆和重现视觉模式的能力。MOT 测评运动员同时跟随多个移动目标的能力, 与 PS 类似, 这项能力对大脑记忆和处理视觉信息的要求极高, 同时考察运动员脑部处理信息的耐力, Erickson (2018) 将 2 项指标划归为视觉信息加工模型转化阶段的评价方式。

优秀运动员能够将目标信息在空间工作记忆中预先存储并随后识别 (Lichtman, 2013)。飞碟射击运动员训练中不断重复提前看靶的过程, 通过对碟靶轨迹、不同靶场风向、天气影响下弹丸的散布状态和碟靶中心点的吻和度等信息的短时记忆帮助预判随后上场时碟靶的飞行路径、枪的指点、视觉落点位置, 进而辅助决策。飞碟射击需要在一定的视区范围对目标碟靶进行合理定位和捕捉, 高水平飞碟射击运动员的看靶灵活, 视野开阔, 追靶范围大, 眼动布局合理。经过长期碟靶追踪判断训练的飞碟射击运动员具备观察时注意力的合理分配能力, 使其需要多视觉信息任务处理时能尽最大可能选择性注意到重要的视觉信息 (李刚, 2018)。此外, 长时间的赛程会极大消耗运动员的精力, 需要锤炼在疲劳状态下盯牢靶、避免“断线”的能力, 保证看靶精度和质量 (刘继昇, 2004)。因此, 该类指标和专项成绩高度相关。Reichow 等 (2011) 研究也发现, 棒球击球手识别速视仪投球图片的能力与上赛季的击球率具有较高相关性 ($r=0.648, P<0.01$)。

综上, 运动视觉系统的各类视觉能力对飞碟射击专项成绩具有不同程度的影响, 运动视觉科学的核心观点是更好的视觉能力支撑了更好的运动表现。Kirschen 等 (2011) 的运动视觉金字塔和 Welford (1960) 的视觉信息加工模型理论认为, 顶层运动行为的成功表现是低层次过程有序运行的结果, 所有行为和赛场的成功是一系列子过程相互作用的最终产物 (图 3)。任何组成部分出现问题都会影响整体运动表现。但结合本研究的结果来看, 各类运动视觉系统软件指标与飞碟射击专项成绩的相关性更强, 可见高水平飞碟射击运动员根据视觉信息采取行动的能力之间的巨大差异更多是在于决策和效应机制的运行上。同样, 以往研究也有关于视觉系统基础功能并未影响运动表现的报道 (Moss et al., 1987; Regan, 1994), 甚至 Abernethy (1999) 对专家和新手飞碟射击运动员进行视觉测试发现, 关于信息获取和基本处理的硬件指标新手要比专家运动员表现更为突出。这进一步说明, 只有通过运动项目的特异性刺激 (即测试情景能够复制某一项目具体任务所需要的视觉加工能力) 才能够更加真切反映该项目本质的运动视觉特征 (Abernethy, 1987)。

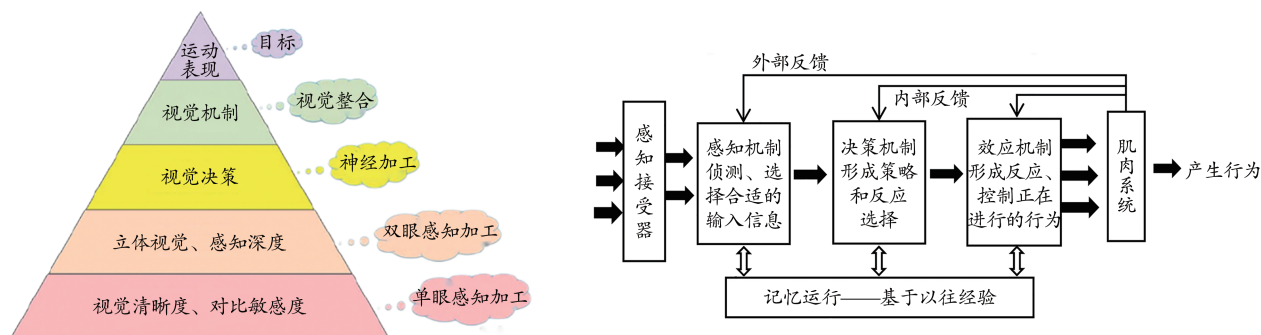


图3 运动视觉金字塔及Welford视觉信息处理模型(Kirschen et al., 2011; Welford, 1960)

Figure 3. Motor Visual Pyramid and Welford Visual Information Processing Model(Kirschen et al., 2011; Welford, 1960)

4 结论

1) 国家飞碟射击运动员的专项成绩受到运动视觉能力不同程度的影响,其中处理视觉信息的能力比接受视觉刺激的能力具有更大的作用。

2) VC、N/FQ、MOT、EHC、G/NG、RT对专项成绩具有显著性影响。

3) RT_D、G/NG、PS、MOT等运动视觉能力对专项成绩提升至关重要。

5 研究展望

1) 本研究针对国家飞碟射击队运动员展开测试,受限于研究样本量,未来研究可纳入全国多个省份、不同项目、运动水平、性别的飞碟射击运动员进行全方位评价。

2) 本研究证明了不同运动视觉能力对飞碟射击项目的重要性,但如何利用这一结果提升运动表现才是最终指向,未来在训练中应利用能有效改善运动员视觉(Appelbaum et al., 2018)、感知(Appelbaum et al., 2012)和认知技能(Appelbaum et al., 2011)的数字化视觉训练技术(张致玮等, 2021; Broadbent et al., 2015),对影响运动员专项成绩的关键运动视觉能力进行重点强化。

参考文献:

- 李刚, 2018. 飞碟多向射击运动员注意力集中水平在比赛中的影响分析[J]. 当代体育科技, 8(32): 199-200.
- 刘继昇, 2004. 攀高的路[M]. 北京: 中国文化艺术出版社: 143-178.
- 孙国晓, 张力为, 郑猛, 等, 2018. 静眼训练对多向飞碟青少年运动员技能学习的影响: 一项个案研究[C]//中国心理学会. 第二十一届全国心理学学术会议摘要集. 北京: 中国心理学会学术工作委员会: 2.
- 孙文芳, 王长生, 赵明, 2018. 运动视觉训练效果的最新研究进展[J]. 武汉体育学院学报, 52(2): 57-63.
- 王满东, 王海涛, 张亚明, 2014. 飞碟多向项目特点与规律分析[C]//中国体育科学学会运动生物力学分会. 第十七届全国运动生物力学学术交流大会论文摘要汇编. 北京: 中国体育科学学会运动生物力学分会学术委员会: 1.
- 王晓, 李四化, 2016. 飞碟射击训练思考[M]. 北京: 北京体育大学出版社: 117-168.

武文强, 毛松华, 2006. 飞碟射击动作技术及脱靶原因的系统研究[C]//中国体育科学学会. 首届中国体育博士高层论坛论文集. 北京: 中国体育科学学会学术工作委员会: 9.

张文杰, 2001. 飞碟双向“快打”技术探讨[J]. 山东体育科技, 23(2): 13-14.

张致玮, 贾谊, 2021. 频闪视觉训练在体育运动中的应用现状及发展趋势研究[J]. 福建体育科技, 40(1): 43-46.

ABERNETHY B, NEAL R J, 1999. Visual characteristics of clay target shooters[J]. J Sci Med Sport, 2(1): 1-19.

ABERNETHY B, 1987. Selective attention in fast ball sports: II: Expert-novice differences[J]. Austr J Sci Med Sport, 19(4): 7-16.

APPELBAUM L G, CAIN M S, SCHROEDER J E, et al., 2012. Stroboscopic visual training improves information encoding in short-term memory[J]. Atten Percept Psychophys, 74: 1681-1691.

APPELBAUM L G, ERICKSON G, 2018. Sports vision training: A review of the state-of-the-art in digital training techniques[J]. Int Rev Sport Exerc Psychol, 11(1): 160-189.

APPELBAUM L G, LU Y, KHANNA R, et al., 2016. The effects of sports vision training on sensorimotor abilities in collegiate softball athletes[J]. Athlet Train Sports Health Care, 8(4): 154-163.

APPELBAUM L G, SCHROEDER J E, CAIN M S, et al., 2011. Improved visual cognition through stroboscopic training[J]. Front Psychol, doi: 10.3389/fpsyg.2011.00276.

BAHILL A T, LARITZ T, 1984. Why can't batters keep their eyes on the ball?[J]. Am Sci, 72(3): 249-253.

BROADBENT D P, CAUSER J, WILLIAMS A M, et al., 2015. Perceptual-cognitive skill training and its transfer to expert performance in the field: Future research directions[J]. Eur J Sport Sci, 15(4): 322-331.

CAUSER J, BENNETT S J, HOLMES P S, et al., 2010. Quiet eye duration and gun motion in elite shotgun shooting[J]. Med Sci Sports Exerc, 42(8): 1599-1608.

CIUFFREDA K J, WANG B, 2004. Vision training and sports[C]//Biomedical Engineering Principles in Sports. New York, US: Kluwer Academic/Plenum Publishers: 407-443.

CLASSE J G, SEMES L P, DAUM K M, et al., 1997. Association between visual reaction time and batting, fielding, and earned run averages among players of the Southern Baseball League[J]. J Am Optom Assoc, 68(1): 43-49.

- DI RUSSO F, PITZALIS S, SPINELLI D, 2003. Fixation stability and saccadic latency in elite shooters [J]. *Vision Res*, 43 (17): 1837-1845.
- ECCLES D W, WALSH S E, INGLEDEW D K, 2006. Visual attention in orienteers at different levels of experience [J]. *J Sports Sci*, 24(1): 77-87.
- ELMURR P, 2011. The relationship of vision and skilled movement: A general review using cricket batting [J]. *Eye Contact Lens*, 37(3): 164-166.
- ERICKSON G B, CITEK K, COVE M, et al., 2011. Reliability of a computer-based system for measuring visual performance skills [J]. *Optometry*, 82(9): 528-542.
- ERICKSON G B, 2018. Optimizing visual performance for sport [J]. *Adv Ophthalmol Optom*, 3(1): 1-19.
- ERICKSON G B, 2007. *Sports Vision: Vision Care for the Enhancement of Sports Performance* [M]. St. Louis, MO: Butterworth Heineman Elsevier: 31-35.
- ERICSSON K A, KRAMPE R T, TESCH-RÖMER C, 1993. The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance [J]. *Psychol Rev*, 100(3): 363-406.
- ERICSSON K A, 2003. How the expert performance approach differs from traditional approaches to expertise in sport: In search of a shared theoretical framework for studying expert performance [C]// *Expert Performance in Sports: Advances in Research on Sport Expertise*: 371-402.
- HELSEN W F, STARKES J L, 1999. A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport [J]. *Appl Cognitive Psychol*, 13(1): 1-27.
- HOFELDT A J, HOEFLE F B, BONAFEDE B, 1996. Baseball hitting, binocular vision, and the Pulfrich phenomenon [J]. *Arch Ophthalmol*, 114(12): 1490-1494.
- JONES C, CARNEGIE E, ELLISON P, 2016. The effect of stroboscopic vision training on eye-hand coordination [C]//Leeds, UK: The British Psychological Society (BPS) Division of Sport and Exercise Science Conference 2015.
- KIRSCHEN D G, LABY D L, 2011. The role of sports vision in eye care today [J]. *Eye Contact Lens*, 37(3): 127-130.
- KLEMISH D, RAMGER B, VITTETOE K, et al., 2018. Visual abilities distinguish pitchers from hitters in professional baseball [J]. *J Sports Sci*, 36(2): 171-179.
- KOHMURA Y, AOKI K, HONDA K, et al., 2008. The relationship between dynamic visual acuity and saccadic eye movement [J]. *Hum Perform Meas*, 5: 23-30.
- LACHENBRUCH P A, 1989. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* [J]. *J Am Statist Assoc*, 84(408): 1096-1097.
- LICHTMAN M, 2013. Baseball ProGUESTus: Pitch types and the times through the order penalty [EB/OL]. [2023-10-11]. <http://www.baseballprospectus.com/article.php?articleid=22235>.
- LIU S, FERRIS L M, HILBIG S, et al., 2020. Dynamic vision training transfers positively to batting practice performance among collegiate baseball batters [J]. *Psychol Sport Exerc*, doi: 10.1016/j.psychsport.2020.101759.
- MAGILL R A, ANDERSON D I, 2006. *Motor Learning and Control: Concepts and Applications* (6th ed.) [M]. New York, US: McGraw-Hill Publishing: 57-59.
- MANN D T Y, WILLIAMS A M, WARD P, et al., 2007. Perceptual-cognitive expertise in sport: A Meta-analysis [J]. *J Sport Exerc Psychol*, 29(4): 457-478.
- MILLER B T, CLAPP W C, 2011. From vision to decision: The role of visual attention in elite sports performance [J]. *Eye Contact Lens*, 37(3): 131-139.
- MOSS M M, MOORE S, 1987. *Visual physiology* [C]//*Sports Ophthalmology* [M]. New York, US: Charles C Thomas Publisher: 4.
- POLTAVSKI D, BIBERDORF D, 2015. The role of visual perception measures used in sports vision programmes in predicting actual game performance in Division I collegiate hockey players [J]. *J Sports Sci*, 33(6): 597-608.
- REGAN D, KAUSHAL S, 1994. Monocular discrimination of the direction of motion in depth [J]. *Vision Res*, 34(2): 163-177.
- REICHOW A W, GARCHOW K E, BAIRD R Y, 2011. Do scores on a tachistoscope test correlate with baseball batting averages? [J]. *Eye Contact Lens*, 37(3): 123-126.
- SOLOMON H, ZINN W J, VACROUX A, 1988. Dynamic stereoacuity: A test for hitting a baseball? [J]. *J Am Optom Assoc*, 59(7): 522-526.
- SPANIOL F, CRUZ J, AYLES M, et al., 2015. The relationship between convergence, divergence, recognition and tracking skills and batting performance of professional baseball players [C]//NSCA National Conference, Orlando, US.
- STINE C D, ARTERBURN M R, STERN N S, 1982. Vision and sports: A review of the literature [J]. *J Am Optom Assoc*, 53(8): 627-633.
- WANG L, KRASICH K, BEL-BAHAR T, et al., 2015. Mapping the structure of perceptual and visual-motor abilities in healthy young adults [J]. *Acta Psychol*, 157: 74-84.
- WELFORD A T, 1960. The measurement of sensory-motor performance: Survey and reappraisal of twelve years' progress [J]. *Ergonomics*, 3(3): 189-230.

(收稿日期:2023-06-30; 修订日期:2023-10-11; 编辑:尹航)