



青少年橄榄球运动员灵敏表现与感知决策、 冲刺速度和下肢肌肉特征的相关性研究 Research on the Correlation between Decision- Making, Sprint Speed, Lower Limb Muscle Characteristics and Agility Performance in Youth Rugby Players

叶家驰^{1,2}, 孙强², 王玉珠³, 高炳宏¹, 王毅^{3*}

YE Jiachi^{1,2}, SUN Qiang², WANG Yuzhu³, GAO Binghong¹, WANG Yi^{3*}

摘要:目的:探讨青少年7人制橄榄球运动员(以下简称“球员”)灵敏表现与感知决策、冲刺速度和下肢肌肉特征的关系。方法:选取30名上海市球员(14男,16女)为研究对象,通过Y灵敏(Y reactive agility)、Y变向(Y pre-planned agility)、30 m冲刺、反向跳(countermovement jump, CMJ)、静蹲跳(static jump, SJ)、下落跳(drop jump, DJ)和等长大腿中部拉(isometric mid-thigh pull, IMTP)测试分别对其灵敏、感知决策、速度、下肢爆发力和下肢力量进行测试。结果:1)球员的灵敏表现与感知决策能力呈非常高度正相关($r=0.748, P<0.01$),与0~5、0~10和0~30 m冲刺表现呈高度正相关($r=0.536\sim 0.641, P<0.01$),与CMJ高度、SJ高度、DJ高度和反应力量指数(reactive strength index, RSI)呈高度到非常高度负相关($r=-0.547\sim -0.729, P<0.01$),与峰值力,相对峰值力,在0~100、0~150、0~200、0~250和0~300 ms时间段的相对体质量肌肉发力率(rate of force development, RFD)呈中度到高度负相关($r=-0.405\sim -0.576, P<0.05$);2)在感知决策、冲刺速度、下肢爆发力和0~300 ms相对体质量RFD指标中表现优异的球员可取得较优的灵敏表现($P<0.05$);3)感知决策和10 m冲刺是预测球员灵敏表现的关键变量($R^2=83.20\%, P<0.01$)。结论:感知决策、短距离直线冲刺、跳跃和0~300 ms RFD能力的增强会对球员的灵敏表现产生积极作用,尤其是将感知决策和10 m冲刺练习纳入训练计划对于提升球员的灵敏表现至关重要。

关键词:橄榄球;灵敏;速度;跳跃;力量;青少年

基金项目:

南京体育学院重点实验室开放课题(SYS202104)

第一作者简介:

叶家驰(1991-),男,在读博士研究生,主要研究方向为体能训练理论与方法, E-mail: yejiachi@nsi.edu.cn。

*通信作者简介:

王毅(1966-),男,教授,硕士,博士研究生导师,主要研究方向为运动训练, E-mail: 1789749278@qq.com。

作者单位:

1. 上海体育学院, 上海 200438;
2. 南京体育学院, 江苏南京 210014;
3. 山东体育学院, 山东济南 250102
1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;
2. Nanjing Sport Institute, Nanjing 210014, China;
3. Shandong Sport University, Jinan 250102, China.

Abstract: Objective: To explore the relationship between decision making, sprint speed, lower limb muscle characteristics, and agility performance in youth rugby sevens (hereinafter referred to as “players”). Methods: Thirty Shanghai youth players (14 males, 16 females) are selected as the investigation objects. The Y reactive agility, Y pre-planned agility, 30 m sprint, counter-movement jump (CMJ), static jump (SJ), drop jump (DJ), and the isometric mid-thigh pull (IMTP) tests are conducted to respectively measure agility, decision-making, speed, lower limb power, and lower limb strength. Results: 1) Players’ agility performance is very highly positively correlated with decision-making ability ($r=0.748, P<0.01$), highly positively correlated with 0—5, 0—10, and 0—30 m sprint performance ($r=0.536\sim 0.641, P<0.01$), highly to very highly negatively correlated with CMJ height, SJ height, DJ height, and reactive strength index (RSI) ($r=-0.547\sim -0.729, P<0.01$), and moderately to highly negatively correlated with peak force, relative peak force, and relative rate of force development (RFD) at 0—100, 0—150, 0—200, 0—250, and 0—300 ms ($r=-0.405\sim -0.576, P<0.05$); 2) players who excel in decision making, sprint speed, lower limb power and 0—300 ms relative body mass RFD index get better agility performance ($P<0.05$); 3) decision making and 10 m sprint are key variables to predict players’ agility performance ($R^2=83.20\%, P<0.01$). Conclusions: The enhancement of decision-making ability, sprint, jump, and 0—300 ms RFD ability has a positive effect on players’ agility performance, especially the inclusion of decision-making and 10 m sprint practice in the train-

ing program is crucial to improve players' agility performance.

Keywords: rugby; agility; speed; jump; strength; adolescents

中图分类号:G849.2 **文献标识码:**A

灵敏是人体根据外部信号刺激作出改变速度或方向的快速全身性运动能力 (Sheppard et al., 2006b), 是影响 7 人制橄榄球运动员竞技运动表现的关键因素。研究表明, 为达到抢断、进攻、防守和达阵得分的目的, 橄榄球运动员在比赛过程中需根据外界刺激 (球、防守人、战术策略) 作出场均 (141.0±34.3) 次变向 (叶家驰等, 2018)。研究证实, 竞技水平较高的运动员能够更好地对专项运动模式刺激信号作出反应 (Inglis et al., 2016)。基于灵敏测试表现可以对运动员的竞技水平进行有效区分 (Morral-Yepes et al., 2022)。另有研究发现, 机体对外界刺激作出快速反应可提升肌肉的预激活程度, 不仅有助于提高变向动作后的再加速能力, 还能有效预防运动损伤 (邹利民等, 2019; Bencke et al., 2011)。因此, 在竞技体育训练方式科学化发展的背景下, 优化灵敏训练策略、高效提升运动员的灵敏表现成为 7 人制橄榄球项目的重要议题。

现阶段, 国际上运动员灵敏表现的测评方法呈现出了新的发展趋势。以往研究采用的灵敏测试方法可分为 2 种: 变向速度 (change of direction speed, CODS) 测试和反应性灵敏 (reactive agility, RA) 测试。但值得注意的是: 1) 基于灵敏定义可得出运动员进行的动作是对外部信号刺激作出的反应, 而 CODS 测试的整个过程中却缺少感知决策部分。2) 相关实证研究表明, 同一运动员在类似运动模式下的 RA 和 CODS 测试中表现出了较大差异, 两者的共享方差 (shared variance) R^2 为 10%~49% (均值为 29%) (Farrow et al., 2005; Henry et al., 2011; Serpell et al., 2010; Sheppard et al., 2006a)。3) 运动员在真实比赛情景中的动作很大程度上是为了应对不可预测的外界刺激而作出的反应, 而变向测试并不能完全真实反映运动员在比赛环境中的实际情况 (Young et al., 2015)。由此, 美国国家体能协会和国际权威专家学者认为, 对运动员灵敏表现进行测评需采用含有对刺激作出反应的感知决策过程的测试方法, 否则不属于灵敏测试的范畴 (Paul et al., 2016)。目前, 国内研究仍主要关注并沿用 CODS 测试测评运动员的灵敏表现, 对 RA 测试未给予足够重视。

识别与运动员灵敏表现相关的影响因素是制定有效干预手段的前提条件。当前, 国内外鲜见较为全面地分析青少年 7 人制橄榄球运动员 (以下简称“球员”) 的感知决策、速度、下肢肌肉特征 (力量和爆发力) 与灵敏表现之间的关系研究。现有研究大多以成年运动员为研究对象, 鉴于成年与青少年在解剖学、生物力学和神经肌肉特征等方面存在较大差异 (Thompson et al., 2014), 有必要对提升球员灵敏表现的影响因素进行探讨。基于此, 本研究采用 RA 测试对球员的灵敏表现进行评估, 并探讨感

知决策、速度、下肢肌肉特征与灵敏表现的关系。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以上海市竞技体育学校 30 名球员为研究对象, 所有球员均为国家二级 (及以上) 运动员 (表 1)。受试者每周至少进行 4~6 次的专项训练和 2~3 次的体能训练, 下肢均不存在运动损伤, 且报告无重大下肢损伤史, 测试前 24 h 内未进行大强度运动。本研究实验目的和所采用的测试流程获得了上海市竞技体育学校教练员的同意, 且所有受试者在测试前均已被告知测试的内容和风险, 并获得其知情同意。

表 1 受试者基本信息

Table 1 Basic Information of Participants

性别	人数/人	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg	BMI/(kg·m ⁻²)
男	14	16.79±0.63	184.57±4.08	74.36±12.26	21.80±3.36
女	16	16.51±0.79	169.14±4.42	64.04±4.06	22.38±1.07

1.2 测试方法

所有测试方法均由专业测试人员进行了充分论证, 受试者在正式测试前熟悉测试动作细节, 以限制任何可能的学习效应。测试前, 受试者需进行 20 min 热身, 包括 6 min 跑动练习, 3 min 臀部、大腿和小腿肌肉的动态牵拉, 3 min 自重深蹲和弓箭步练习, 3 min 跳跃练习, 5 min 冲刺和灵敏练习。测试顺序为基本信息调查、Y 灵敏 (Y reactive agility)、Y 变向 (Y pre-planned agility)、30 m 直线冲刺、反向跳 (countermovement jump, CMJ)、静蹲跳 (squat jump, SJ)、下落跳 (drop jump, DJ)、等长大腿中部拉 (isometric mid-thigh pull, IMTP)。测试时, 测试者均向受试者提供响亮的口头鼓励和即时的测试反馈, 以尽量优化测试效果。各项测试之间间歇 10 min, 期间解释下一项测试的流程和调整设备。测试地点为室内田径馆, 测试时间为 13:00~17:00。

1.2.1 Y 型跑测试

采用光电分段计时测试设备 (Fusion Sport, 澳大利亚) 进行 Y 灵敏和 Y 变向测试 (Fiorilli et al., 2017) (图 1)。在 Y 型变向测试中, 受试者先明确变向方向并以最快速度冲刺 5 m, 然后再向左侧或右侧 45° 方向冲刺 5 m。在 Y 型灵敏测试中, 受试者先以最快速度冲刺 5 m, 并在变向前执行一个分步 (split step) 动作。然后采用侧切变向技术向“亮灯”一侧光电门进行 45° 变向并再次冲刺 5 m, 目标门由位于起始门 2.5 m 处的光电门进行激活。采用分

腿站立式起跑姿势立于起跑线后0.5 m处,测试前以50%和70%最大强度进行练习,各项测试按照随机顺序依次循环进行4次有效测试(左、右方向各2次),间歇3 min。选取Y灵敏和Y变向的最佳成绩作为数据源,测试指标包括Y变向和Y灵敏的总时间。

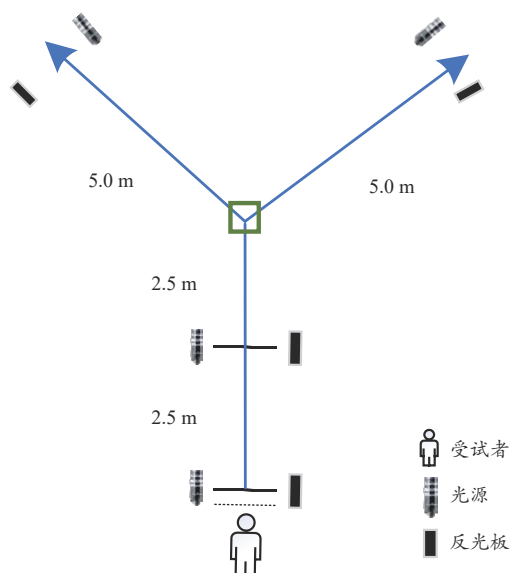


图1 Y型跑测试

Figure 1. Y-Shape Running Test

1.2.2 感知决策能力测试

感知决策是通过使用对当前情况的感知信息,并将其与记忆中的信息相结合,以决定最佳的行动。本研究把感知决策过程作为一个完整的认知过程,决策速度是衡量决策水平的关键指标。为使决策任务尽可能模拟实际训练和比赛过程中的决策特点,本研究要求受试者在加速过程中调整身体姿势的同时,根据光电计时门随机发出的灯光信号进行决策。感知决策能力采用Fiorilli等(2017)推荐的方法——基于Y灵敏和Y变向总时间之差得出的感知决策时间(decision-making time, DT)进行评定。

1.2.3 速度测试

使用光电分段计时测试设备(Fusion Sport, 澳大利亚)进行30 m冲刺测试。光电门分别放置在起跑处、5、10和30 m处,高度和宽度分别设置为1.2、1.5 m,记录0~5、0~10和0~30 m加速时间。采用分腿站立式起跑姿势立于起跑线后0.5 m处,在测试前分别以50%和70%最大强度进行30 m冲刺练习,正式测试时依次进行2次有效测试,间歇3 min,选取30 m冲刺测试中的最佳成绩作为数据源,速度测试指标包括0~5、0~10和0~30 m冲刺时间。

1.2.4 下肢爆发力测试

利用三维测力台(Winterthur, 瑞士)和Mars软件依次采集受试者的CMJ、SJ和DJ测试数据,采样频率为1 000 Hz。在CMJ测试中,受试者快速下蹲至适宜深度后

用力纵跳。在SJ测试中,受试者先预蹲至膝关节屈曲90°,稳定约2 s后再全力跳跃,未出现反向动作视为有效测试。在DJ测试中,受试者站立于30 cm跳箱上,自由选择下落脚,双脚同时落到测力台上并立即在最短时间内全力跳起,触地时间 ≤ 250 ms视为有效测试。所有测试均要求始终保持双手叉腰,腾空过程中身体完全伸展,落地稳定后再走下测力台。受试者在每项测试前进行2次试跳,正式测试时各项测试取3次有效成绩,间歇3 min。选取各项测试中的最佳成绩作为数据源,测试指标包括基于腾空时间计算的CMJ、SJ和DJ跳跃高度(CMJH、SJH、DJH)和基于腾空时间计算的跳跃高度与触地时间之比的DJ反应力量指数(reactive strength index, RSI)。

1.2.5 下肢力量测试

通过三维测力台(Winterthur, 瑞士)和Mars软件采集受试者的IMTP测试数据,采样频率为1 000 Hz。在IMTP测试中,受试者双脚开立与肩同宽,大腿中部紧贴横杆,双手佩戴举重带并被固定在杆上,将髋关节保持在140°~150°,膝关节125°~145°,做好硬拉准备姿势(Chavda et al., 2020)(图2)。听到开始口令后,受试者尽全力持续发力5 s,测试过程中给予受试者“尽可能快速用力发力”的语言提示。在发力前未出现明显反向动作和3次试验之间的差值不超过250 N视为有效测试(Dos' Santos et al., 2017)。受试者在测试前分别以50% 1RM和70% 1RM进行试拉,正式测试时取3次有效成绩,间歇约5 min。

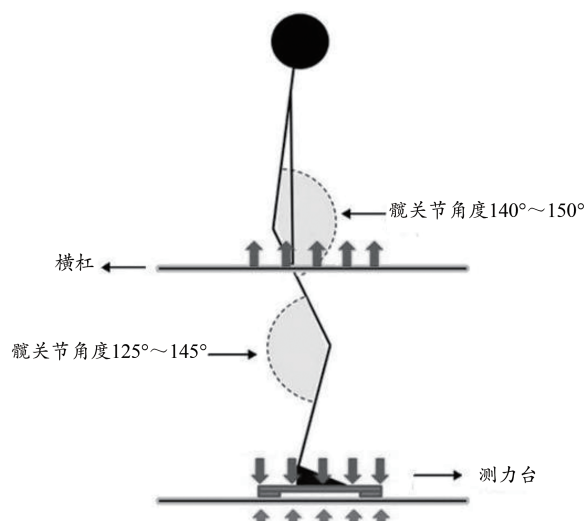


图2 IMTP测试

Figure 2. IMTP Test

选取IMTP测试中的最佳峰值力作为数据源,采用异速比例调整法(allometrically scaled calculations)对与体质量密切相关的净值峰值力(isometric peak force, IPF)和肌肉发力率(rate of force development, RFD)等力学指标进行体质量标准化处理。测试指标包括IPF、异速比例调整法

计算后的净值峰值力(IPFa)以及在 0~100、0~150、0~200、0~250 和 0~300 ms 时间段的 RFD(RFD100a、RFD150a、RFD200a、RFD250a、RFD300a)。IPF 为实际测得的峰值力与体质量的重力(IMTP 测试发力前 1 s 的平均力)之差,肌肉收缩起始时刻通过力增加幅度超过称重期体质量波动标准差的 5 倍的方法进行判定(Dos' Santos et al., 2017)。

1.3 数据统计

运用 SPSS 25.0 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)。各组数据的正态分布通过 Shapiro-Wilk 方法进行检验。采用中位数分割法将各测试数据分为优秀组和非优秀组,采用独立样本 t 检验比较不同组别之间的灵敏表现差异, 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感知决策、速度和下肢肌肉特征

与灵敏表现之间的关系,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球员灵敏表现的关键因素,效应量 R^2 分为弱(1%~8%)、中(9%~24%)和强($\geq 25\%$) 3 个等级(Lachenbruch, 1989)。 $P < 0.05$ 为具有显著性差异, $P < 0.001$ 为具有非常显著性差异。

2 结果

2.1 测试指标结果

与灵敏表现相比(表 2), 球员在 Y 变向测试中完成的总时间更少[(2.04±0.11)s vs (1.85±0.08)s]。球员的 DT 为(0.20±0.09)s, 95% CI : 0.15, 0.22, 约占 Y 灵敏测试总时间的 9.01%。在下肢爆发力测试中, 球员的 CMJH 表现最优, 为(40.40±7.94)cm, 其次是 SJH 表现, 为(36.13±6.63)cm, DJ 表现为(32.76±7.16)cm。

表 2 测试指标的描述性统计结果
Table 2 Descriptive Statistical Results of Test Indicators

测试内容	测试指标	结果	95% CI	
			下限	上限
灵敏	Y 灵敏/s	2.04±0.11	2.00	2.09
变向	Y 变向/s	1.85±0.08	1.83	1.88
感知决策	DT/s	0.20±0.09	0.15	0.22
	5 m 冲刺/s	1.02±0.06	0.99	1.04
速度	10 m 冲刺/s	1.79±0.10	1.75	1.83
	30 m 冲刺/s	4.41±0.26	4.30	4.51
下肢爆发力	CMJH/cm	40.40±7.94	37.19	43.61
	SJH/cm	36.13±6.63	33.45	38.81
	DJH/cm	32.76±7.16	29.87	35.65
	RSI/(cm·s ⁻¹)	1.68±0.40	1.52	1.84
	IPF/N	1 573.50±514.76	1 365.59	1 781.41
下肢力量	IPFa(N·kg ^{-0.67})	90.87±24.28	81.07	100.68
	RFD 100 a/(N·kg ^{-0.67} ·ms ⁻¹)	24.49±14.14	18.78	30.20
	RFD 150 a/(N·kg ^{-0.67} ·ms ⁻¹)	37.55±15.37	31.34	43.76
	RFD 200 a/(N·kg ^{-0.67} ·ms ⁻¹)	47.39±16.86	40.58	54.20
	RFD 250 a/(N·kg ^{-0.67} ·ms ⁻¹)	53.58±16.87	46.76	60.39
	RFD 300 a/(N·kg ^{-0.67} ·ms ⁻¹)	56.69±16.48	50.03	63.34

注:DT. 感知决策时间;CMJH. 反向跳高度;SJH. 静蹲跳高度;DJ. 下落跳高度;RSI. 反应力量指数;IPF. 净值峰值力;RFD. 肌肉发力率;下同。

2.2 感知决策能力、速度和下肢肌肉特征对灵敏表现的影响

与感知决策能力较差的球员相比(图 3), 感知决策能力较优的球员可提升灵敏成绩 0.157 s [0.099, 0.215], 差异具有非常显著性差异($P < 0.001$, $ES=2.20$)。与冲刺速度较慢的球员相比, 5、10 和 30 m 冲刺较快的球员可分别提升灵敏成绩 0.097 s [0.019, 0.175]、0.121 s [0.049, 0.193] 和 0.084 s [0.003, 0.165], 具有显著性差异($P < 0.05$, $ES=$

0.85~1.02)。与下肢爆发力较差的球员相比, 在 CMJH、SJH、DJH 和 RSI 测试指标中表现优异的球员可分别提升 0.125 s [0.055, 0.195]、0.124 s [0.054, 0.195]、0.101 s [0.024, 0.178]、0.089 s [0.009, 0.169] 的灵敏成绩, 具有非常显著性差异($P < 0.001$, $ES=1.07 \sim 1.45$)。在下肢力量指标中, 在 RFD300a 中表现优异的球员可提升灵敏成绩 0.084 s [0.004, 0.165], 具有显著性差异($P < 0.05$, $ES=0.85$)。在 IPF、IPFa、RFD200a 和 RFD250a 指标中, 优秀组和非优

秀组球员的灵敏表现无显著差异($P>0.05$),存在中等效应量($ES=0.52\sim 0.72$)。

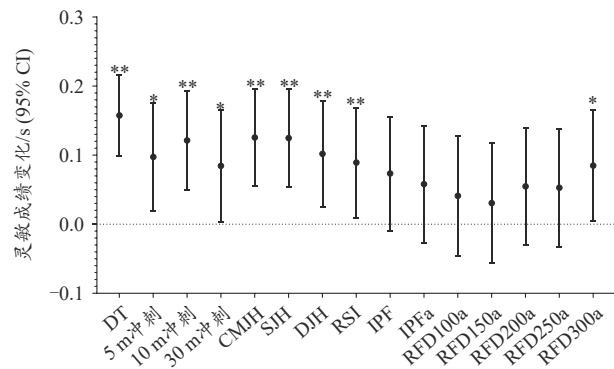


图3 球员感知决策、速度、下肢肌肉特征对灵敏表现的影响

Figure 3. Effects of Players' Decision Making, Speed, and Lower Limb Muscle Characteristics on Their Agility Performance
注:*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$;下同。

2.3 灵敏表现与感知决策、速度和下肢肌肉特征之间的相关性

在所有测试指标中(表3),灵敏与DT之间的相关性最强,呈非常高度正相关($r=0.748, P<0.001$),解释了球员53.4%的灵敏表现方差。灵敏与RSI($r=-0.547, P=0.004$)、DJH($r=-0.612, P<0.001$)、SJH($r=-0.667, P<0.001$)、CMJH($r=-0.729, P=0.001$)之间的相关性呈高度到非常高度负相关,解释了球员27.0%~51.2%的灵敏表现方差。灵敏与5 m 冲刺($r=0.536, P=0.005$)、10 m 冲刺($r=0.595, P<0.001$)、30 m 冲刺($r=0.641, P<0.001$)等速度指标之间呈高度正相关,解释了球员25.7%~38.6%的灵敏表现方差。灵敏与IPF($r=-0.576, P=0.002$)、IPFa($r=-0.554, P=0.003$)呈高度负相关,解释了球员27.8%~30.4%的灵敏表现方差。灵敏与RFD100a($r=-0.422, P=0.032$)、RFD150a($r=-0.405, P=0.040$)、RFD200a($r=-0.415, P=0.035$)、RFD250a($r=-0.413, P=0.036$)、RFD300a($r=-0.465, P=0.017$)各时间段的下肢力量指标之间呈中度负相关,并在整体上表现出相关性随RFD时间的增加而上升的趋势,解释了球员13.0%~18.3%的灵敏表现方差。

2.4 灵敏表现的关键影响因素

以灵敏成绩为因变量,将在独立样本 t 检验中具有显著性差异的9项测试指标作为自变量进行多元线性逐步回归分析,探究限制球员灵敏表现的关键影响因素。研究发现(表4),DT对灵敏表现的影响具有非常显著性差异($B=0.861, t=8.537, P<0.001$),10 m 冲刺对灵敏表现的影响具有非常显著性差异($B=0.588, t=6.590, P<0.001$)。最终回归方程为:

$$\hat{Y}=0.832+0.861\times DT+0.588\times 10\text{ m 冲刺时间} \quad (1)$$

式(1)解释了球员83.2%的灵敏表现方差(校正 $R^2=0.832, F=62.727, P<0.001$),其中DT指标占比为56.46%,

10 m 冲刺指标占比为43.54%。

表3 感知决策、速度、下肢肌肉特征与灵敏表现之间的相关性
Table 3 Correlations between Decision Making, Speed, Lower Limb Muscle Characteristics, and Agility Performance

预测变量	Y 灵敏					
	r	R^2	校正 R^2	德宾-沃森	F	t
DT	0.743**	0.552	0.534	1.036	29.631**	5.443**
5 m 冲刺	0.536**	0.287	0.257	1.325	9.651*	3.107**
10 m 冲刺	0.595**	0.354	0.327	1.506	13.160**	3.628**
30 m 冲刺	0.641**	0.410	0.386	1.605	16.699**	4.086**
CMJH	-0.729**	0.531	0.512	1.999	27.182**	-5.214**
SJH	-0.667**	0.445	0.422	1.764	19.276**	-4.390**
DJH	-0.612**	0.375	0.349	1.692	14.405**	-3.795**
RSI	-0.547**	0.299	0.270	1.733	10.231*	-3.199**
IPF	-0.576**	0.332	0.304	1.892	11.935*	-3.455**
IPFa	-0.554**	0.306	0.278	1.713	10.607*	-3.257**
RFD100a	-0.422*	0.178	0.144	0.725	5.190*	-2.278*
RFD150a	-0.405*	0.164	0.130	0.827	4.720*	-2.173*
RFD200a	-0.415*	0.172	0.138	0.958	4.986*	-2.233*
RFD250a	-0.413*	0.170	0.136	1.152	4.928*	-2.220*
RFD300a	-0.465*	0.216	0.183	1.241	6.604*	-2.570*

表4 灵敏表现的多元线性逐步回归分析结果

Table 4 Results of Multiple Linear Stepwise Regression Analysis with Agility Performance

步骤	预测变量	R^2	校正 R^2	F	B	β	t
1	(常量)	0.552	0.534	29.631**	1.872		54.493**
	DT				0.911	0.743	5.443**
2	(常量)	0.845	0.832	62.727**	0.832		5.224**
	DT				0.861	0.703	8.537**
	10 m 冲刺				0.588	0.542	6.590**

3 分析与讨论

灵敏是运动员的感知决策、运动技能和多种身体素质在运动过程中的综合体现。本研究对有可能影响球员灵敏表现的感知决策能力、直线冲刺能力、下肢爆发力和下肢力量等方面的指标展开研究,并探究影响球员灵敏表现的关键因素。本研究发现:1)在DT、30 m 冲刺、下肢爆发力各测试指标和RFD300a中表现优异的球员可有效提升灵敏表现;2)灵敏表现与感知决策、30 m 冲刺、下肢爆发力和下肢力量各测试指标之间呈现出不同程度的相关性;3)球员的灵敏表现受感知决策和10 m 冲刺能力的影响最大。

3.1 感知决策能力与灵敏表现的关系分析

感知决策能力是运动员运动认知能力的重要评价指标。感知决策是一种从环境中的各种刺激中快速、准确识别与任务相关的线索,处理传入信息,并选择适当反应的能力,通常也被称为阅读比赛的能力(Spiteri et al.,

2018)。本研究相关分析表明,球员的灵敏表现与作为反映认知能力的 DT 指标之间呈非常高度正相关,这与 Fiorilli 等(2017)的研究结果一致。运动员的感知决策能力还可通过高速摄像分析实现精确测评。研究表明,此类方法得出的研究结果与灵敏表现存在较高的相关性,如 Scanlan 等(2013)研究发现,男子篮球运动员的 DT 与灵敏表现呈非常高度正相关,对灵敏表现的解释率 R^2 为 57.6%; Young 等(2010)研究发现,31 名澳式橄榄球运动员的 DT 与灵敏表现的相关系数 r 为 0.77。从研究结果看,基于视频分析的 DT 精准测评与本研究结果存在较高的一致性,其可能原因是通过 Y 灵敏和 Y 变向总时间之差得出的 DT 在很大程度上反映了球员的真实感知决策能力。与视频分析存在耗时耗力的局限性相比,通过 Y 灵敏与 Y 变向测试的差值来体现球员的感知决策能力具有计算快捷、所需设备简单等优点,有一定的应用前景。

本研究发现,感知决策能力较优的球员可取得更好的灵敏测试成绩。提示,DT 是影响球员灵敏表现的关键因素。这表明结合多种外部刺激信号开展不同形式的灵敏训练可提升球员的灵敏表现,与 Born 等(2016)研究结论一致。Young 等(2014)研究证实,7 周 11 次的小场地训练相比于变向训练能更有效提高 U18 澳式橄榄球运动员的灵敏表现,主要归因于 DT 的大幅减少,提升比例为 31%。Serpell 等(2011)采用视频投影的信号刺激方式对橄榄球联盟运动员进行为期 3 周共 6 次的灵敏训练干预,发现运动员的灵敏表现有显著提升,且 DT 从 340 ms 减少到 40 ms。鉴于球员在进攻和防守过程中需感知进攻和防守球员的周围情况,快速准确作出决策并改变运动方向和速度,因此,球员的灵敏表现提升训练应注重感知决策因素。

3.2 冲刺速度与灵敏表现的关系分析

短距离直线冲刺是 7 人制橄榄球运动员在比赛过程中的重要移动特征之一。本研究显示,球员的灵敏表现与短距离直线冲刺速度之间呈高度正相关($r=0.536\sim 0.641$),可解释灵敏表现 25.7%~38.6% 的共享方差。这与 Gabbett 等(2008)的研究结果类似,成年橄榄球联盟运动员灵敏表现与 10、20 m 冲刺之间呈中度到高度相关($r=0.41\sim 0.51$),共享方差为 34%。提示,球员的短距离冲刺速度与灵敏表现之间存在一定的训练迁移效果,反之亦然。与 Chaalali 等(2016)研究结论一致,青少年足球运动员经过为期 6 周的灵敏训练后可显著提升 2.21% 的 15 m 直线冲刺表现。但 Scanlan 等(2013)研究表明,澳大利亚的州级成年男子篮球运动员灵敏表现与 5、10 和 20 m 冲刺呈中度相关($r=0.32\sim 0.41$),低于本研究结果,可能与受试对象的感知决策能力差异有关,上述研究受试者的 DT 慢于本研究的受试者[(0.36±0.13)s vs (0.20±0.09)s],导致制动阶段产生较长的触地时间和较大的减速幅度。

本研究中,短距离冲刺能力较强的球员可表现出更

好的灵敏成绩,且 10 m 冲刺是影响球员灵敏表现的关键因素,表明进行针对性的速度训练可有效提升球员的灵敏表现。究其原因,一方面,可能是因为灵敏测试和短距离冲刺测试均涉及到相似的起跑、加速动作模式和跑动距离。Y 灵敏测试和 30 m 速度测试都要求球员从静态的位置启动,需在加速阶段采用快步频和短步幅的跑动策略(Shppard et al., 2006a),以在最短时间内达到理想速度。另一方面,可能与 Y 灵敏测试中变向动作的生物力学需求有关。Falch 等(2019)研究认为,小于 90° 变向角度的动作更多以速度为导向,而大于 90° 变向角度的动作更多以力为导向。然而,Born 等(2016)研究发现,6 周的重复冲刺训练未能显著提升 U15 足球运动员灵敏表现,与本研究产生的差异可能与运动负荷有关。上述研究采用的是对最大加速度要求较低的共计 20 次、工作/间歇比为 1:2 的 15 s 重复冲刺练习,发现运动员 6 周训练后的 20 m 冲刺和 CMJ 表现未有显著变化,这可能是速度训练对灵敏表现提升作用不明显的原因。因此,提升球员的灵敏表现应注重大强度的短距离冲刺练习,尤其是要加大 10 m 冲刺的练习比例。

3.3 下肢爆发力与灵敏表现的关系分析

本研究运用 CMJ、SJ 和 DJ 测试对球员下肢不同类型的爆发力能力进行评估,发现下肢爆发力各指标可解释灵敏表现 27.0%~51.2% 的共享方差,且下肢爆发力较强的球员可取得更好的灵敏测试成绩。这得到 Sattler 等(2015)研究结果的支持,发现灵敏素质较强的女子集体项目大学生运动员可表现出更佳的 CMJ、RSI 能力。其机制可能主要是两者动作模式结构和肌肉收缩模式的相似性(Rouissi et al., 2017)。灵敏测试中的加速跑和“切步”变向动作本质上属于拉长-缩短周期(stretch shortening cycle, SSC)动作,下肢动作最终体现为 SSC 的运动模式,即先进行快速离心动作,然后再快速进行向心动作。提示,采取不同形式的跳跃练习有助于提升球员的灵敏表现,尤其是提升球员的 CMJ 能力对于灵敏表现的发展具有重要意义。

Henry 等(2016)研究发现,澳式橄榄球运动员跳跃能力与 Y 灵敏表现之间的低相关性($r=-0.12\sim -0.28$),与本研究结果相反。可能是由于不同下肢爆发力测评方法对运动员触地时间要求的差异。上述研究采用的测评方法为单脚先向前纵跳 1.2 倍的下肢长度距离再立刻进行单侧跳跃(垂直、水平和横向),该方法要求运动员具备更强的制动和再加速能力,跳跃动作的触地时间被相应延长。因此,在一定程度上 CMJ、SJ、DJ 测试与 Y 灵敏测试对球员在加速冲刺、侧切变向动作中的触地时间要求更为相符。Matlák 等(2016)利用 Speedcourt 设备对业余足球运动员进行测试发现,CMJ 和灵敏表现之间的相关性不显著($r=-0.308$)。出现这种矛盾的一个可能原因是测试要

求的不同,上述研究要求受试者在约5.42 s的时间内完成5次灵敏动作,跑动距离在9.3~15.9 m。在此类测试中,受试者需要调整步幅和步频以触碰压力传感器并改变其方向,这可能增加了协调和感知决策因素的作用,从而降低了下肢爆发力的重要性。由此可见,对球员灵敏表现的测评有必要采用与专项特征密切相关的下肢爆发力和灵敏测试方法。

DJ测试反映了快速SSC的能力(触地时间<250 ms),以完成最佳跳跃高度和最少的触地时间为目的,涉及相对较小的膝关节屈曲幅度和较短的触地时间。相较于CMJ、SJ测试,DJ测试更符合灵敏测试中的动作模式结构和肌肉收缩模式特征,但本研究发现,RSI与灵敏表现的相关性低于CMJH和SJH,可能是由不合适的下落高度和较差的运动技术引起的。已有研究证实,相比于固定的DJ下落高度,受试者在最佳DJ下落高度下进行测试可表现出更优的运动能力(井兰香等,2012)。然而,本研究只要求受试者在固定的高度下(30 cm)进行DJ测试,最佳DJ下落高度是否可以提升两者之间的关联性有待今后进一步研究。

3.4 下肢力量与灵敏表现的关系分析

与1RM自由重量和等速肌力测试等相比,IMTP测试具备容易规范动作标准,且可得到较高信度的峰值力、RFD和冲量指标等突出优点(路恒等,2020)。Wang等(2016)研究证实,IMTP测试的峰值力与1RM硬拉($r=0.88$)、1RM深蹲($r=0.866$)呈非常高度相关,是评估运动员全身最大力量的有效方法。本研究表明,灵敏表现与IPF($r=-0.576$)、PFa($r=-0.554$)呈高度负相关。提示,增强球员的下肢绝对力量和相对力量对提升灵敏表现有一定的促进作用,反之亦然。这与Spiteri等(2015)的研究结果一致,当运动员产生更快的DT时,在制动和推进阶段可以表现出更短的触地时间、更大的推进冲量和IMTP相对峰值力,这提高了制动后再加速的能力。本研究发现,在IPF和IPFa指标中表现优异的球员能够表现出取得较好灵敏成绩的趋势($ES=0.56\sim 0.72$)。这得到了Fiorilli等(2020)研究的支持,与传统足球训练计划相比,6周的飞轮惯性装置力量训练显著提高足球运动员Y灵敏表现。这可能主要归因于力量的增强有助于提高球员在跑动过程中肌肉离心-向心的耦合作用。

RFD与单位时间内神经对运动单位的募集、神经冲动的频率以及肌肉收缩的类型有关,对于需要在特定时间内完成冲刺(<250 ms)和跳跃(>250 ms)等动作的运动员至关重要(李志远等,2020)。在本研究中,球员在不同关键时期内的RFD指标与灵敏表现之间呈中度负相关($r=-0.422\sim -0.465$)。提示,运动早期的RFD与灵敏表现之间存在相互促进作用。有研究证实,感知决策能力较强的球员可以促进运动早期的RFD和肌肉刚度(muscle

stiffness)增长,使更多的力和冲量在运动过程中得到应用(Sleivert et al., 2004)。本研究发现,在不同关键时期内的RFD中,RFD300a与灵敏表现的相关性最强,且RFD300a能力强的球员可显著提升灵敏表现。提示,0~300 ms关键时期产生的力与灵敏表现之间具有更好的训练迁移作用。这得到Zouhal等(2019)研究的证实,发现6周共12次的包含变向、跳跃和动态稳定性训练等的神经肌肉训练可以有效促进足球运动员灵敏表现的提升。这主要与灵敏测试中的变向动作特征相关,运动员接受外界刺激信号后进行变向动作时的触地时间约为0.23~0.51 s(Spiteri et al., 2015)。提示,在青春期后的肌肉质量快速增长阶段,注重最大力量能力发展的同时,需加大诸如跳跃等RDF约300 ms的练习比例。

4 结论与展望

4.1 结论

球员的灵敏表现受感知决策、短距离直线冲刺能力(5 m冲刺、10 m冲刺和30 m冲刺)、跳跃能力(CMJ、SJ和DJ)和下肢肌肉快速发力能力(RFD300a)不同程度的影响,其中感知决策和10 m冲刺能力是影响灵敏表现的关键因素。在今后的实践应用和研究中应考虑将结合信号刺激的灵敏测试作为球员体能测试的重要组成部分,并设计出针对性的感知决策和10 m冲刺能力训练计划,提升球员的灵敏表现。

4.2 研究局限与展望

本研究未能纳入更多的受试者实现大样本量,同时由于受制于样本量,也未进一步分析不同性别球员之间的灵敏表现差异。此外,本研究属于横断面设计,研究因素与结论的关系是探索性的。未来的研究可纳入全国多个省份的球员进行全方位评价,并进一步通过前瞻性研究确认感知决策、冲刺速度、下肢爆发力和力量等训练干预手段对提升球员灵敏表现的效果。这对于科学指导运动实践,提升球员的灵敏训练效率具有重要意义。

参考文献:

- 井兰香,刘宇,2012.不同高度跳深动力学及下肢肌肉预激活调节[J].体育科学,32(11):64-69.
- 李志远,虞松坤,车同同,2020.肌肉发力率与运动表现的关系及其训练干预研究进展[J].中国运动医学杂志,39(12):977-987.
- 路恒,许贻林,王然,2020.影响等长大腿中部拉测试信效度的方法学因素综述[J].体育与科学,41(6):75-87.
- 叶家驰,李春雷,程瑞,2018.中国国家男子7人制橄榄球运动员比赛跑动特征的研究[J].中国学校体育(高等教育),5(10):59-63.
- 邹利民,毛丽娟,伍懿,等,2019.疲劳与非预期效应对女子足球运动员侧切动作中膝关节生物力学的影响[J].中国体育科技,55(7):14-21.
- BENCKE J, ZEBIS M K, 2011. The influence of gender on neuromuscular pre-activity during side-cutting[J]. J Electromyogr Kinesiol, 21(2):371-375.

- BORN D P, ZINNER C, DÜKING P, et al., 2016. Multi-directional sprint training improves change-of-direction speed and reactive agility in young highly trained soccer players [J]. *J Sports Sci Med*, 15(2): 314-319.
- CHAALALI A, ROUISSI M, CHTARA M, et al., 2016. Agility training in young elite soccer players: Promising results compared to change of direction drills [J]. *Biol Sport*, 33(4): 345-351.
- CHAVDA S, TURNER A N, COMFORT P, et al., 2020. A practical guide to analyzing the force-time curve of isometric tasks in excel [J]. *Strength Cond J*, 42(2): 26-37.
- DOS SANTOS T, JONES P A, COMFORT P, et al., 2017. Effect of different onset thresholds on isometric midhigh pull force-time variables [J]. *J Strength Cond Res*, 31(12): 3463-3473.
- FALCH H N, RÆDERGÅRD H G, VAN DEN TILLAAR R, 2019. Effect of different physical training forms on change of direction ability: A systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Med Open*, doi: 10.1186/s40798-019-0223-y.
- FARROW D, YOUNG W, BRUCE L, 2005. The development of a test of reactive agility for netball: A new methodology [J]. *J Sci Med Sport*, 8(1): 52-60.
- FIORILLI G, MITROTASIOS M, IULIANO E, et al., 2017. Agility and change of direction in soccer: Differences according to the player ages [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 57(12): 1597-1604.
- FIORILLI G, MARIANO I, IULIANO E, et al., 2020. Isoinertial eccentric-overload training in young soccer players: Effects on strength, sprint, change of direction, agility and soccer shooting precision [J]. *J Sports Sci Med*, 19(1): 213-223.
- GABBETT T J, KELLY J N, SHEPPARD J M, 2008. Speed, change of direction speed, and reactive agility of rugby league players [J]. *J Strength Cond Res*, 22(1): 174-181.
- HENRY G, DAWSON B, LAY B, et al., 2011. Validity of a reactive agility test for Australian football [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(4): 534-545.
- HENRY G J, DAWSON B, LAY B S, et al., 2016. Relationships between reactive agility movement time and unilateral vertical, horizontal, and lateral jumps [J]. *J Strength Cond Res*, 30(9): 2514-2521.
- INGLIS P, BIRD S P, 2016. Reactive agility tests: Review and practical applications [J]. *J Aust Strength Cond*, 24(1): 62-69.
- LACHENBRUCH P A, 1989. Statistical power analysis for the behavioral sciences [J]. *J Am Stat Assoc*, 84(408): 1096-1097.
- MATLÁK J, TIHANYI J, RÁCZ L, 2016. Relationship between reactive agility and change of direction speed in amateur soccer players [J]. *J Strength Cond Res*, 30(6): 1547-1552.
- MORRAL-YEPES M, MORAS G, BISHOP C, et al., 2022. Assessing the reliability and validity of agility testing in team sports: A systematic review [J]. *J Strength Cond Res*, 36(7): 2035-2049.
- PAUL D J, GABBETT T J, NASSIS G P, 2016. Agility in team sports: Testing, training and factors affecting performance [J]. *Sports Med*, 46(3): 421-442.
- ROBBINS D W, GOODALE T, 2012. Evaluation of the physical test battery implemented at the National Football League Combine [J]. *Strength Cond J*, 34(5): 1-10.
- ROUISSI M, CHTARA M, OWEN A, et al., 2017. Change of direction ability in young elite soccer players: Determining factors vary with angle variation [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 57(7-8): 960-968.
- SATTLER T, SEKULIĆ D, SPASIĆ M, et al., 2015. Analysis of the association between motor and anthropometric variables with change of direction speed and reactive agility performance [J]. *J Hum Kinet*, 47(1): 137-145.
- SCANLAN A, HUMPHRIES B, TUCKER P S, et al., 2013. The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players [J]. *J Sports Sci*, 32(4): 367-374.
- SERPELL B G, FORD M, YOUNG W B, 2010. The development of a new test of agility for rugby league [J]. *J Strength Cond Res*, 24(12): 3270-3277.
- SERPELL B G, YOUNG W B, FORD M, 2011. Are the perceptual and decision-making components of agility trainable? A preliminary investigation [J]. *J Strength Cond Res*, 25(5): 1240-1248.
- SHEPPARD J M, YOUNG W B, DOYLE T L A, et al., 2006a. An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed [J]. *J Sci Med Sport*, 9(4): 342-349.
- SHEPPARD J M, YOUNG W B, 2006b. Agility literature review: Classifications, training and testing [J]. *J Sports Sci*, 24(9): 919-932.
- SLEIVERT G, TAINGAHUE M, 2004. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes [J]. *Eur J Appl Physiol*, 91(1): 46-52.
- SPITERI T, NEWTON R U, BINETTI M, et al., 2015. Mechanical determinants of faster change of direction and agility performance in female basketball athletes [J]. *J Strength Cond Res*, 29(8): 2205-2214.
- SPITERI T, MCINTYRE F, SPECOS C, et al., 2018. Cognitive training for agility: The integration between perception and action [J]. *Strength Cond J*, 40(1): 39-46.
- THOMPSON B J, RYAN E D, HERDA T J, et al., 2014. Age-related changes in the rate of muscle activation and rapid force characteristics [J]. *Age*, 36(2): 839-849.
- WANG R, HOFFMAN J R, TANIGAWA S, et al., 2016. Isometric mid-thigh pull correlates with strength, sprint, and agility performance in Collegiate Rugby Union players [J]. *J Strength Cond Res*, 30(11): 3051-3056.
- YOUNG W B, DAWSON B, HENRY G J, 2015. Agility and change-of-direction speed are independent skills: Implications for training for agility in invasion sports [J]. *Int J Sports Sci Coa*, 10(1): 159-169.
- YOUNG W B, WILLEY B, 2010. Analysis of a reactive agility field test [J]. *J Sci Med Sport*, 13(3): 376-378.
- YOUNG W, ROGERS N, 2014. Effects of small-sided game and change-of-direction training on reactive agility and change-of-direction speed [J]. *J Sports Sci*, 32(4): 307-314.
- ZOUHAL H, ABDERRAHMAN A B, DUPONT G, et al., 2019. Effects of neuromuscular training on agility performance in elite soccer players [J]. *Front Physiol*, 10(3): 947-956.

(收稿日期: 2021-11-04; 修订日期: 2022-04-30; 编辑: 尹航)