

研究综述

# 新兴技术融合发展下竞技运动心理学研究进展、实践与展望

赵祁伟, 陆颖之, 周成林

(上海体育学院 心理学院, 上海 200438)

**摘要:** 探究竞技运动心理学与新兴技术融合的新趋势,以冬奥服务中的实践创新为先导,提出我国竞技运动心理学的研究途径与服务体系。围绕心理技术,综述心理测量学、认知神经科学、可穿戴设备与神经反馈技术的最新进展;结合计算机领域新兴技术的应用更新,分析新兴技术的融合创新对我国竞技运动心理学研究与应用的推动作用,并对2022年北京冬奥会心理科技服务进行实践探索。在新兴技术融合发展的推动下,未来竞技运动心理学将以当前服务竞技体育过程中的主要科学问题为导向不断突破创新:心理测量技术将进行更加全面、便捷和深入的数据挖掘;认知神经科学技术将借助逐渐成熟的神经网络算法建立运动员心理特征的预测模型;反馈技术将在可穿戴设备性能的提升下完善动态数据的捕捉,建立个性化的神经反馈技术训练方案。

**关键词:** 心理技术; 人工智能; 竞技运动心理学; 新兴技术; 心理科技服务; 冬奥会

中图分类号: G804.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-5498(2020)11-0018-10

DOI: 10.16099/j.sus.2020.11.003

在竞技运动心理学40多年的发展过程中,心理技术的研究与应用不仅服务于运动员的心理调控,也分别从行为和认知神经层面揭示了高水平运动员认知加工的特征和机制。近10年来,以人工智能为代表的新兴技术的发展对心理技术的发展起到了巨大的推动作用,也为心理技术在竞技运动领域中的科技服务与应用开辟了新途径。2009年,周成林等<sup>[1]</sup>对当时心理技术在我国竞技运动中的应用进行了系统性回顾,指出:“心理技术在竞技体育中应用效益评定方法、理论及内在规律的探索,必须借助于高科技手段掌握运动员大脑变化的规律,借助于心理科学创新技术的不断开发和应用,才能更好地解决今后我国竞技体育运动中面临的各种问题。”而今天,竞技运动心理学的研究和服务正在向多学科、智能化、科学化的方向发展。

本文基于《心理技术在我国竞技体育运动中应用的回顾与展望》<sup>[1]</sup>一文,围绕心理技术,从心理测量技术的专业化与系统化、认知神经科学技术对运动表现的预测、可穿戴设备与神经反馈技术的结合等3个方面,对过去10年中竞技运动心理学研究的新进展进行梳理。结合计算机领域中新兴技术的应用更新,分析新兴技术的融合创新对我国竞技运动心理学研究与应用的潜在推进作用。围绕运动员心理状态的测量与评价、神经特征预测模型的构建、动态情境中数据的采集与分析、运动员竞技状态的调整与反馈等4个方面,阐述2022年北京冬奥会心理科技服务的实践探索。据此,提出在新兴技术融合背景下,未来心理技术在服务竞技运动心理学研究中的议题。

收稿日期: 2020-03-03; 修回日期: 2020-09-23

基金项目: 科技部国家重点研发计划项目(2018YFF0300503); 上海市人才“晨光计划”项目(18CG59); 上海市人才“浦江计划”项目(2019PJC086)

第一作者简介: 赵祁伟(ORCID: 0000-0001-9442-1647), 男, 天津人, 上海体育学院硕士研究生; Tel.: 18920700778, E-mail: zhaoqiwei1219@gmail.com

通信作者简介: 周成林(ORCID: 0000-0001-6244-4078), 男, 辽宁沈阳人, 上海体育学院教授, 博士, 博士生导师; Tel.: 13761339481, E-mail: chenglin\_600@126.com

## 1 近10年新兴技术融合发展对竞技运动心理学的推动

### 1.1 新兴技术提升心理测量技术的专业化与系统化水平

作为传统心理技术,心理测量技术是在对运动员心理服务过程中使用最为长久和广泛的技术手段之一。经过长期发展,问卷、量表等测量工具都具有良好的信度和效度,为科学研究和心理服务提供了保障。此外,测量技术还能实现短时间内的大样本数据采集,在纵向数据跟踪和横向数据收集中都具有较强的可操作性。

当前,人工智能领域中的多种新算法正在提升测量技术的测评效率、优化对测量数据的解读与分析。例如:深度学习技术在不同人群的心理健康预警系统中开始使用,实现了“一对多”的心理状态跟踪与实时分析,在一定程度上解决了心理医生数量匮乏的问题<sup>[2]</sup>;交互式进化计算应用于精神分裂症患者的心理测量和评估,实现了对病患情绪感知范围的量化分析<sup>[3]</sup>;自适应测评可有效减少测评的题目数量,从而减少作答时间,且相对于纸笔测试能提取更多信息<sup>[4]</sup>;此外,借助神经网络技术开发的诊断系统也已应用于儿童心理障碍诊断,可对多种病征进行评估,提出对应的处理建议,并提供自助服务<sup>[5]</sup>。

与此同时,在过去10年中,核心心理因素的系统化和对绩效表现的预测性是竞技心理测量研究的关注点。一方面,针对运动员心理特质和竞技状态影响因素的路径分析受到越来越多的关注。例如,近期研究发现,内在心理因素与外界社会因素会通过多种方式影响运动心理疲劳程度。希望特质在应激与心理疲劳间起到调节作用,希望特质越高,应激对心理疲劳影响越小<sup>[6]</sup>。运动员完美主义倾向和教练员自主支持都以心理需要作为部分中介影响心理疲劳<sup>[7-8]</sup>。应对方式对心理疲劳的影响受到社会主观支持的调节,采用回避应对和超越应对策略的运动员获得的主观支持越多,其心理疲劳程度反而越高<sup>[9]</sup>。另一方面,研究者针对不同运动专项特征进行心理测量,探索关键心理特征与运动水平、竞技表现之间的关系。如运动员的失败焦虑、社会期待焦虑与运动等级呈负相关,意志品质的果断性、坚韧性与赛前情绪的自信因子则可有效预测女子高尔夫运动员的运动等级<sup>[10]</sup>。心理准备、注意力、焦虑控制等所反映的心理发展水平与竞技能力显著相关,可作为预测比赛成绩的参考指

标<sup>[11]</sup>。在此基础上,新兴技术推动了竞技心理测评技术的发展。如机器学习算法的应用使传统统计方法能更精准地识别影响竞技状态的关键心理因素,并在此基础上提升对绩效表现预测的准确性。在应用层面,云端大数据等新型测量模式和测量途径的发展打破了传统测量技术的时空局限,提高了心理服务效率。研究者可借助互联网技术,即时、快速地获取运动员心理测量数据,并通过新兴算法进行精准提取和预测,最终形成有针对性的心理训练方案。

未来心理测量技术将心理学母学科中新兴技术的应用途径融合机器学习、自适应测试等算法,以互联网为依托,形成状态监控更有效率、绩效预测更准确的运动员心理测量体系,更好地服务于竞技运动领域。

### 1.2 新兴技术提升认知神经科学对运动表现预测的准确性

认知神经科学领域的技术手段不断发展,电生理学、神经影像学技术正逐渐成为竞技运动心理学的主流研究工具;同时,人工智能领域中新兴技术的开发、融入和应用也加速了运动认知神经科学的发展进程。一方面,计算机科学、信号处理技术所催生的新兴特征指标使人们对原始数据有了新的解读方法;另一方面,随着数据的累积,人工智能技术中的人工神经网络等分析方法被应用于心理学研究,以预测个体的认知和心理状态。

首先,在理论驱动层面,研究者正尝试通过不同的算法和信号处理方式从神经生理指标中探索更容易代表和反映行为特征的评价指标。如根据动力学特征算法,应用Hodgkin-Huxley电缆能量方程分析静息态脑电(Electroencephalogram, EEG)信号的耗能规律,通过局部皮质中突触激发和抑制之间的比值变化反映神经网络的能量消耗和信息传递效率<sup>[12]</sup>。人脑结构和功能网络连接方式能揭示个体在高级认知功能上的差异<sup>[13]</sup>。此外,深度学习技术的应用可改善脑成像数据中信息的提取和评估,人工神经网络算法可通过对时间序列数据的去卷积,改善信噪比,提高神经成像的分辨率<sup>[14]</sup>。同时,卷积神经网络算法可帮助自动化分割和标记神经图像<sup>[15]</sup>,这为神经成像数据的处理流程提供了新的方法<sup>[16]</sup>。

其次,在数据驱动层面,将大量数据与机器学习等新兴算法相结合,建立特征识别、绩效预测模型已成为当下的发展趋势。在临床医学领域已有研究<sup>[17]</sup>将机器学习应用于精神病的特征诊断,利用机器学习算法对大量磁共振影像(Magnetic Resonance

Imaging, MRI)数据进行分析,可识别海马与杏仁核在阿尔茨海默病中的关键性,并与健康对照组加以区分<sup>[18]</sup>,还可建立脑龄预测模型,帮助识别癫痫病特征<sup>[19]</sup>。纽约西奈山医学院的团队最先建立大规模图像数据的深度学习算法平台,可更精准地评估和诊断神经退行性疾病<sup>[20]</sup>。

由此可见,人工智能领域新兴技术的发展正在从理论和数据2个层面推动对心理特征的深度提取,建立对心理变量的功能预测。在过去10年中,运动认知神经科学在实验技术和高新设备的联合推动下得到了快速发展,为未来人工智能领域新兴技术的参与打下基础。

近年来,研究者广泛使用事件相关电位技术(Event-Related Potential, ERP)和功能磁共振技术(function Magnetic Resonance Imaging, fMRI)从时间和空间2个维度加深对运动员认知加工特征的理解。ERP技术凭借其高时间分辨率优势,多用于探究开放性对抗类项目中运动员认知过程神经活动变化的时程特征。例如:在完成信号转换任务时,高水平羽毛球运动员与新手相比,在完成信号转变任务时GO刺激诱发出更大的P2波幅,并与正确反应时成负相关,说明其变换速度快,并对变换信号准备更充分<sup>[21]</sup>;在完成GO/NOGO任务时,高水平乒乓球运动员与新手相比,在N2、P3成分上显示出“NOGO效应”,这与更好的认知抑制能力相联系<sup>[22]</sup>。这种优势不仅会出现在注意控制阶段[如pP2 (prefrontal P2)成分],也会表现在运动准备阶段(如BP成分)<sup>[23]</sup>。作为无创、高空间分辨率的研究手段,MRI近年来越来越多地被应用于运动认知研究。例如:乒乓球运动员在进行发球动作预判时,在对不一致动作的判别中感觉运动区和语义处理相关脑区的激活程度比普通人更高<sup>[24-25]</sup>;排球运动员进行模拟拦网决策时,负责视觉加工的枕极和枕叶梭状回脑区激活程度更小,体现出更高的神经效率<sup>[26]</sup>;高水平篮球运动员与新手相比在投篮表象时镜像系统激活程度更高,且在进行多目标追踪时表现出任务执行脑区的激活和无关信息处理脑区的失活<sup>[27-28]</sup>。

由此,研究者借助任务态fMRI探究运动认知过程中的脑活动特征,对EEG研究在空间特征探索上的不足进行了补充。此外,认知神经科学技术还被应用于运动员大脑结构和功能可塑性变化研究。对磁共振结构像(structural Magnetic Resonance Imaging, sMRI)、弥散张量成像(Diffusion Tensor Imaging, DTI)和静息态fMRI的研究发现,运动员神经可塑性在结构上的变化主要表现在灰质厚度、体积和白质各

向异性分数的变化,在功能上的变化主要体现在感觉运动系统、注意系统等方面<sup>[29]</sup>。以乒乓球和羽毛球运动员为研究对象,采用经颅磁刺激(Transcranial Magnetic Stimulation, TMS)技术的研究也发现,长期专项运动训练可增加主动肌肉对应区域的运动皮层兴奋性,提高神经募集水平<sup>[30]</sup>。

在广泛应用认知神经科学技术的同时,研究者也开始意识到选取分析方法和神经特征指标的重要性。相比传统的实验心理学研究范式,在运动认知心理学中采用的刺激材料多为复杂的运动场景,也包括动态视频,其科学问题往往指向高级、复杂的认知过程。在EEG数据分析中,相比传统的ERP分析,频域(frequency domain)和时频域(time-frequency domain)分析可挖掘更多自发和事件诱发脑活动,不同频段的能量变化与运动过程中的认知活动(如注意、抑制、运动控制等)息息相关<sup>[31]</sup>。通过EEG相干性(coherence)、相位同步性(phase synchronization)等指标,可探究大脑不同功能区之间如何传递、整合信息进行协同工作,以此反映更高级的认知功能<sup>[32]</sup>。如:在考察乒乓球运动员动作表达流畅性的过程中,采用alpha频段的同步性、theta频段在不同电极点位置的相干性进行评价<sup>[33]</sup>;通过EEG相干性反映运动员在专项动作识别过程中更高的神经效率<sup>[34]</sup>;基于小波变化的时-频分析也最大程度地体现了EEG数据的高时间精度优势,通过计算每50 ms内的连续变化观察乒乓球运动员进行动作预判时的大脑活动过程<sup>[35]</sup>。

另外,新兴分析技术的使用让研究者能更深入地挖掘脑影像学数据,提取运动员神经优势特征。采用多种功能活动指标的静息态fMRI研究<sup>[36-37]</sup>发现,舞蹈运动员感觉运动系统局部一致性(Regional homogeneity, ReHo)、低频振幅值(Amplitude of low frequency fluctuations, ALFF)、功能连接(function connectivity, FC)均高于对照组,长期的舞蹈训练建立了良好的动作观察、执行和调整加工模式。将数学图论算法引入脑成像研究,以探索运动员脑网络拓扑特征,发现高水平篮球运动员脑网络具有小世界属性,连接路径更短,全局效率更高<sup>[38]</sup>,在视觉系统与运动控制系统间存在一条“高速公路”帮助外周与中央进行信息交互,支持开放性技能动作的有效执行<sup>[39]</sup>。

竞技运动心理学的认知神经相关研究数量增长迅速,运动员电生理和神经影像数据的不断积累为新兴技术的应用打下了基础。在可预期的未来,机器学习算法可应用于优秀运动员特征优势的提取,为绩效

表现的预测、人才选拔与培养、训练模式的选择提供客观指标,并应用于竞技运动心理科技服务。

### 1.3 可穿戴设备结合神经反馈技术实现对运动状态的动态化评估

在竞技运动领域,如何将理论研究成果应用于实际运动训练,最终达到提升运动员绩效表现的目的非常重要。在近10年的发展中,伴随着运动认知过程神经机制研究的深入以及采集设备性能的提升,神经反馈训练(Neurofeedback Training, NFT)得到了快速发展和广泛应用,成为连接基础研究和实际应用之间的“桥梁”。

NFT通过快速采集并分析个体的神经活动,有针对性地以视觉或听觉形式进行实时反馈,帮助个体对神经活动进行自主调节<sup>[40]</sup>。这是近10年发展最迅速、使用最为广泛的技术手段之一。目前,NFT主要借助EEG技术展开,其中感觉运动节律(Sensorimotor Rhythm, SMR)是最常使用的神经活动反馈指标之一。在进行高尔夫推杆练习时,以SMR为指标的NFT运动员在后测中的绩效表现显著高于未经过干预训练的运动员<sup>[41]</sup>,在8组干预练习后,击中率和SMR频段能量显著提升。除SMR指标外,alpha频段的能量值<sup>[42]</sup>、alpha-theta比(comparison of alpha-theta)<sup>[43]</sup>同样被认为是进行NFT的有效指标。同时,一项针对1991—2017年采用EEG神经反馈技术进行研究的元分析<sup>[44]</sup>也表明,NFT确实是行之有效的训练手段。NFT能使运动员的大脑神经活动集中于运动任务,抑制对干扰因素的加工,帮助运动员提高运动成绩。

同时,要在竞技运动训练中发挥更重要的作用,神经反馈技术仍需克服存在的实际困难。一方面是技术使用过程中的参数拟定。对大部分高水平运动员而言,根据其个体特异性,选取适宜的训练方法,提高反馈训练的针对性,并对训练效果进行及时评估非常重要<sup>[45]</sup>。目前,神经反馈技术针对不同训练科目(如注意力训练、平衡控制训练等)中使用的关键频率指标、监测电极点、训练的组织形式等还未形成完善、稳定的方案<sup>[46]</sup>。另一方面,可穿戴设备的动态采集是实现运动过程中神经反馈技术的重要推动力。动态环境是竞技体育区别于一般认知加工过程的重要因素之一,要获取运动员在真实运动状态下的神经数据,可穿戴设备的性能提升包括2个方面:①采集设备的便携性;②处理信号、去除伪迹算法的优化<sup>[40]</sup>。值得庆幸的是,在过去10余年工业技术的发展中,一些

无线采集技术正在尝试解决上述问题,为真实运动情境下的神经数据采集提供了途径。

在采集设备的便携性方面,研究者比较了干电极与传统湿电极<sup>[47]</sup>,以及无线传输与传统有线传输的信号质量差别<sup>[48]</sup>,通过各条件下P300成分的比较,证明了无线放大器以及干电极在脑电设备中使用的可行性。此外,也有研究者尝试考察近红外采集技术(functional Near Infrared Spectroscopy, fNIRS)在动态情境下实施的可行性,使用可穿戴的NIRSport设备测量参与者在乒乓球、弹奏乐器和日常活动中的大脑血氧活动变化,结果显示fNIRS在真实运动和生活情境中的测量均具有可靠性<sup>[49]</sup>。当前,开发者正尝试将更小、更轻便、续航能力更强的放大器与数据存储硬盘集成于一体,让采集过程不再受限于繁琐的线缆连接。在进行EEG信号采集时,可将设备固定于躯干位置,在执行动作的同时完成数据获取。此外,利用无线传输功能,可在接收端实时查看运动过程中的EEG信号变化情况,使高水平运动员神经活动状态的长期监测和即时反馈成为可能。

以上技术的发展为科学研究可穿戴设备的开发打下了基础,但仍需大量基础性研究确保信号采集的有效性。未来,随着可穿戴设备在竞技运动领域的投入使用,运动员神经数据的采集过程将克服环境因素的限制,从实验室转入真实的运动情境,提升生态效度,同时也使得运动状态下神经特征的实时反馈成为可能,为科学训练提供新的途径。

## 2 新兴技术融合发展下科技冬奥心理服务的实践探索

如前所述,近年来我国竞技运动心理学发展迅速,心理测量学的发展促进影响竞技状态的关键心理因素不断系统化,认知神经科学技术的应用使专业运动员的认知优势和神经特征不断明晰。理论研究的不断突破也为新兴技术的应用积累了数据和实践基础。随着新技术的使用,竞技心理研究与服务将向高效化和深入化发展:一方面应用新的数据采集技术与分析算法,多角度深入理论探究;另一方面借助更高效的服务模式,实现从理论到应用的转化。心理测量、神经科学、动态采集和反馈训练等技术作为服务竞技运动领域的重要工具,在各自发展的同时,也在不断加强互相之间的协同合作,构成一个全面、系统、及时的反馈服务体系,为体育运动的研究和科技服务提供最优化的解决方案。

随着2022年北京冬奥会备战的启动,如何在这一周期中最大程度地提升心理技术对竞技运动的服务效率和效果,将是对这10年来竞技运动心理学发展程度的一个重要考量。2018年9月,科技部启动国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项。其中,“冬季项目运动员技能优化关键技术研究”项目中的“提升雪上技巧项目动作控制大脑神经效率关键技术与应用”这一课题将心理测量技术、神经科学技术与动态反馈技术进行有效结合,为2022年冬奥会的备战提供心理技术支持。该项目以近10年来的发展为借鉴,从建设运动员心理测量云平台、建立运动员绩效表现预测模型、可穿戴设备与NFT等3个方面,为冬奥备战提供心理科技服务。

### 2.1 建设运动员心理测量云平台

心理测量技术虽然在信效度、操作简易性和数据积累上占优势,但对于常年外出训练和比赛的运动员而言,如何实现不间断的状态监控和及时反馈,如何整合各赛季周期中的心理测量数据进行横向和纵向比对,以及如何最大程度地满足运动员和教练员的个性化需求,是心理测量技术服务于运动队需要解决的实际问题。在提取关键测量指标后,移动互联网技术和机器学习技术的应用为解决这些困难提供了很好的途径:①在跟队服务期间,采集如焦虑水平、心境状态、人格特征等数据,对运动员基础心理特征进行初步评估;②建立不受时间、地点限制,在线即时反馈的运动员心理测量云平台,选取重要心理状态指标进行长期的跟踪监测和反馈;③建立自适应答题模式,减少运动员答题数量,提升测量效率;④通过长期心理测量数据的积累,借助机器学习方法建立运动员心理状态预测模型。

以服务单板滑雪大跳台和坡面障碍技巧国家集训队为例,通过访谈与施测基础心理测评,对运动员的心理特征进行初步探究,从诸多心理特征中提取可能影响竞技表现的关键心理因素。初评结果显示,女性运动员特质焦虑水平显著高于男性运动员,在之后的训练与比赛过程中,焦虑情绪的波动变化应作为其纵向跟踪心理测评与调控的关键点之一,并将心境状态、焦虑水平、意志品质、心理疲劳、竞赛状态自信和应激应对等6个方面作为该项目需密切关注的心理状态指标。

随后,基于初评结果的核心指标,建立“运动员心理测量云平台”(图1),为长期纵向测评提供有效实施途径。平台通过手机端App,借助移动互联网,将运动员、教练员、心理服务工作者实时连接在一起:运动员对App内定期发布的心理状态问卷作答,云平台实时完成数据运算,给出反馈建议;教练员可通过云平台查看运动员的心理状态和阶段内变化趋势,并对近期参加比赛或需要特别关注的运动员进行标记;心理服务工作者可对运动员的心理数据进行在线分析和监控,并有针对性地提供建议和心理支持。该心理状态测量云平台的建设能在一定程度上解决运动员、教练员、心理工作者三方时间与地点的协调困难问题,最大限度地提升心理测评服务的有效性和及时性。随着心理服务的推进,根据长期积累的多维度心理数据,可绘制出每名运动员的心理状态变化趋势。数据的积累也为机器学习等技术的应用奠定了基础。通过对不同运动员心理特征数据集的训练,一方面生成自适应测评系统进一步提高时效性,另一方面建立更为准确的预测模型,帮助调控竞技状态,制订训练计划。

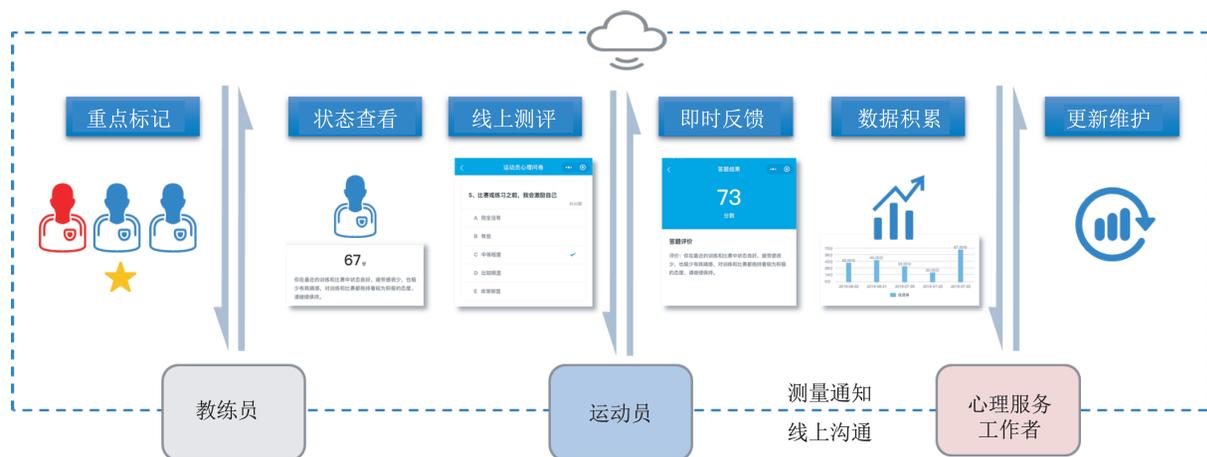


图1 运动员心理测量云平台

Figure 1 Athlete psychological measurement cloud platform

## 2.2 建立运动员绩效表现预测模型

借助当前新兴技术的融合发展,针对项目特征,提取项目的核心特征指标,建立与优秀绩效表现之间的联系,为运动训练和制订比赛策略提供参考。以空中技巧项目运动员为例,运动员完成空中动作既需对身体翻转姿态进行平衡控制,还需对自身速度和空间位置进行认知判断,在这一过程中,中枢神经系统能否合理分配认知资源,进行精准调控是动作成败的关键因素之一。因此,针对如何最大程度地提取项目相关的神经活动特征,并为心理训练方案的制订和效果评价提供参考,应从以下2个方面推进:①基于大脑活动数据结果,建立个性化心理表象训练方案;②结合静息态脑活动,以及项目的关键神经特征指标,将运动员神经活动与绩效表现相联系,建立运动员绩效表现的预测模型。

### 2.2.1 制订个性化心理表象训练方案

在技巧类项目中,表象训练是心理训练的重要组成部分,如何让表象训练的效益最大化,关键取决于训练手段是否符合运动员当前对动作的掌握和动作记忆方式的加工特点。因此,围绕表象训练的核心内容,多技术、多维度地进行神经活动测评,以探明行之有效的施测方法,可为心理表象训练方案的制订提供重要依据。

首先,教练员在为运动员选择表象训练的动作内容时,通常依据个体经验,对于动作内容是否适合进行表象训练以及表象训练的效果缺少科学的判断依据。前人研究<sup>[50]</sup>指出,EEG耦合性与运动绩效表现相联系,反映大脑区域间协同工作的效率。在自由式滑雪空中技巧运动的表象认知任务测评中发现:在进行高质量动作表象时,伴有低频alpha和高频alpha频段更强的活动耦合性,且这种增强主要体现在大脑额区各位置的连通;在theta频段,右侧额部和顶部的活动耦合性有所增强。而对于尚未完全掌握的动作进行表象时,theta频段在右半脑的活动耦合性会增强(图2A)。由此提示,上述的耦合性指标可作为表象训练中的关键神经指标,辅助判断表象训练效果,以及对表象内容选择的合适性。

其次,通过观看优秀运动员的优质动作视频提升自身水平是技巧类项目中常用的表象训练辅助手段之一。以单板滑雪U型场地技巧项目为例,在进行视频观看训练时,运动员常用的2类视频是“完整优质动作套”和“重复单一优质动作”,但两者各有利弊。前者相对侧重动作间的连接,且这种连接性可能会提高

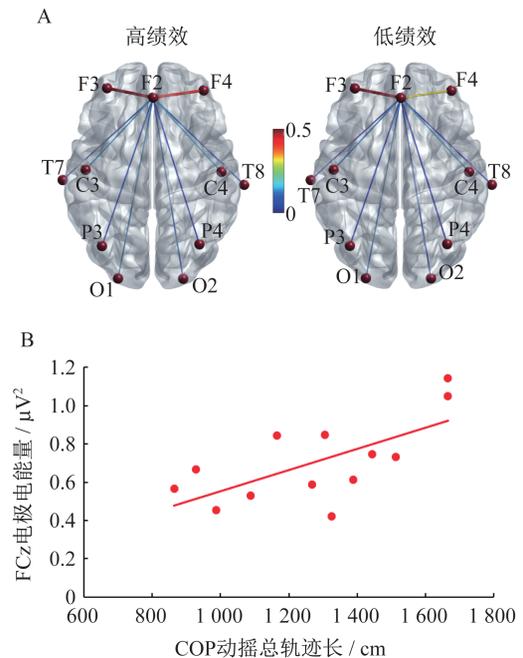


图2 雪上技巧类项目的关键神经特征指标变化情况  
Figure 2 Changes of the main neuro index of snowboard events

其对某个单一动作的运动记忆<sup>[51]</sup>;后者的观看方式更高效,也能在相同时间内达到对单一动作的快速强化<sup>[52]</sup>。由此,为比较2种视频的观看效果,课题组利用fNIRS技术,采集了14名国家队运动员在观看2类视频过程中的大脑活动数据,并在观看后考察其对所观看动作的记忆程度。结果显示,观看“重复单一优质动作”视频的效果优于观看“完整优质动作套”,所产生的相关动作记忆更强,大脑血氧活动表现为颞中回的皮层活动更加活跃。由此建议,在巩固动作记忆的视频观看训练中,观看“重复单一优质动作”视频更有利于大脑形成相应动作记忆。

### 2.2.2 建立基于神经活动特征的绩效表现预测模型

通过运动员的大脑数据预测其相应阶段的绩效表现能为运动训练方案的阶段制订提供重要参考,而与绩效表现相联系的神经指标的积累是建立预测模型的基础。在前人研究<sup>[53-55]</sup>中,竞技运动心理学工作者将运动员静息状态下的IAPF (Individual Alpha Peak Frequency)值与平衡控制等实际运动任务的绩效表象相关联,发现IAPF值可作为有效的预测性指标。因此,课题组将运动员静息态EEG数据下的IAPF值作为基础指标,并结合专项认知任务和实际运动过程中的IAPF值,纳入运动员绩效预测模型,这些基础数值同时也为运动员NFT方案的参数拟定提供参考。除IAPF值外,认知任务中的神经活动也被

纳入预测模型。例如,自由式滑雪空中技巧运动员在表象过程中,中央区高频 alpha 能量的同步性活动与运动员的雪联积分成负相关,积分越高的运动员同步性活动越小,去同步活动越强,因此,中央区高频 alpha 能量的同步性活动指标可作为建立预测模型的重要任务态指标之一。

基于认知神经科学技术的使用,课题组下一步将从 EEG 的 IAPF 值、ERP 成分、EEG 频段能量变化、事件相关频谱扰动(Event-related Spectral Perturbation, ERSP)、fNIRS 的血氧状态等多个大脑指标,对雪上项目运动员的大脑活动数据进行深入挖掘。同时,随着测试数据和比赛成绩的积累,多维度和多角度的神经数据将作为应用机器学习技术的基础,进一步识别优秀运动员的神经特征,形成 NFT 建议方案,并建立绩效表现预测模型。

### 2.3 可穿戴设备与 NFT

当前的反馈技术已能初步实现在神经活动层面的解读和调控,而在 NFT 之前,生理反馈技术(Biofeedback Training, BFT)是心理服务过程中更普遍使用的技术手段<sup>[56]</sup>。随着对于大脑了解的深入,神经反馈技术开始普及。结合神经反馈技术在竞技运动训练中的使用,针对冬奥会相关项目特征,该技术当前在雪上项目的心理科技服务中主要包括 3 个方面:①地面练习中对平衡控制能力的训练;②干扰环境下的注意力专注训练;③缓解运动员的焦虑状态。

对于雪上技巧类项目,优秀的姿势控制能力是运动员取得优异成绩的重要基础和关键技术。无论在滑行过程中还是在起跳落地时,姿势控制的稳定性都是成功完成动作的重要保障。在滑冰、滑雪等冰上、雪上项目中,进行针对身体平衡能力的 NFT 已在国际上得到了应用,如在平衡动作执行过程中尽可能地降低枕区 4~7 Hz 的频段活动,同时增强 15~18 Hz 频段的活动,1 次练习 30 min 左右<sup>[57]</sup>。为保障 NFT 有效开展,课题组采集了 13 名单板大跳台和坡面障碍技巧国家队运动员完成动作平衡控制时的大脑活动数据,并提取了低频 alpha 频段(8~10 Hz)、高频 alpha 频段(10~12 Hz)和 theta 频段(3~8 Hz)能量值的变化,同时将大脑皮层的激活特征与其绩效表现建立关系。结果显示,在 3 种站姿(双脚站、左脚站和右脚站)下,平衡控制表现更好的运动员在 theta 频段能量值更小,同时运动员身体重心(center of pressure, COP)动摇总轨迹长与 theta(图 2B)、低频 alpha、高频 alpha 能量值呈显著正相

关。这一结果将辅助 NFT 方案的制订,在平衡控制训练中,尽可能降低控制过程中的 theta 频段能量。

注意力训练在多个运动项目的心理训练中都会涉及。传统的注意力训练由运动员进行主观练习,无法通过外部设备的监测反馈训练效果。注意力训练通常结合 BFT 同时使用,通过心率变异性(heart related variable, HRV)和 EEG 这 2 种生理信号,结合自我报告进行主观反馈。在神经反馈部分,SMR 通常作为反馈的核心指标,大脑 CPz 电极点作为监测位置。在训练过程中,高尔夫运动员在完成各次推杆过程中尽可能集中注意力,提高自己在推杆前 SMR 的绝对波幅,每次训练 30~45 min,持续训练 5 周后发现,高尔夫运动员的推杆运动成绩有所提高<sup>[41]</sup>。

在焦虑情绪调控方面,早期的 BFT 主要将 HRV 指标作为反馈的核心指标。目前,在 NFT 中,SMR、theta 频段和高频 beta 频段的神经活动是反馈的重要指标。这 3 个指标与焦虑状态表现存在密切联系。例如,伊朗女子国家游泳队对 20 名运动员进行了 NFT,借助神经反馈技术,要求提高运动员 SMR 的活跃程度,同时降低 theta 频段和高频 beta 频段的活跃程度。训练进行了 12 次,每次持续 45 min。最终,参与训练的运动员在后期测试中状态焦虑指数明显下降,而未参与训练的运动员仍保持原来的高焦虑状态<sup>[58]</sup>。

在技巧类项目中进行运动过程中的 NFT 存在诸多客观困难,如数据采集设备的无感程度、对运动过程中干扰信号的过滤技术等。要满足运动场景下的动态需求,研发可穿戴设备的硬件是重要前提。当前便捷式脑电设备已在运动认知心理学研究中得到广泛运用,虽然无线便捷设备的出现在一定程度上实现了运动状态下的 EEG 活动监测,但要应用于冬季项目仍存在诸多挑战。例如:极端天气下如何维持设备的良好运行;如何有效过滤较大身体活动造成的伪迹信号;如何尽可能使设备小巧轻便,降低运动员的不适感;等等。因此,可穿戴设备可作为理论研究向实际应用转化的重要“桥梁”,提升心理技术在运动训练中的运用效益。

### 3 新兴技术融合发展下竞技运动心理学研究展望

当前,新兴技术的融合发展为竞技运动心理学研究提供了前瞻性的研究方法与工具。竞技运动心理学研究通过对高水平运动员行为和神经活动的探究描述、解释其运动认知能力,并借助当前各类新兴技

术力量实现对运动员心理特征的提取和竞赛状态的预测。未来竞技运动心理学在与新兴技术融合中,应从以下3个方面进行深入研究。

(1)融合新兴技术提升心理测量数据的可利用程度。在心理测量技术现有应用的基础上,加大数据挖掘的深度、提高有效特征的提取率是调控运动竞技状态、预测绩效表现的重要途径。应解决的问题有:①如何以移动化心理测量平台为载体,满足运动员在长周期和多地点备战过程中心理状态的跟踪监测;②如何借助新兴算法帮助提升心理测量数据的有效解读;③如何利用人工智能技术更好地发挥心理测量在运动员竞技状态调控和预测中的作用;④如何利用大数据技术纳入更多影响心理状态的相关变量,从而提升心理测量技术在竞技运动领域中应用的全面性和系统性。

(2)借助新兴技术建立绩效表现预测模型。加强识别与运动绩效表现相联系的神经特征有助于提高反馈技术在心理训练中的准确性和科学性。应解决的问题有:①运动员信息加工过程、运动记忆和技能学习的机制是什么;②感知和运动的交互过程受哪些认知因素调控;③情绪、奖赏、认知决策等高级认知活动如何与运动表现相互作用;④如何利用机器学习、神经网络等技术揭示高水平运动员技能表现中的高效节省化优势,进而为运动训练和技能学习提供科学指导。

(3)通过新兴技术推动实时反馈在心理训练中的应用。以可穿戴设备为媒介实现数据采集、实时反馈的动态发展过程,加强心理训练的科学性和有效性,进而提升运动绩效表现。应解决的问题有:①如何研发适合多种运动场景的可穿戴设备,满足极端环境的使用需求;②如何提升产品性能,保障动态数据的采集质量;③如何在心理学研究工具提升的基础上建立运动员特征大数据库,进而提升竞赛状态评估与反馈的有效性;④如何实现靶向心理状态核心参数的实时采集与在线分析,进而完善对整个运动状态解读,实现反馈环路的流畅运行。

#### 4 结束语

在新兴技术融合发展的推动下,未来竞技运动心理学将在理论与实践2个方面以当前服务竞技体育过程中的主要科学问题为导向不断突破创新。心理测量技术将进行更加全面、便捷和深入的数据挖掘,认知神经科学技术将借助逐渐成熟的神经网络算法,建立运动员心理特征的预测模型,反馈技术将在可穿戴

设备性能的提升下,完善动态数据的捕捉,建立个性化的神经反馈技术训练方案。这些环节都将在新兴技术融合推动下为理论研究和实际应用建立“桥梁”,最终实现心理科技服务的动态过程,促进2022年北京冬奥会科技心理服务的效益最大化。

#### 作者贡献声明:

赵祁伟:收集、整理资料,撰写论文;

陆颖之:调研文献,修改论文;

周成林:提出论文选题,设计论文框架,指导修改论文。

#### 参考文献

- [1] 周成林,赵洪朋.心理技术在我国竞技体育运动中应用的回顾与展望[J].上海体育学院学报,2009,33(2):59-64
- [2] 李孝坚,吴家隐,李云锦,等.基于互联网+机器学习的心理健康预警技术[J].电子技术与软件工程,2019(8):148
- [3] TAKAGI H. Interactive evolutionary computation for analyzing human awareness mechanisms [J]. Applied Computational Intelligence and Soft Computing, 2012: e694836
- [4] 钱锦昕,余嘉元.基于IRT的量子遗传算法选题策略[J].心理科学,2016,39(4):796-800
- [5] 陈冰梅,樊晓平,周志明,等.基于神经网络与人工智能的计算机系统 in 儿童心理障碍诊断领域的应用[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(13):2467-2470
- [6] 刘训.应激对运动员心理疲劳的影响:一个有中介的调节模型[J].沈阳体育学院学报,2019,38(3):100-105
- [7] 郭正茂,杨剑.教练员自主支持对运动员心理疲劳的影响:基本心理需要的中介作用[J].天津体育学院学报,2017,32(6):487-493
- [8] 郭正茂,杨剑.青少年运动员完美主义与心理疲劳关系的重构:基于基本心理需要的中介效应[J].上海体育学院学报,2018,42(1):95-103
- [9] 郭玉江.应对方式与运动心理疲劳的关系:两种社会支持的调节效应[J].北京体育大学学报,2017,40(12):64-71
- [10] 殷怀刚,韩冬.中国优秀女子高尔夫运动员心理特征研究[J].体育与科学,2019,40(4):100-105
- [11] 李杰,刘智愚,王美玲,等.我国优秀散打运动员心理技能与失败应对策略研究[J].北京体育大学学报,2018,41(5):144-150

- [12] YU L, SHEN Z, WANG C, et al. Efficient coding and energy efficiency are promoted by balanced excitatory and inhibitory synaptic currents in neuronal network [J]. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 2018, 12:123
- [13] LIAO X, VASILAKOS A V, HE Y. Small-world human brain networks: Perspectives and challenges [J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2017, 77: 286-300
- [14] XU L, REN J S J, LIU C, et al. Deep convolutional neural network for image deconvolution [C]. *Montreal: Advances in neural information processing systems*, 2014: 1790-1798
- [15] GHAFORIAN M, KARSSEMEIJER N, HESKES T, et al. Location sensitive deep convolutional neural networks for segmentation of white matter hyperintensities [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1):5110
- [16] GLASER J I, BENJAMIN A S, FARHOODI R, et al. The roles of supervised machine learning in systems neuroscience [J]. *Progress in Neurobiology*, 2019, 175: 126-137
- [17] HUYS Q J M, MAIA T V, FRANK M J. Computational psychiatry as a bridge from neuroscience to clinical applications [J]. *Nature Neuroscience*, 2016, 19 (3) : 404-413
- [18] LEBEDEV A V, WESTMAN E, VAN WESTEN G J P, et al. Random forest ensembles for detection and prediction of Alzheimer's disease with a good between-cohort robustness [J]. *NeuroImage: Clinical*, 2014, 6: 115-125
- [19] SONE D, BEHESHTI I, MAIKUSA N, et al. Neuroimaging-based brain-age prediction in diverse forms of epilepsy: A signature of psychosis and beyond [J]. *Molecular Psychiatry*, 2019(5):1-10
- [20] SIGNAEVSKY M, PRASTAWA M, FARRELL K, et al. Artificial intelligence in neuropathology: Deep learning-based assessment of tauopathy [J]. *Laboratory Investigation*, 2019, 99(7): 1019-1029
- [21] CHEN J, LI Y, ZHANG G, et al. Enhanced inhibitory control during re-engagement processing in badminton athletes: An event-related potential study [J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, 8(6) :585-594
- [22] 徐立彬. "Go/NoGo"任务范式下乒乓球运动员对发球知觉判断的ERP研究[J]. *天津体育学院学报*, 2019, 34(3): 250-255
- [23] BIANCO V, BERCHICCI M, PERRI R L, et al. Exercise-related cognitive effects on sensory-motor control in athletes and drummers compared to non-athletes and other musicians [J]. *Neuroscience*, 2017, 360:39-47
- [24] WANG Y, LU Y, DENG Y, et al. Predicting domain-specific actions in expert table tennis players activates the semantic brain network [J]. *NeuroImage*, 2019, 200: 482-489
- [25] SMITH M. Neurophysiology of action anticipation in athletes: A systematic review [J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2016, 60:115-120
- [26] 孟国正. 排球运动员决策神经效率的fMRI研究[J]. *中国体育科技*, 2016, 52(4):84-90
- [27] QIU F, PI Y, LIU K, et al. Neural efficiency in basketball players is associated with bidirectional reductions in cortical activation and deactivation during multiple-object tracking task performance [J]. *Biological Psychology*, 2019, 144:28-36
- [28] ZHANG L L, PI Y L, SHEN C, et al. Expertise-level-dependent functionally plastic changes during motor imagery in basketball players [J]. *Neuroscience*, 2018, 380: 78-89
- [29] 任占兵,胡琳琳,张远超,等. 运动技能专家脑可塑性研究进展:来自磁共振成像的证据[J]. *中国体育科技*, 2019, 55(2):3-18
- [30] 戴雯,张剑,谭晓纓. 乒乓球和羽毛球运动员大脑可塑性差异比较[J]. *中国体育科技*, 2017, 53(6):127-132
- [31] CHERON G, PETIT G, CHERON J, et al. Brain oscillations in sport: Toward EEG biomarkers of performance [J]. *Frontiers in Psychology*, 2016, 7:246
- [32] 武侠,钟楚鹏,丁玉珑,等. 利用时频分析研究非相位锁定脑电活动[J]. *心理科学进展*, 2018, 26(8):1349-1364
- [33] WOLF S, BRÖLZ E, KEUNE P M, et al. Motor skill failure or flow-experience? Functional brain asymmetry and brain connectivity in elite and amateur table tennis players [J]. *Biological Psychology*, 2015, 105:95-105
- [34] 王丽岩,李安民,顾楠,等. 乒乓球运动员发球动作识别时的神经效率:来自EEG的证据[J]. *中国运动医学杂志*, 2013, 32(5):430-436
- [35] LU Y, YANG T, HATFIELD B D, et al. Influence of cognitive-motor expertise on brain dynamics of anticipatory-based outcome processing [J]. *Psychophysiology*, 2020, 57(2):e13477
- [36] LU Y, ZHAO Q, WANG Y, et al. Ballroom dancing promotes neural activity in the sensorimotor system: A resting-state fMRI study [J]. *Neural Plasticity*, 2018 (8) : 1-7
- [37] 赵琦,陆颖之,王莹莹,等. 舞蹈运动员大脑感知运动系统的功能特征:一项静息态功能磁共振研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(12):1081-1086
- [38] PI Y L, WU X H, WANG F J, et al. Motor skill learning induces brain network plasticity: A diffusion-tensor imaging study [J]. *PLoS ONE*, 2019, 14(2):1-17

- [39] ZHU H, PI Y L, QIU F H, et al. Visual and action-control expressway associated with efficient information transmission in elite athletes[J]. *Neuroscience*, 2019, 404(9): 353-370
- [40] PARK J L, FAIRWEATHER M M, DONALDSON D I. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance [J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2015, 52: 117-130
- [41] CHENG M Y, HUNG C L, HUANG C J, et al. Sensorimotor rhythm neurofeedback enhances golf putting performance [J]. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2015, 37(6): 626-636
- [42] DEKKER M K J, VAN DEN BERG B R, DENISSEN A J M, et al. Feasibility of eyes open alpha power training for mental enhancement in elite gymnasts [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2014, 32(16): 1550-1560
- [43] RAYMOND J, VARNEY C, PARKINSON L A, et al. The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood [J]. *Cognitive Brain Research*, 2005, 23(2-3): 287-292
- [44] XIANG M Q, HOU X H, LIAO B G, et al. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 2018, 36: 114-122
- [45] 蒋长好, 陈婷婷. 脑电生物反馈对认知和脑功能的影响 [J]. *内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版)*, 2015, 44(1): 129-132
- [46] MIRIFAR A, BECKMANN J, EHRENSPIEL F. Neurofeedback as supplementary training for optimizing athletes' performance: A systematic review with implications for future research [J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2017, 75: 419-432
- [47] BLANCO J A, JOHNSON M K, JAQUESS K J, et al. Quantifying cognitive workload in simulated flight using passive, dry EEG measurements [J]. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 2018, 10(2): 373-383
- [48] DE VOS M, KROESEN M, EMKES R, et al. P300 speller BCI with a mobile EEG system: Comparison to a traditional amplifier [J]. *Journal of Neural Engineering*, 2014, 11(3): 36008
- [49] BALARDIN J B, ZIMEO MORAIS G A, FURUCHO R A, et al. Imaging brain function with functional near-infrared spectroscopy in unconstrained environments [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2017, 11: 258
- [50] BABILONI C, DEL PERCIO C, IACOBONI M, et al. Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms [J]. *Journal of Physiology*, 2008, 586(1): 131-139
- [51] AMORUSO L, FINISGUERRA A, URGESI C. Tracking the time course of top-down contextual effects on motor responses during action comprehension [J]. *Journal of Neuroscience*, 2016, 36(46): 11590-11600
- [52] STEFAN K, COHEN L G, DUQUE J, et al. Formation of a motor memory by action observation [J]. *Journal of Neuroscience*, 2005, 25(41): 9339-9346
- [53] CHRISTIE S, DI FRONSO S, BERTOLLO M, et al. Individual alpha peak frequency in ice hockey shooting performance [J]. *Frontiers in Psychology*, 2017, 8: 762
- [54] HÜLSDÜNKER T, MIERAU A, STRÜDER H K. Higher balance task demands are associated with an increase in individual alpha peak frequency [J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016, 9: 695
- [55] GUTMANN B, MIERAU A, HÜLSDÜNKER T, et al. Effects of physical exercise on individual resting state EEG alpha peak frequency [J]. *Neural Plasticity*, 2015(2): 717312
- [56] DZIEMBOWSKA I, IZDEBSKI P, RASMUS A, et al. Effects of heart rate variability biofeedback on EEG alpha asymmetry and anxiety symptoms in male athletes: A pilot study [J]. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 2016, 41(2): 141-150
- [57] HAMMOND D C. Neurofeedback for the enhancement of athletic performance and physical balance [J]. *The Journal of the American Board of Sport Psychology*, 2007, 1(1): 1-9
- [58] FARIDNIA M, SHOJAEI M, RAHIMI A. The effect of neurofeedback training on the anxiety of elite female swimmers [J]. *Annals of Biological Research*, 2012, 3(2): 1020-1028

(下转至第54页)

sports lottery public welfare fund, management organization, managers, public sports service instructors, national physique monitoring sites, stadium area, morning and evening exercise spots and sports groups, sports organizations, the number of taking morning and evening exercises, and the annual number of sports activities and training. The performance of public sports services in 31 provinces, autonomous regions and municipalities is analyzed empirically. The results show that : ①The performance index of public sports service in China is generally low, with a big difference of performance in different regions and an expanding trend. ②From 2009 to 2015, the performance indexes of public sports services in 28 provinces, autonomous regions and municipalities directly under the Central Government has been improved in varying degree, 11 of them faster and 17 of them slower than the local economic development speed. ③The 3 dimensions of input, output and effect in the performance evaluation index all have important influences on the performance of public sports service. ④The level of regional economic development, population, the input of funds are positively correlated with the performance of public sports services, but a negative correlation is found between the education level and public sports services.

**Key words:** public sports service; performance evaluation; structural equation model; 3E criteria

**Authors' address:** 1.School of Physical Education, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412008, Hunan, China; 2.School of Physical Education, Soochow University, Suzhou 215021, Jiangsu, China

(上接第 27 页)

## Research Progress, Practice and Prospect of Competitive Sports Psychology under the Development of Integration of Emerging Technologies

ZHAO Qiwei, LU Yingzhi, ZHOU Chenglin

**Abstract:** The new trends of the integration of competitive sports psychology and emerging technologies were explored, and the research approach and service system of competitive sports psychology in China, guided by the practice and innovation in the Winter Olympic Games service were put forward. Based on the review of the new progress of psychometrics, cognitive neuroscience, wearable devices and neurofeedback technology, the potential promotion of the research and application of competitive sports psychology pushed by the fusion innovation of emerging technology was considered, combined with the application update of the emerging technology in the computer science. The practice of psychological technology service for 2022 Beijing Winter Olympic Games were explored and the future development was proposed such as: the gradual breakthrough of science orientated by competitive sports service; more complete, fast and in-depth psychometric methods, a dynamic service process including mental feature extraction, competition state prediction and real-time feedback training.

**Key words:** psychological technology; artificial intelligence; competitive sports psychology; emerging technology; psychological technology service; Winter Olympic Games

**Authors' address:** School of Psychology, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China