

数字科技赋能运动员体能表现提升及个性化训练范式探索

武传钟 艾冬生 冯保睿

广州商学院体育学院，广东 广州 511363

[摘要]提高运动员竞技能力及其表现是现代运动训练永恒不变的探索方向。在数字科技与体育科学深度融合的背景下,运动员体能表现的提升已从经验驱动转向数据驱动,个性化训练范式已正成为竞技体育领域研究的重要命题。系统梳理体能能力的多维内涵演变,总结核心体能训练的前沿技术突破,构建个性化训练的理论框架,并结合典型运动项目实践,探讨数字科技赋能下的训练范式创新路径。数字科技通过数据采集、建模分析与智能干预,重构了体能能力的认知边界,推动个性化训练从“经验适配”向“精准定制”跃迁,为竞技体育高质量发展提供了新的理论支撑。

[关键词]运动员; 体能; 核心要素; 运动表现; 个性化训练

DOI: 10.33142/jscs.v5i6.18109 中图分类号: 文献标识码: A

Exploration on Digital Technology Empowering Athletes' Physical Performance Improvement and Personalized Training Paradigm

WU Chuanzhong, AI Dongsheng, FENG Yurui

School of Physical Education, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou, Guangdong, 511363, China

Abstract: Improving athletes' competitive ability and performance is an eternal and unchanging exploration direction in modern sports training. In the context of the deep integration of digital technology and sports science, the improvement of athletes' physical performance has shifted from experience driven to data-driven, and personalized training paradigm has become an important research topic in the field of competitive sports. Systematically sorting out the multidimensional connotation evolution of physical ability, summarizing the cutting-edge technological breakthroughs in core physical training, constructing a theoretical framework for personalized training, and combining typical sports project practices to explore the innovative path of training paradigms empowered by digital technology. Digital technology reconstructs the cognitive boundaries of physical ability through data collection, modeling analysis, and intelligent intervention, promoting the transition of personalized training from "experience adaptation" to "precision customization" and providing new theoretical support for the high-quality development of competitive sports.

Keywords: athlete; physical fitness; core elements; athletic performance; personalized training

引言

文明的进步是人类对自然科学无限探索和追求的结果。奥林匹克运动是人类众多优秀文明中最闪亮夺目的瑰宝,是人类体育活动的最高舞台,是人类身体活动的最极端的表现形式,在这个舞台上人类不断超越自我、突破极限,不断刷新着新的世界纪录,每一次的超越都会赢得世界人们发自内心的赞叹。竞技运动总能唤起人们对更高目标的追求,是人类文明中最闪耀的瑰宝。伴随着人类科学文明的不断发展,全球体育科研已迈入“精准化+智能化”时代。

竞技运动作为人类追求身体极限与运动美学的顶级体育实践,正突破传统“更高、更快、更强”的单维叙事,向“体能-技能-智能-心理”四维融合的现代体育形态演进。在这一进程中,竞技能力已从单一的“运动制胜核心”拓展为“生物-心理-社会”模型下的多维动态能力系统,其核心要素的解构与重构成为全球运动科学领域的前沿命题。当前研究表明,运动员核心竞技能力呈现“神经-代谢-认知”耦合特征,具体涵盖神经肌肉协调效率、能量

代谢灵活性、认知-运动协同速度及心理韧性阈值四大子系统,其动态平衡机制尚未被充分揭示。

现代竞技运动已进入一个以数据驱动和精准个性化为特征的新时代。运动员追求竞技能力不断突破的训练历程从传统的经验导向向基于科学评估与智能算法的个性化训练范式转变。体能能力作为竞技运动制胜规律的核心问题,其构成要素间的复杂交互关系及最佳配置模式已成为当前运动科学研究的焦点。随着科技赋能竞技体育的深入,竞技体育科研更倾向构建开放协同的体育科研新格局,推动资源共享、数据互通和项目共研。个性化体能训练已不再是简单的因材施教,而是基于运动员生理特征、运动表现数据和竞技状态多维评估的精准干预系统。

1 体能能力的概念

1.1 体能的定义与局限

体能是人体为适应环境和运动需要所储存的身体能力,是人体活动基本能力的表现,是人体各器官系统的功能在运动中的综合反映,主要包括身体形态、身体机能和运动素质三大要素。个性化训练能针对性解决运动员个体

差异问题，因而成为提升训练效率的关键路径。

体能概念的局限：

- (1) 仅关注“结果指标”(如跑速、力量值)，忽视“过程机制”。
- (2) 将体能视为静态特质，忽略其在训练、竞赛中的动态适应性。
- (3) 未考虑个体差异对体能表现的影响，导致训练方案“一刀切”现象普遍。

1.2 数字科技赋予体能概念新内涵

随着数字科技与生物医学的交叉融合，体能能力的认知维度被极大拓展。动态表征为人体在运动中“神经-肌肉-代谢-感知”协同能力的综合系统，包含三个核心特征：

- (1) 多维度性：除传统力量、耐力等指标外，新增神经调控能力(如运动单位募集效率)、感知觉整合能力(如本体感觉灵敏度)、代谢灵活性(如不同供能系统的切换速率)等微观层面指标。
- (2) 动态适应性：体能表现并非固定不变，而是在训练、竞赛、恢复的交互作用下持续演化。数字科技通过实时监测与机器学习建模，可捕捉体能状态的动态变化规律，为训练调整提供即时依据。
- (3) 个体异质性：不同运动员的体能基础(如快肌/慢肌纤维比例)、代谢特征、神经类型存在显著差异。数字科技通过基因组学、代谢组学等技术，可精准识别个体体能短板，为个性化训练提供生物学依据。

1.3 核心体能能力的分级模型

体能是运动员竞技能力的重要基石，是人体在运动中表现出的综合运动能力，运用运动生物力学、运动生理学

和运动心理学等学科理论对运动员体能能力二级要素进行具体化描述(详见图1)。

运动员体能能力本身就是一个复杂的知识体系，可以根据其构成要素的概念不断裂变式分析其微观结构及其特征问题。运动员体能的六大核心素质具体表现及评估见表1。

- (1) 力量素质：包含绝对力量(对抗极限阻力)、相对力量(单位体重力量值)、爆发力(快速发力)及力量耐力(持续收缩)等类型。
- (2) 速度素质：涵盖反应速度(信号应答时间)、动作速度(单动作完成速率)和移动速度(位移效率)三个维度。
- (3) 耐力素质：根据供能系统分为有氧耐力(持续运动能力)与无氧耐力(包含磷酸原和糖酵解两种供能状态)。
- (4) 灵敏素质：表现为身体在复杂条件下快速调整运动方向的能力，与神经肌肉协调性密切相关。
- (5) 柔韧素质：由关节活动幅度和软组织延展性共同决定。
- (6) 协调素质：依赖于神经控制系统对各肌群的精准支配。

综上所述，运动专项特征的本质就是运动员核心竞技能力的个体化特征，不同项目运动员应具备的体能素质不同，同一项目优秀运动员的体能能力也不尽相同。同一项目优秀运动员体能能力特征反映着项目的本质属性和功能特征，即不同项目优秀运动员具备的体能能力特征是运动项目特征的集中体现，也是运动项目之间区别和差异的具体表现。

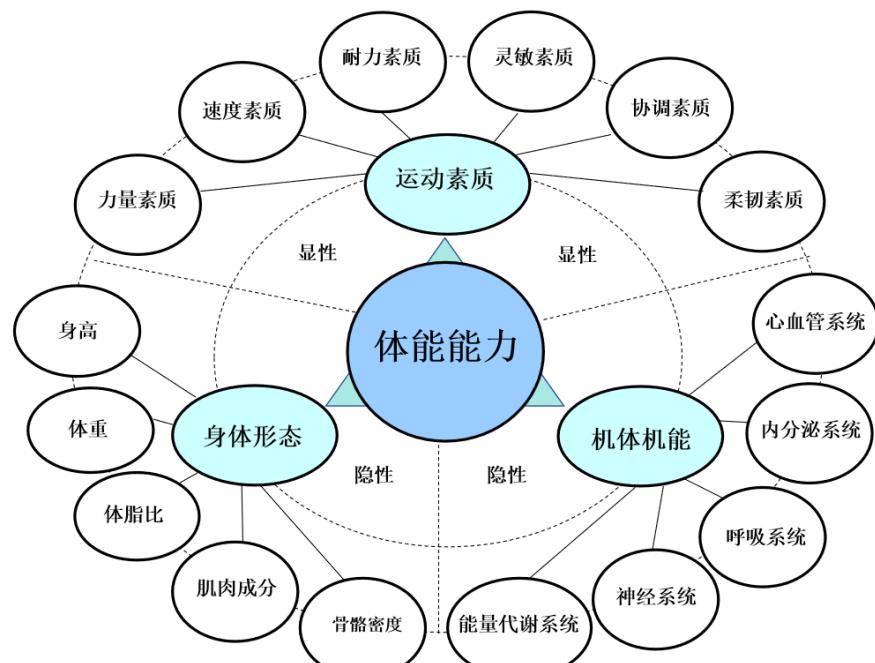


图1 体能能力核心要素的“链式”结构模型

表 1 体能能力的分级要素、具体表现及其评估方法

体能要素	构成要素	具体表现	评估方法
力量素质	爆发力 绝对力量 相对力量 速度力量 力量耐力	瞬时发力 对抗极限阻力 单位体重力量值 快速发力 持续收缩	1RM 测试 等速肌力测试
速度素质	反应速度 动作速度 移动速度	信号应答时间 单动作完成速率 位移效率	反应时测试 光电计时
耐力素质	有氧耐力 无氧耐力	持续运动能力 磷酸原和糖酵解供能状态	VO _{2max} 测试 Wingate 测试
灵敏素质	定向能力 变换能力	快速调整运动方向 复杂条件下应变能力	T 测试 Illinois 敏捷性测试
柔韧素质	关节活动度 软组织延展性	关节活动幅度 肌肉肌腱伸展性	坐位体前屈 goniometer 测量
协调素质	神经肌肉控制 节奏能力	精准支配各肌群 动作时序控制	手眼协调测试 平衡测试

2 个性化训练的理论基础与内容框架

个性化训练是辩证唯物主义方法论在运动训练实践中的具体应用,它承认运动员个体差异的客观存在性和重要性。现代运动训练强调“经验主义+数据驱动”的双重评估模式。教练员作为最了解各自项目的人,需要针对项目特点建立专项体能指标,并通过指标数据指导训练,革新个性化训练方法。

2.1 个性化训练的必要性

运动员的体能表现受遗传、环境、训练史等多因素影响,个体差异显著。例如,XX基因型运动员的快肌纤维比例较RR基因型低,更适合耐力项目,代谢表型(“糖酵解型”“氧化型”)神经类型(如“冲动型”“谨慎型”)等差异,进一步导致相同训练方案下运动员的适应效果迥异。因此,个性化训练是突破“效率瓶颈”的必然选择。

2.2 个性化体能训练的科学基础

(1) 系统生物学理论

系统生物学强调生物系统是基因、蛋白质、代谢物等要素相互作用的网络,而非孤立组分的集合,其在体能训练方面的核心观点:体能表现是神经-肌肉-代谢-免疫等子系统协同作用的结果,训练干预需考虑各子系统的交互影响。

(2) 复杂适应系统(CAS)理论

CAS理论认为,生物系统(如人体)是由多个“适应性主体”(Adaptive Agent)组成的系统,通过与环境的交互不断调整自身行为实现动态适应与反馈调节。在体能训练中,运动员的每个生理指标(如心率、血乳酸)都是适应性主体的“行为输出”,训练方案需根据这些输出动态调整。

(3) 精准医学理论

精准医学的核心是根据个体的基因、环境与生活方式差异制定医疗方案,从“群体平均”到“个体特异”的范

式迁移。这一理念延伸至运动训练领域,即“根据运动员的生物学特征(如基因、代谢组)与训练史,定制个性化训练方案”。

(4) 性别特异性理论

不同性别的运动员需要不同的训练方法。核心力量训练通过针对性激活深层肌群与动态平衡强化,可以有效改善女足运动员生理结构的失稳问题。探索核心力量训练与女性运动员生理周期的适配性是女子个性化训练的重要内容。

2.3 个性化训练的理论框架

个性化训练的理论构建基于训练个性和项目特性的辩证统一,包括三个层次:理念层、方法层和技术层。理念层强调以运动员为中心,尊重运动员的个体差异和发展规律;方法层包括差异化训练、针对性训练和适应性训练等具体方法;技术层则涵盖各种评估工具、训练设备和监控系统。

从实践角度看,个性化训练的实施需要遵循以下原则:一是全面评估原则,对运动员的身体形态、生理机能、运动素质和技术水平进行全面评估;二是针对性设计原则,根据评估结果设计针对性的训练方案;三是动态调整原则,根据运动员的训练反应和状态变化及时调整训练计划;四是多学科协同原则,整合教练、科研人员、医生和心理学专家等多学科团队的力量。

3 代表性项目个性化体能训练范式创新

3.1 田径

短跑的核心体能需求是“快速启动与加速能力”,其关键在于神经肌肉系统的协调效率(如股四头肌的快速收缩与腘绳肌的离心-向心转换)。传统训练通过“高抬腿跑”“后蹬跑”提升步频,但常因忽视个体神经类型(如反应时阈值)导致效果不佳。

范式创新：“短跑神经肌肉协调训练系统”(Sprint Neuro-Muscular Trainer, SNMT)，整合了高速摄像机（捕捉步频、步幅）、表面肌电图（sEMG，监测股四头肌、腘绳肌的激活时间）与脑电设备（EEG，记录运动决策的神经表征），通过机器学习模型分析运动员的“神经肌肉协调模式”（如股四头肌激活延迟时间、腘绳肌离心-向心转换速度），并生成个性化训练方案。

3.2 游泳

基于水动力学的“划水-身体姿态”协同优化。游泳的核心体能需求是“高效的水中推进能力”，其关键在于划水时身体姿态与划水动作的协同。传统训练通过“划水板练习”“扶板打腿”提升划水效率，但因缺乏水动力学数据的实时反馈，运动员常因姿态偏差（如身体过度侧倾）导致阻力增加。

范式创新：“智能水动力训练系统”(Smart Hydrodynamics Training System, SHTS)，在水池中部署压力传感器阵列（监测水流速度与压力分布）与三维运动捕捉设备（捕捉身体姿态），通过计算流体力学（CFD）模型实时计算运动员的“推进效率”。

3.3 篮球

基于变向能力的“神经-肌肉-感知”综合训练。篮球的核心体能需求是“快速变向与急停能力”，其关键在于神经肌肉系统的反应速度（如视觉-动作耦合时间）与下肢稳定性（如膝关节周围肌群的动态控制）。传统训练通过“Z字跑”“单腿跳”提升变向能力，但因忽视个体感知觉差异（如本体感觉灵敏度），运动员常因“预判延迟”导致急停时重心不稳。

范式创新：“篮球变向智能训练系统”(Basketball Crossover Training System, BCTS)，整合了动作捕捉（捕捉变向时的下肢关节角度）、压力传感（监测足底压力分布）与虚拟现实（VR）技术（模拟比赛中的防守场景），通过机器学习模型分析运动员的“变向决策链”（如从看到防守者到启动变向的时间差、变向时的重心偏移幅度），并生成个性化训练方案。

3.4 举重

举重项目个性化训练体现在几个方面：首先，在冬训前期进行体能测试，通过测试数据，科研团队制定更科学、

更有针对性的体能训练方案；其次，除每周两次的体能大课之外，各组体能教练还会设计更有针对性和个性化的体能训练项目，帮助运动员补足短板。

范式创新：明确心肺功能对举重运动员的重要性，注重统一训练与个性化训练的有机结合，设计以高强度攀爬机训练来测试心肺功能水平，以及包含多模块的“车轮战”高强度间歇性训练项目，每个模块包含1个训练动作，每个动作训练时间40s、间歇时间为20s，完成一个模块后轮换至下一个模块。

由表2可见，基于数字科技应用的个性化体能训练范式创新展现了运动训练的发展成就：从单一技术训练向综合能力训练转变，从孤立训练向实战化训练转变，从统一化训练向差异化训练转变。这些转变使得训练更加贴近比赛实际，更加符合运动员的个体需求。

4 个性化体能训练研究进展与挑战

数字科技赋能运动员体能表现提升及个性化训练范式的发展前景广阔，但同时也面临一些挑战。未来可能在以下几个方向取得突破：

(1) 人工智能技术的深度融合。随着机器学习算法的进步，特别是深度学习、强化学习等在运动数据分析中的应用，我们将能够更精准地预测运动员的发展潜力、评估训练效果和预防运动损伤。人工智能教练系统可能成为现实，为运动员提供实时指导和个性化反馈。

(2) 基因技术与运动表现的关联研究。随着基因测序技术的普及和成本降低，基因检测可能成为运动员选材和个性化训练计划制定的重要工具。通过分析运动员的基因多态性，预测其对不同类型训练的反应，从而实现真正意义上的“量身定制”训练方案。

(3) 虚拟现实(VR)与增强现实(AR)技术的应用。VR和AR技术将为个性化训练提供新的手段，创造沉浸式的训练环境，模拟各种比赛场景，提高运动员的心理适应能力和战术执行能力。这些技术还可以用于运动技能学习，加速技术动作的掌握和优化。

(4) 神经科学在训练中的应用。脑机接口、经颅磁刺激等神经科学技术可能被用于优化运动员的大脑状态，提高学习效率和运动表现。通过监测运动员的脑电活动，评估其神经疲劳状态，为训练调整提供依据。

表2 基于数字科技应用的专项个性化训练范式一览表

运动项目	技术应用	个性化特征	训练效果
田径	高速摄影技术 双重监控模式	精细化筛选体能敏感指标 结合运动员特点	提高专项表现 预防训练伤病
游泳	压力传感器阵列 三维运动捕捉设备	臂入水角度及推进效率 躯干滚动幅度	提高划水距离的有效推力 流体力学演算分析
篮球	AI 动作分析系统 手机 App 分析	投篮数据 行为模式	提升投篮效率 个性化技术改进
举重	心肺功能测试 高强度间歇训练	针对个体心肺功能水平设计强度	增强比赛中的心肺适应能力

(5) 可穿戴设备的微型化与多功能化。未来的可穿戴设备将更加小巧、精准且功能多样，能够实时监测更多的生理生化指标，如激素水平、免疫指标、代谢产物等，为个性化训练提供更加全面的数据支持。

此外，数字科技在体能训练中的应用也面临一些挑战，如何让更多运动员受益是一个现实问题。传统训练理念与新技术的融合问题，过度依赖数据的风险，训练艺术和教练经验仍然不可或缺，需要找到数据驱动与经验指导的平衡点。

5 主要结论

(1) 数字科技为个性化训练提供了强大支撑，使训练从经验主导走向数据驱动，从群体化走向个性化。渐进式核心稳定性训练、高强度综合训练和呼吸-核心耦合训练等创新方法，能够有效提升运动员的核心体能表现。个性化训练的科学基础建立在运动员个体差异的客观性上，包括遗传特征、生理机能、身体形态和心理特质等多个方面。

(2) 运动项目的本质特征不同，运动员竞技能力特征各异，共同决定了运动训练必定是一个具有多样化结构的特殊教育过程。“具体问题具体分析”是辩证唯物主义方法论的基本原则，指导运动训练实践就是要实行个性化训练。

(3) 代表性运动项目的实践表明，个性化训练需要综合考虑项目特性和运动员个性，采用多学科协同的方法，结合数字化监控技术和个性化设计原则，才能取得最佳效

果。未来，随着人工智能、基因技术、虚拟现实等新技术的发展，个性化训练将更加精准、高效。

(4) 个性化训练是一个持续发展的领域，需要教练员、科研人员和运动员的共同努力。个性化训练要求在训练时间、内容、负荷及资源配备及利用等方面必须因人而异，统筹分配，分组分级训练是有效的解决办法。但如何科学对运动员进行分组和分级训练是现代运动训练极其重要且亟需深入研究的重要课题。

[参考文献]

- [1]列宁.《列宁全集》[M].北京:人民体育出版社,2017.
- [2]武传钟.对抗性项群代表项目竞技能力特征的比较研究[D].武汉:武汉体育学院,2008.
- [3]陆一帆.游泳运动员身体形态特征及个性化训练探索[M].北京:北京体育大学出版社,2011.
- [4]蒲鸿春,张薇.优秀运动员个性化训练探索[J].体育文化导刊,2011(10).
- [5]温宇红,田麦久.中美高水平游泳队个性化训练的外部条件及组织形式[J].北京体育大学学报,2007(7).
作者简介：武传钟（1982—），男，汉族，上海市人，博士，副教授，广州商学院体育学院，研究方向：体育教学与训练；艾冬生（1977—），男，汉族，河南驻马店人，硕士，副教授，广州商学院体育学院，研究方向：健康教育与促进；冯侯睿（1996—），女，苗族，贵州贵阳人，博士，讲师，广州商学院体育学院，研究方向：体育治理。