

中国 100 米跑体能训练科学化发展的国际镜鉴 与本土化路径研究

张俊杰

(湖北大学 体育学院, 湖北 武汉 430062)

摘要: 基于100米跑项目的生物力学与能量代谢特征, 本文对专项体能训练体系构建及国际经验本土化路径进行系统研究。通过解析国际主流训练范式, 结合我国短跑实践特征, 构建分层体能训练理论模型。研究表明, 100米跑项目专项体能需求由能量代谢特征、动作效率及神经肌肉适应三维度构成。国际经验中力量主导型范式通过神经肌肉重构实现力量迁移, 天赋开发模式聚焦个体生理特质挖掘, 复合型体系则强调多要素协同增效。针对我国训练实践中存在的早期专项化冲突、要素协同不足及负荷调控粗放等问题, 本文提出具有中国特色体能训练范式: 全面推进青少年发育适配与长期体能目标培养体系、系统整合体能训练要素的时序实现与负荷精准调控和深度融合“康复—体能一体化”训练理念的保障机制, 构建“分层适配—时序整合—动态调控”三维路径, 实现国际范式与我国运动员生物特征及训练文化的有机融合。

关键词: 100米跑; 体能训练科学化; 国际镜鉴; 本土化路径

Research on the International Benchmarking and Localization Strategies for the Scientific Development of Physical Training in China's 100m Sprint

ZHANG Jun-jie

(School of Physical Education, HuBei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: Based on the biomechanical and energy metabolism characteristics of the 100-meter sprint event, this study systematically explores the construction of a specialized physical training system and the pathways for localizing international experience. Through analyzing mainstream international training paradigms and integrating with the practical context of Chinese sprinting, a hierarchical theoretical model for physical training is constructed. Research indicates that the specialized physical demands of the 100-meter sprint consist of three dimensions: Energy metabolism characteristics, movement efficiency, and neuromuscular adaptation. Within international expertise, the power-centered paradigm achieves force transfer through neuromuscular restructuring, the talent development model focuses on exploring individual physiological traits, and the composite system emphasizes the synergistic enhancement of multiple elements. Addressing problems existing in China's training practice—such as conflicts arising from early specialization, insufficient synergy among training elements, and imprecise load modulation—this study proposes a physical training paradigm. Key components include comprehensively advancing a youth development system aligned with maturation stages and long-term physical objectives; systematically integrating the temporal sequencing of training elements with precise load modulation; and deeply embedding the safeguarding

mechanism of the “rehabilitation-physical training integration” concept. Consequently, a three-dimensional pathway featuring “stratified adaptation – temporal integration – dynamic modulation” is constructed to realize the organic integration of international paradigms with the biological characteristics of Chinese athletes and the existing training culture.

Key words: 100-meter sprint; Scientific physical training; International benchmarking; Localization pathways

体能作为运动员竞技能力的核心构成要素，是专项技术动作的生理基础和维持竞技状态的关键保障。100米跑项目作为展现人类速度极限的竞技载体，其成绩突破高度依赖于体能训练的科学化水平。《“十四五”体育发展规划》明确指出“强化体能训练，恶补体能短板，最大程度提升训练质量和效益”^[1]，为专项体能训练赋予了新的时代使命。然而，学术界对100米跑体能训练的研究呈现两极分化态势：国际学界多聚焦实验室条件下的训练效应验证，而忽视训练方法的环境适应性；国内研究则过度依赖个案经验总结，而理论创新方面相对滞后。这种知识体系的偏颇与割裂，导致训练实践中出现盲目移植国际方案、固守传统经验等现象。长期存在的“经验主导型”训练模式虽造就了个别顶尖选手，却在科学化训练推进、运动损伤防控及后备人才培养等方面存在缺陷，国际经验与本土实践的结构矛盾，已成为制约我国短跑项目持续突破的关键瓶颈。本研究立足我国短跑体能训练实际，旨在构建符合我国实际的100米专项体能科学化训练体系，为提升我国短跑项目科学化训练水平提供理论支撑与实践指导。

1 100米跑专项体能训练的理论基础

1.1 能量代谢系统特征与能量供应机制

100米跑作为典型的极强度、短时间无氧代谢运动，其专项体能的核心能量基础在于磷酸原系统的爆发式供能和糖酵解系统对高强度持续能力的支撑，两者协

同主导了约10秒内最大功率输出所需的瞬时能量供应与维持。从能量代谢视角，Bogdani^[2]发现10秒短跑中13%的能量通过有氧代谢产生，可见100米跑项目属于以无氧供能系统主导、少量有氧供能参与的运动。ATP-CP系统和糖酵解系统的快速供能特性决定了其能量输出模式：ATP-CP系统在起跑至20米加速阶段承担主要能量供应，要求运动员具备瞬时分解磷酸肌酸（CP）的高效动员能力；而随后的途中跑至冲刺阶段，糖酵解系统贡献比例上升（如图1所示）。糖酵解系统以葡萄糖为燃料来源，是爆发性肌肉动作期间ATP周转的额外供能途径，在持续约10秒的短跑运动中，糖酵解代谢可以产生超过55%的能量^[3]。在耐力储备方面，60米或6秒以下的极限强度运动中，ATP-CP供能系统是主要供能系统，供能比例在55%~80%区间；而100~400米的极限强度运动中，糖酵解能量代谢系统则成为了主要的能源系统，供能比例在43%~70%区间^[4-6]。因此，在短跑速度耐力训练时，需要改变以磷酸原系统供能为主的传统模式，更加重视糖酵解供能系统的训练。同时，乳酸的产生是肌肉再生细胞质NAD的有效快速机制，这对糖酵解的持续进行和ATP的再生至关重要，乳酸的氧化可能在100米赛跑最后30米提供额外的能量来源^[7,8]。但乳酸堆积导致的pH值下降会对快肌纤维收缩效率产生抑制，因此短跑运动员需通过专项训练提升肌细胞缓冲能力及耐受代谢性酸化的阈值。

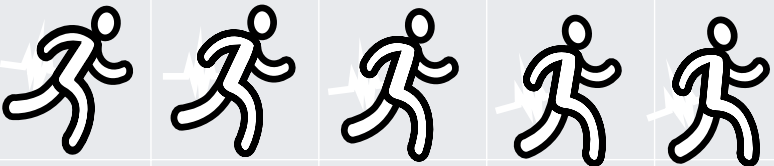
运动姿态变化特征					
距离分段 (m)	0~20m	20~40m	40~60m	60~80m	80~100m
运动生物力学特征	身体前倾 (45°~80°)		轻微前倾 (80°—90°)		
机体运动阶段	起跑加速阶段	调整转换阶段	最大速度阶段		
肌肉发力模式	向心收缩 (以髋为轴的快速蹬伸)		拉长—缩短收缩阶段 (以髋为轴的快速鞭打动作)		
运动中体能需求	反应速度+启动力量	爆发力+力量耐力	速度耐力+力量耐力		
能量供应系统	ATP-CP系统供能		ATP-CP和糖酵解混合供能		糖酵解供能为主

图1 100米跑专项化体能需求模型

1.2 动作效率与生物力学结构

100米跑全程动作结构,是从起跑阶段躯干大角度前倾逐步过渡至直立姿态的过程:起跑阶段肌肉主要完成以髋为轴的快速蹬伸;途中跑阶段步长与步频的平衡需匹配个体肢体长度与发力特征,肌肉以髋为轴做快速鞭打式的拉长—缩短收缩运动,摆动腿膝关节的快速折叠角度与支撑腿踝关节刚度形成“弹性—刚性”转换机制,该协同模式直接决定单位距离的能量消耗率。起跑蹬伸阶段的爆发力输出,取决于运动单位募集效能与动作发力效率的优化,具体表现为下肢伸肌群在起跑器蹬离阶段达到最大功率输出。跳跃或增强式训练显著提高了短跑运动员的爆发力和整体表现,同时可诱导肌肉最大力量和神经适应增加,是提高青少年运动员下肢爆发力的有效方法^[9, 10]。短跑是在地面接触时获得的肌肉—肌腱单位刚度(MTU),刚度较大的MTU会为腿部肌肉提供弹性支撑,从而产生维持高步频所需的额外力量,增加MTU刚度有助于促进地面接触时的拉伸—缩短周期。Majumdar^[11]认为,在跑步动作中,当一侧膝盖伸展时,另一侧膝盖弯曲,在膝盖伸展时,主动肌群是股四头肌,而拮抗肌群是腓绳肌。途中跑触地期的动力学特征,要求腓绳肌—股四头肌配合实现刚度调控,核心肌群的近端稳定性对躯干矢状面摆动幅度的抑制,成为维持步长与步频动态平衡的力学前提。后程动作速度衰减是代谢系统衰竭与中枢神经系统代偿性抑制的多维效应,这要求训练设计需整合超等长训练对牵张反射的提升,以及抗阻训练对 γ 运动神经元持续激活能力的适应性改造。

1.3 神经肌肉适应与训练反应

100米跑对神经肌肉系统提出了极致要求,专项体能训练的核心目标在于诱发高效的运动神经元募集模式、提升肌肉收缩速率与力量发展梯度、优化肌间协调性与本体感觉的反馈,从而实现起跑爆发力、途中跑加速维持及后程速度耐力的精准神经支配与快速疲劳抵抗。结合短跑项目的动力学分析,其核心体能要素主要为反应速度、爆发力及速度耐力。反应速度是反应时间和反应力量相结合的结果,是起跑反应时与第一步爆发力的耦合效应,主要受牵张—缩短周期效率的影响,教练将阻力训练作为提高运动员力量、反应力量和反应强度的一种手段^[12, 13],可以通过超等长训练优化反应速率。爆发力作为起跑加速阶段的体能基础,其输出能力取决于神经肌肉协调性与快肌纤维募集效率。Lum^[14]表示在爆发力训练后,跑步表现和肌肉力量同时得到改善,Lockie等^[15]也认为,爆发力训练能提高田径运动员的加速度,对优化前10米的短跑表现有效。因此需要在最大

力量训练后即刻进行爆发力练习,也需遵循速度—力量曲线特征进行科学设计。速度耐力是100米跑体能训练的关键要素,实质是优化高速状态下运动单位的募集能力,当运动员进入最大速度阶段后需在短时间内完成离心—向心收缩的转换。而结合能量代谢特征,需制定磷酸原系统与糖酵解系统的协同训练策略,针对性训练可采用“递减间歇”模式。

2 国际100米跑体能训练模式的比较与借鉴

2.1 力量主导型训练范式

力量主导型训练范式以神经肌肉系统的适应性重构为核心逻辑,通过力学负荷的精确调控,实现力量素质向专项动作模式的定向迁移。该范式强调最大力量、爆发力与力量耐力的系统性整合,而非单一维度的力量叠加,其运作机制是循“负荷—适应—功能转化”的经典模式,理论内核包括最大力量转化训练和反应力量开发训练两部分。最大力量转化体系在加特林的训练周期中具有代表性,分为基础积累与专项转化两个阶段。基础阶段通过深蹲、抓举等多关节复合动作提升基础力量素质,负荷强度多采用次最大负荷区间,重点强化以髋关节为动力枢纽的伸髋动力链效能;转化阶段实施抗阻—冲刺组合训练,利用神经肌肉后激活效应促进力量迁移。例如,在深蹲训练后立即衔接抗阻冲刺,通过负荷叠加刺激,提升起跑阶段的爆发力输出。反应力量训练体系主要结合超等长练习与专项动作的协同适应,聚焦于起跑阶段的发力率优化。其训练模块包含功能性转化和多维度跳深训练,通常采用复合式组合法,如完成85%1RM强度的深蹲后,即刻进行30米冲刺练习,通过后激活增强效应提升神经驱动效率。此外,通过反应性力量循环,组合跳箱、单腿连续跨跳与起跑器抗阻爆发启动等动作,可以直接强化触地阶段力的梯度上升速率;快速弹跳收缩可以促使运动神经元放电速率的积极适应性变化,有助于爆发力的提升^[16],强化动作末段快速收缩能力。这类训练特别针对短跑着地阶段的需求,通过强化肌腱弹性储能与释放能力,缩短触地时间并提升步频效率。

2.2 天赋开发型训练模式

天赋开发模式建立在运动员先天生物学优势基础上。从训练学视角分析,Human Kinetic^[17]研究指出,速度曾被认为是受肌肉纤维类型和人体测量结构等因素限制的遗传特征,但通过结构良好、科学合理的训练计划也可以提高。该模式作为通过专项化训练手段实现运动潜能最大化的训练范式,以获取专项运动的最优成绩为终极

目标,核心在于对运动员个体生理特质进行深度解析,围绕神经肌肉系统效率提升、能量代谢系统精准开发、运动损伤风险防控等维度,构建训练逻辑体系,本质是通过科学专项训练放大先天优势,同时借助生理学补偿训练弥补机能短板。该训练范式具有鲜明的“个性化”与“针对性”特征,通过对运动员个体运动链、关节刚度、能量代谢阈值等关键指标的靶向干预,实现运动表现的质性提升。该范式的代表人物是尤塞恩·博尔特(Usain Bolt),其糖酵解供能系统中酶的活性较高,产生ATP速率较快,能使体内ATP的含量在短时间内保持充足,从而转化为磷酸肌酸(CP)储存起来^[18]。博尔特速度保持能力的形成,源于对最大速度平台期的系统化延长策略,其训练体系突破了传统短跑训练强调起跑加速的思维定式,转而聚焦途中跑阶段速度维持的动力学机制。该训练范式的价值在于将运动天赋从自然禀赋转化为可控训练变量,通过神经适应与结构适应的交互作用,构建起“优势强化—短板补偿—损伤预防”的训练闭环。

2.3 专项复合型训练体系

复合型训练体系是当代短跑专项体能训练的重要创新,本质在于突破传统训练中单一能力模块化发展的局限性,通过多维训练要素的系统整合与协同适配,实现对100米跑能量代谢特征、神经肌肉控制模式及技术动作经济性的整体优化。该训练体系强调训练要素间的协同效应,既包含不同供能系统的先后衔接,也涉及负荷刺激与再生恢复的立体化平衡,构建起“负荷刺激—功能适应—再生恢复”的训练架构。在负荷刺激与功能适应层面,通过短—中—长距离的阶梯式负荷设计,促使不同供能系统在高速状态下形成补偿效应:通常采用短距离高强度冲刺先激活磷酸原系统,中距离大强度训练促进糖酵解系统储备与延长,长距离节奏控制跑通过动作模式稳定性训练强化能量利用效率。在再生恢复层面,将冷热交替疗法、筋膜松解及低强度有氧干预整合为主动适应手段,通过血管舒缩效应与肌筋膜粘弹性调节的协同作用,实现代谢产物清除与神经兴奋阈值的动态平衡。该范式形成“强度—适应—恢复”的闭环增效模型,为速度保持与损伤预防提供实践参考。

3 中国100米跑项目体能训练的成就、挑战与掣肘因素

3.1 成就与突破:以苏炳添为例

近年来,我国短跑运动的突破性进展,标志着专项体能训练从经验导向型向科学驱动型的范式转换。这一转型的典型范例体现在苏炳添及其团队的训练实践中,其突破在于打破了传统训练中力量与技术二元对

立的认知框架。苏炳添的运动行为志分析表明,体能训练应与专项技术有机结合、要有利于专项技术表达,以运动员的切身感、能够促进专项技术表达为依据,制定训练方案、设计训练手段^[19],构建起神经肌肉协同发展的新型方法论体系。既往训练模式过度追求最大力量输出,易导致运动员出现动力链传导阻滞与步频衰减现象。苏炳添训练团队基于运动生物力学原理重构了起跑驱动机制,通过起跑姿态的调整,使苏炳添在预备姿态和蹬离瞬间的躯干角相比以往分别增加1.2°和4.6°,离地瞬间膝角增加了1°,相比2017年之前的蹬离速度提高了0.592m/s^[20],此优化显著提升了起跑阶段的水平推进效率。训练方法的创新性体现在将复合抗阻训练与专项技术演练有机整合,运动员在日常训练中采用1080Sprint阻力和助力训练系统,以“保持起动加速阶段步频的基础、加大每个单步步长为技术核心”,通过不同距离和不同阻力交替的加速训练,提高起动加速阶段的技术能力、稳定起动加速技术^[21]。采用此训练范式既维持了力量训练的本质需求,又避免了传统大负荷训练可能引发的动作模式异化。在周期训练调控上,突破传统分期理论的刚性约束,依据神经肌肉疲劳度的生物反馈指标动态调整训练刺激,这种弹性周期模式使运动员在密集赛事中仍能保持竞技状态的稳定性。技术监控体系的升级则通过多维运动学参数实时采集,为关键技术环节的精细化改进提供量化依据。苏炳添在东京奥运会周期取得的突破性表现,印证了这种训练范式创新对动作经济性的提升,在维持步频优势的同时突破步幅增长瓶颈,实现了短跑动力学的结构优化。

3.2 中国短跑体能训练体系的挑战与机制性掣肘因素

尽管我国短跑运动已取得突破性进展,但其体能训练体系仍面临深层次的掣肘因素。虽然我国现阶段在高校、俱乐部培养了很多体能训练从业人员,但仍然处于起步阶段,相关的体能训练方法、预案设计、理念创新上与国际体育强国还有一定差距。学科研究目前还尚未形成完整的体系,长期缺乏对训练深层机制的研究,一直在聚焦传承“有效的招式”,而忽视对动作科学原理和训练体系构建的讨论^[21],这些结构性矛盾在各级运动员的培养过程中呈现出典型特征。

1) 早期专项化与发育规律的现实冲突

当前基层体校仍存在早期专项化的培养机制,这与青少年神经肌肉发育规律形成深层矛盾。过早的负荷堆积导致两个典型问题:一是骨骼肌早期肥大化使得髋关节活动度受限;二是膝关节屈伸肌群力量比例失衡,直

接导致起跑阶段蹬伸效率下降。更严峻的是，基层训练中仍广泛采用成年运动员的杠铃深蹲、卧推等训练手段，忽视了青少年脊柱承压能力的临界值，导致部分地区青少年运动员的骨折现象频发。

2) 专项体能训练内容的结构性失衡

当前短跑专项体能训练的结构性失衡，主要体现为训练要素的协同性与层级性不足。从力量素质发展来看，传统训练过度聚焦绝对力量的增长，却忽视了反应力量与弹性势能存储释放能力的针对性训练，这种失衡导致运动员在起跑加速阶段难以实现力量向水平推进力的高效转化。此外，动作模式训练存在“分解化”与“机械化”倾向，将短跑技术拆解为局部关节力量训练，却弱化了髋、膝、踝三关节协同运转、躯干旋转动量传递等整体动作链的动力学整合，导致力量素质难以转化为跑动经济性的实际提升。

3) 疲劳监控与负荷调控的粗放化现象

体能训练的负荷调控体系仍面临科学化转型的实践瓶颈。在训练强度监控方面，多数训练团队依赖主观疲劳量表与基础生理指标进行经验判断，未能建立血乳酸、肌氧饱和度等生化指标的实时反馈机制，导致高强度训练课后的恢复时长与再生训练缺乏量化依据。这种粗放化调控容易引发“过度累积性疲劳”，使得运动员出现神经肌肉疲劳症状。再生恢复训练的体系化缺失进一步加剧了肌肉疲劳管理困境，现有的静态拉伸、按摩等放松手段多聚焦短期疲劳缓解，却未将筋膜再生、低温疗法等深度恢复技术纳入常态化训练模块，难以满足短跑

项目对快肌纤维高频次极限收缩的代谢修复需求。这种“重刺激、轻恢复”的训练逻辑，是将体能训练简化为“刺激叠加”的物理过程，而忽视了人体复杂的适应性恢复规律。

4 构建适应中国特色的100米跑体能训练体系

4.1 从“分层适配”到“精准转化”的中国特色100米跑体能训练理论框架

中国特色100米跑体能训练理论框架的设计，基于“100米跑体能训练的方法论体系”逻辑框架（如图2所示），以传统体能训练体系的协同转换为理论基点，构建了融合国际经验与本土化实践的三维训练路径。在方法论层面，通过“一般体能训练—专项体能训练—综合体能训练”的递进式层级设计，系统整合周期安排、负荷调控等训练要素，重点针对反应速度、爆发力及速度耐力的生物力学特性开展科学化干预。国际经验的本土适配，立足100米跑以磷酸原供能系统和糖酵解供能系统为主导的专项代谢特征，以及神经肌肉适应规律，将动作效率优化作为核心导向，通过专用体能训练模块实现基础素质向专项成绩的精准转化。同时，依托力量—有氧能力—柔韧性的协同提升机制，建立目标指向明确的动态调控模型，最终形成以“专项需求驱动、科学指标牵引、多要素协同”为特征的中国特色短跑体能训练范式，为突破速度耐力瓶颈提供理论与实践双重支撑。

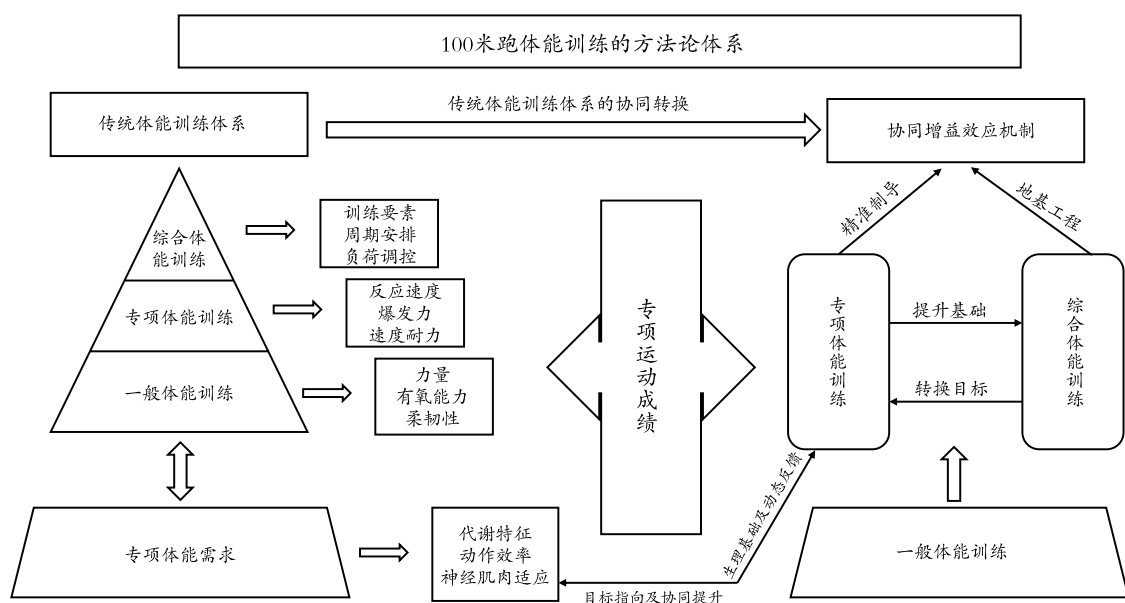


图2 中国特色100米跑体能训练理论框架

4.2 全面推进青少年发育适配与长期体能目标培养体系

针对基层早期专项化进程中的现实问题,可借鉴牙买加天赋开发模式中“神经支配优先”的核心原则,构建青少年基础训练阶段的动作模式标准库。在12~14岁的神经肌肉发育敏感期,借助功能性动作筛查(FMS),对髋、膝、踝关节动力链的协同能力进行量化评估,并据此设计多方向单腿支撑抛接、屈髋爬行接加速跑等复合型训练组合,精准强化髋关节活动度与核心稳定性调控机制。进入15~17岁的抗阻训练介入期后,优先采用哑铃高抓、六角杠铃硬拉等对脊柱剪切力载荷较小的动作范式,取代传统杠铃深蹲的应力传导模式。此外,鉴于我国青少年骨骼发育进程相较于欧美群体具有滞后性,需构建基于骨龄检测的负荷分级数学模型,在青春突增期临界点前严格控制负荷强度阈值,以快速伸缩复合训练为主要手段,发展肌腱弹性势能储备,避免因骨骼钙化程度不足而引发应力性损伤风险。

4.3 系统整合体能训练要素的时序实现与负荷精准调控

为有效化解训练结构失衡难题,可以在速度耐力整合模式下,针对性地对能量代谢系统进行系统调控。在力量训练时间规划方面,参考英国短跑训练的“起跑加速—最大速度—速度保持”三阶段力量适配模型:起跑阶段采用抗阻雪橇训练,着重强化水平推进力矢量;最大速度阶段运用超等长跳深技术,全力提升踝关节刚度参数;速度保持阶段借助杠铃架连接阻力带的组合装置,开展半程挺举训练,达成反应力量与弹性势能存储的时序增强成效。在供能系统训练环节,借助无氧阈测试所得的个体化标准,搭建高强度间歇训练动态模型。以30米×10次高强度间歇跑为例,将组间休息时间设定为血乳酸浓度降至6mmol/L所需的特征时长,从而精准调控磷酸原系统的刺激强度。考虑到我国运动员磷酸原系统供能时长普遍短于国际优秀选手这一生理特性,运用血乳酸拐点测试技术,定制个体化高强度间歇训练方案。例如,以90%最大速度开展40米×8组训练,依据血乳酸清除率动态调整组间休息时间,循序渐进地延长高强度输出的持续时长。

4.4 深度融合“康复—体能一体化”训练理念的保障机制

针对当前负荷调控精细化程度不足的现状,亟待构建契合我国训练实际场景的“应激—恢复”动态平衡调控机制。在训练监控层面,建立涵盖神经肌肉疲劳力学参数与生理指标的双维度评价体系。在恢复再生阶段,施行分阶段时间干预方案:大强度训练刺激后的24小时

内,采用冷热交替疗法,加速快肌纤维代谢产物清除,促进其结构修复;72小时恢复期内,通过筋膜松解术结合低强度血流限制训练,提高慢肌纤维的毛细血管密度。此外,研发基于可穿戴设备的个体化负荷调控算法模型,借助AI技术构建“训练刺激—疲劳指数—运动表现”多变量预测模型,推动训练调控模式由经验主导逐步转变为数据驱动的科学范式。

5 结语

本研究立足100米跑专项体能训练从经验积累到科学建构的历史演进逻辑,揭示了国际训练范式从单维突破到系统整合的转型规律。100米跑专项体能训练的科学化转型,需突破传统经验主义束缚,在生物力学、能量代谢、神经肌肉三方面形成协同增效机制。国际主流训练模式呈多元发展态势,其特点在于实现神经肌肉与专项动作的精准适配,高效转化基础力量。我国短跑体能训练在顶尖选手的实践中,验证了“神经肌肉协同发展”理念的有效性,但基层训练仍存在早期专项化与发育规律冲突、训练要素协同不足、负荷调控粗放等问题。因此,借鉴国际经验并结合本土实践,提出“分层适配—时序整合—动态调控”的中国化方案,是构建中国特色短跑训练理论体系的范式。只有立足我国运动员生理特征与训练文化实际,通过数据驱动模型实现国际经验的本土化适配,才能突破速度耐力瓶颈,为我国短跑项目的发展提供持续动力。

参考文献

- [1] 国家体育总局. “十四五”体育发展规划[EB/OL]. (2021-10-08) https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202110/26/content_5644891.htm.
- [2] Bogdanis G C, Nevill M E, Lakomy H K A, et al. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20s of maximal sprint exercise in humans[J]. Acta Physiologica Scandinavica, 1998, 163(3): 261-272.
- [3] Hirvonen J, Rehuman S, Rusko H, et al. Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise[J]. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1987, 56: 253-259.
- [4] Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2004, 7(3): 302-313.

- [5] Duffield R, Dawson B, Goodman C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2005, 23 (3): 299-307.
- [6] Bompa T, Buzzichelli C. *Periodization Training for Sports* [M]. Champaign: Human Kinetics, 2015.
- [7] Robergs R A, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis [J]. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2004, 287 (3): R502-R516.
- [8] Lee S. Physiological components of fitness as determinants of sprinting performance [J]. *Journal of Human Kinetics*, 2020, 74: 59-71.
- [9] Bastholm M, Olsen G. The role of plyometric training in improving explosive power in sprinters: a qualitative analysis [J]. *International Journal of Sport Studies for Health*, 2024, 7 (3): e142533.
- [10] Chen L, Zhang Z, Huang Z, et al. Meta-analysis of the effects of plyometric training on lower limb explosive strength in adolescent athletes [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20 (3): 1849.
- [11] Majumdar A S, Robergs R A. The science of speed: determinants of performance in the 100m sprint [J]. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2011, 6 (3): 479-493.
- [12] Tønnessen E, Haugen T, Shalfawi S A I. Reaction time aspects of elite sprinters in athletic world championships [J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2013, 27 (4): 885-892.
- [13] Healy R. *Resistance Training for Sprinters: The Role of Maximum Strength, Reactive Strength and Exercise Selection* [D]. Limerick: University of Limerick, 2019.
- [14] Lum D, Tan F, Pang J, et al. Effects of intermittent sprint and plyometric training on endurance running performance [J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, 8 (5): 471-477.
- [15] Lockie R G, Murphy A J, Callaghan S J, et al. Effects of sprint and plyometrics training on field sport acceleration technique [J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2014, 28 (7): 1790-1801.
- [16] Stone M H, Hornsby W G, Suarez D G, et al. Training specificity for athletes: emphasis on strength-power training: a narrative review [J]. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 2022, 7 (4): 102.
- [17] Jeffreys I, NSCA. *Developing Speed* [M]. Champaign: Human Kinetics, 2025.
- [18] 朱泉池, 陶于. 我国男子百米训练理论创新趋势研究——以博尔特为例 [J]. *南京师大学报(自然科学版)*, 2012, 35 (2): 136-140.
- [19] 苏炳添, 程志理, 周维方. 苏炳添东京奥运会突破“常理”的训练学反思——苏炳添与程志理的训练学对话录之二 [J]. *体育与科学*, 2021, 42 (5): 1-6.
- [20] 王国杰, 苏炳添, 章碧玉, 等. 优秀短跑运动员苏炳添的技术优化训练研究 [J]. *成都体育学院学报*, 2019, 45 (6): 82-88.
- [21] 王雄, 苏晓红, 周涛, 等. 我国青少年体能训练发展探析 [J]. *体育文化导刊*, 2023 (8): 22-28, 36.