国际竞技体育科技前沿

2024 年 10 月　　第 10 期　　总 第 10 期

目　　录

1.数智训练	体育中的可穿戴技术：概念、挑战和机遇	1-2
	团队运动中的追踪系统：数据如何应用，怎样支撑体育分析？	3-7
2.训练方案	以训练目标为导向的高强度间歇训练	8-9
	青少年运动员的雪橇车训练：何时推和拉？	10-12
	肌肉疲劳、踩踏技术和自行车运动中的 VO_2 慢速成分	13-15
3.负荷管理	训练负荷：区分训练量与训练剂量	16-17
	一种新的统计方法用于训练负荷与损伤风险研究：区分急/慢性负荷	18-20
	脑力疲劳对力量耐力任务的影响：运动相关皮层电位是否起作用？	21-22
	篮球比赛相关疲劳：系统综述	23-24
4.冠军案例	两位奥运冠军赛艇运动员的生理与表现发展：20 年跟踪研究	25-27

国家体育总局科教司　　国家体育总局体育科学研究所　合编

体育中的可穿戴技术: 概念、挑战和机遇

可穿戴技术在体育科学领域的应用正日益受到关注，通过实时数据分析和追踪帮助提升运动表现。无论是职业运动员还是业余爱好者，越来越多的人依赖可穿戴传感器来提高训练效率和比赛成绩。然而，为了充分理解和优化可穿戴技术在体育中的潜力，还需要进一步研究。本综述旨在全面探讨可穿戴技术在体育科学中的应用，包括运动表现的测量与监控、伤病预防、康复及整体表现优化。通过对可穿戴设备的结构、各类体育项目的研究成果以及商业传感器的分析，本综述为运动员、教练员、医务人员、训练师、管理者和科研人员提供了关于可穿戴技术的详尽总结，旨在推动未来可穿戴传感器及生物数据分析的进步。

一、研究结果

- 可穿戴技术应用于体育科学主要涉及工程学、化学、仪器开发及运动科学四大领域，研究在概念设计、使用实验和表现分析三个维度进行。
- 在概念设计领域，研究集中在传感器利用、传感器放置和整体设计考虑等因素。
- 在实验应用方面，研究集中于在特定用户群体中对已完全开发的概念设计进行系统性评估。
- 表现分析研究则主要利用已商业化的可穿戴设备进行运动员表现的评估，运动与训练科学研究人员在此方面做出了显著贡献。

二、总结与启示

- 本研究揭示了可穿戴技术在体育中多方面的应用价值，尤其是在提供实时数据、提升训练效果以及制定比赛策略方面。尽管可穿戴技术带来了诸多益处，但也存在隐私、准确性和成本等问题。这些问题需要通过法律、道德和技术手段加以解决，以确保可穿戴技术的安全可靠应用。此外，还需进一步研究设备的个性化对运动舒适度和表现的影响。最后，可穿戴成像设备的出现为运动康复和表现监控带来了新的机遇。

- 随着可穿戴技术在体育领域的广泛应用，如何确保运动员和普通用户的隐私和数据安全？这不仅涉及到技术层面的保护，还包括法律和道德层面的规范。
- 在体育训练和比赛中，如何平衡可穿戴技术的使用与运动员的个人自由和舒适度？这需要在技术设计和应用中充分考虑人机工程学和用户体验等因素。
- 考虑到可穿戴技术的成本，如何确保所有运动员都能公平地获得这些技术，而不是只有经济条件较好的运动员才能使用？

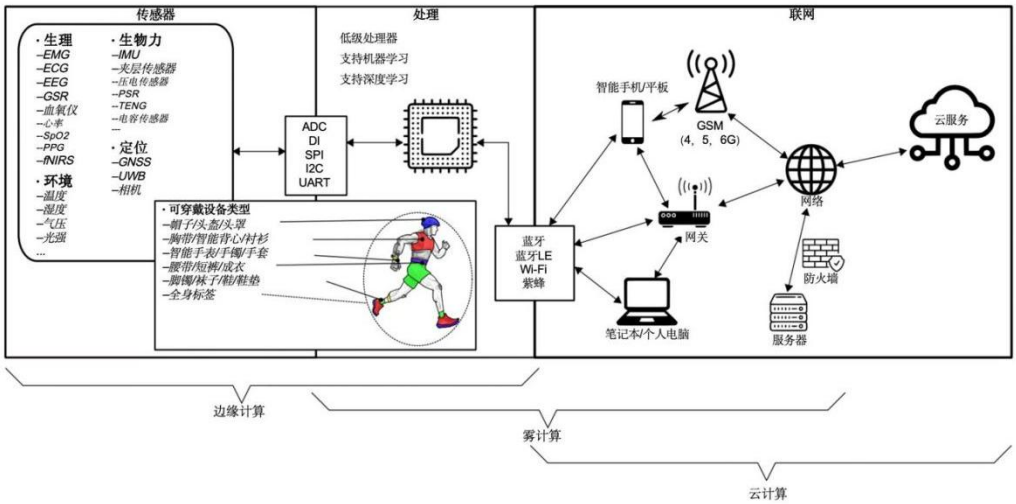

图 1 可穿戴计算的分层结构

图注：肌电图（Electromyography，EMG）；心电图（Electrocardiography，ECG）；脑电图（Electroencephalography，EEG）；伽伐尼克皮肤反应（Galvanic Skin Response，GSR）；外周血氧饱和度（Peripheral Oxygen Saturation，SpO2）；光敏血压计（Photoplethysmography，PPG）；功能性近红外光谱仪（Functional Near-Infrared Spectroscopy，fNIRS）；惯性测量单元（Inertial Measurement Unit，IMU）；摩擦电纳米发电机（Triboelectric Nanogenerator，TENG）；全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System，GNSS）；超宽带定位系统（Ultra-Wideband，UWB）；模数转换器（Analog-to-Digital Converters，ADC）；数字输入（Digital Inputs，DI）；串行外设接口（Serial Peripheral Interface，SPI）；集成电路（Inter-Integrated Circuit，I2C）；通用异步接收器/发送器（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter，UART）；低功耗（Low Energy，LE）；无线保真（Wireless Fidelity，Wi-Fi）；全球移动通信（Global System for Mobile Communication，GSM）。

编译来源：Seçkin AÇ, Ateş B, Seçkin M. Review on Wearable Technology in Sports: Concepts, Challenges and Opportunities. Applied Sciences. 2023; 13(18):10399.

编译：邓盛基

团队运动中的追踪系统：数据如何应用，怎样支撑分析？

团队运动项目中的体育组织正积极投资能够量化训练与竞赛特征的追踪系统。此类系统所提供的信息能够支撑客观决策，并为训练负荷的调整与优化提供方案。本文旨在归纳和批判性评价各类追踪系统及其在团队运动项目中的应用。从业者需依据项目特征和需求审慎选择追踪系统。数据指标的选择需经过严谨流程，以具备描述、计划和监测的功能，评估各类运动的训练与比赛特征。数据分析中的一个愈发重要的考量因素是时间尺度的合理性，如持续时长、峰值需求和时间分段，其最佳应用方案取决于项目的时间特征。从事某特定运动的从业者在创建或选择新的数据指标以刻画团队运动员时，应遵循批判性思维，保持合理怀疑，并具备适当的理论框架认知。

一、追踪系统的价值：常见数据指标

- 不同追踪系统所采集的数据指标有较大差异。例如，光学追踪系统可确定赛场的二维坐标系，推断出距离和速度；惯性传感单元（IMU）综合加速计、磁力计和陀螺仪等多种数据源，测量身体或身体部位的加速度。一些系统还将 GPS、LPS 和 IMU 等多种追踪技术集成于一个设备中。
- 部分职业赛事和体育管理机构禁止某些追踪系统在比赛中使用。因此，从业者往往需整合训练、比赛等不同场景中不同系统的数据指标。
- 因此，从业者需了解每类系统采集的数据指标，理解其定义、计算方式、生态效度及在运动项目、团队和运动员中的独特用途。表 1 呈现了如今各类追踪系统所能采集的常见数据指标。

表 1 常见追踪数据指标及其定义

指标级别	指标名称	指标定义	常见测量维度
1	距离	累加距离	总距离、相对距离、高速/加速/减速状态下的距离
2	加速（二维）	速度提升的瞬时峰值率	最大/峰值加速度、平均加速度、加速状态下的距离/时间/努力
	减速（二维）	速度降低的瞬时峰值率	最大/峰值减速度、平均减速度、减速状态下的距离/时间/努力
	变向（二维）	通过位置数据,得出变向的次数	变向总次数、左右变向的百分比差异、

		和强度	高强度变向次数
3	加速负荷	制造商研发的特定数据，由三维加速数据修正计算而来	总负荷、相对时间负荷、相对距离负荷、二维负荷（去除垂直轴）、一维负荷（每条轴上的绝对或相对贡献）
	变向（三维）	从惯性传感器中，得出变向的次数和量级（G 力）	变向总次数、左右变向的百分比差异、高强度变向次数
	冲击	制造商研发的特定数据，提供三维加速数据超过某一阈值的次数	冲击的次数和量级
	碰撞/阻截	制造商研发的特定数据，对于运动项目中不同类型的碰撞进行分类	碰撞的次数和量级
	足部变量	基于加速计估算触地相关数据指标	触地时间、滞空时间、垂直刚度（KN·m）
	足部不平衡	基于加速计测算左右脚差异	比较左右百分比差异
	速度	位置变化的瞬时峰值速率	最大/峰值速度、平均速度
混合	运动项目专用数据指标	量化不同运动项目跑动需求的专用机器学习算法	美式橄榄球中的四分卫长传、篮球中的攻防转换、冰球中的滑冰步幅、英式橄榄球中的并列争球、足球中守门员的左右扑救计数对比等
	代谢功率	通过 GPS 或 LPS 数据，估算级别 1 和级别 2 中高强度运动行为的代谢需求	代谢能量（Cal·kg）、等效距离（实现某一卡路里消耗目标所需恒速跑动的距离）、总代谢功率（ml·kg·min）等

级别 1：不同速度区间的跑动距离；级别 2：与速度改变相关的事件（如加速、减速、变向）；级别 3：惯性传感器所能采集到的事件；混合级：三个级别数据综合汇算所得数据

二、追踪系统的应用：描述、计划和监测

- 一旦追踪系统的精度和准确度都可以量化后，注意力就能够被转移到分析过程之上。
- 追踪数据可以被用于识别关键的比赛特征，以客观地对热身、备战和重返赛场进行管理。
- 追踪数据应用的主要目标有：1）更好地理解运动特征和外部负荷；2）帮助规划团队的训练外部负荷；3）帮助与运动表现和伤病风险相关的决策。
- 进一步归纳和提炼，能够得出相互重叠的三大目的：描述、计划和监测（如图 1 所示）。

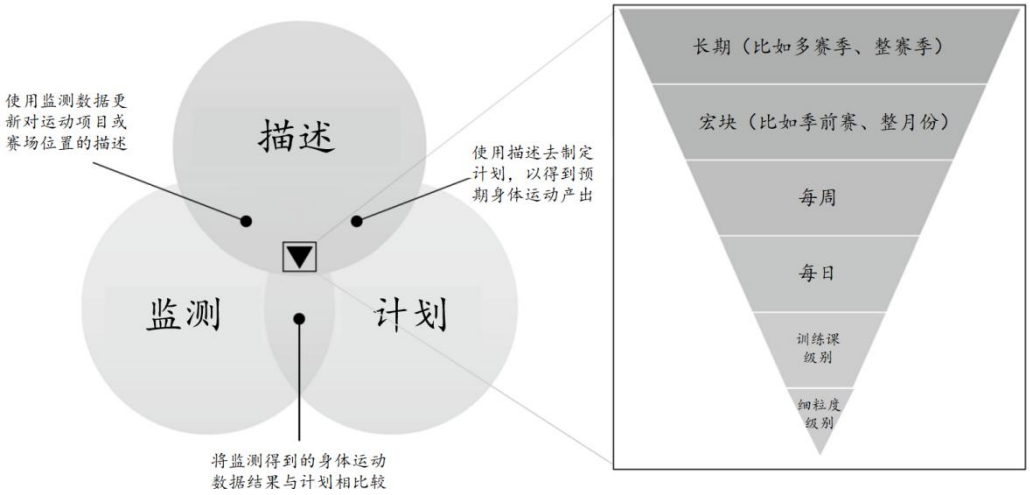

图 1 追踪系统数据的应用，呈现了描述、计划和监测之间的重叠区域和对应内容。维恩图中的倒鲁洛克斯三角形呈现了不同时间尺度的分析方法。

三、因项而异：追踪数据指标的选择

- 选择数据指标的考量差异如图 2 和图 3 所示，包括但不限于：赛场尺寸、运动员密度、位置特征、比赛规则、时序框架、身体需求。这些因素结合起来，显示出充分考量运动项目的特征与差异的重要性。

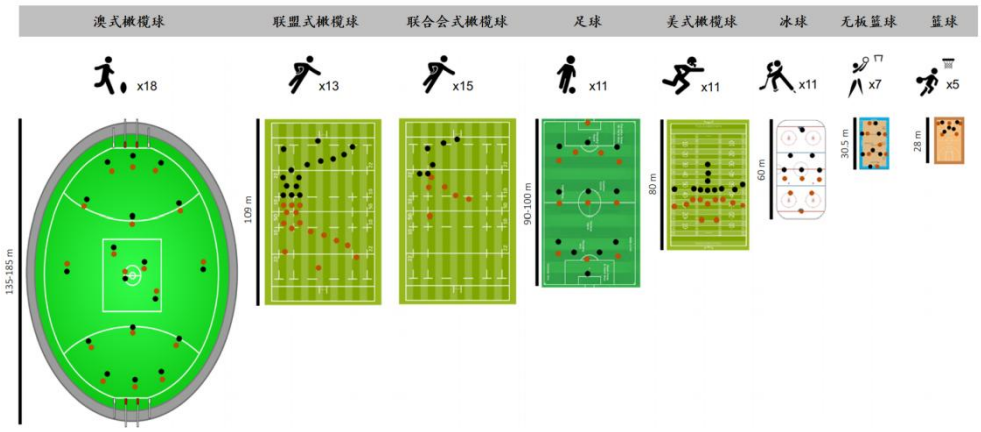

图 2 比较不同团队运动项目的比赛场地大小、每支队伍的上场人数，以成色和黑色的点分别来代表本方和对方运动员。

- 举例而言，追踪篮球球员的最大速度是否有意义是存在疑问的，因为篮球场并不大。与之类似，在美式橄榄球中，绝对高速跑动（HSR）这项数据对于锋线的意义就远不如外接手，而这是赛场位置特征决定的。

- 然而，上来就挑选数据指标又显得很矛盾，从业者也许需要通过它们先去测量一些特征，再确定它们是否有意义，然后才能以批判性思维去抉择出最适用于某项运动项目的数据指标。

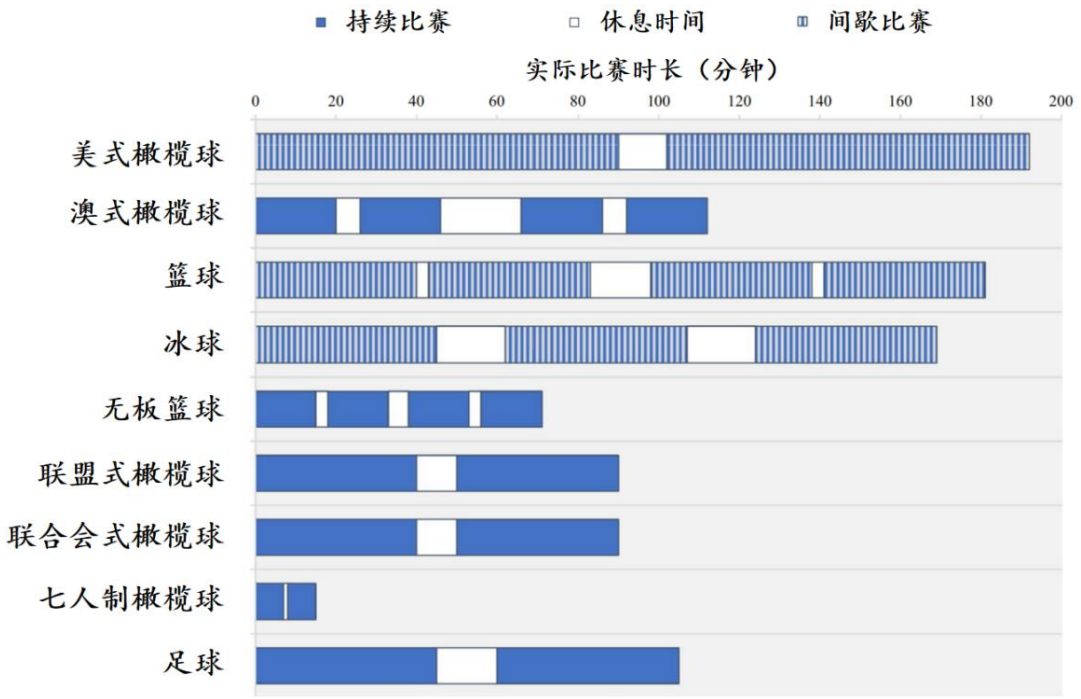

图 2 以柱状叠加图可视化呈现不同团队运动项目比赛的规则时长和实际时长。纯蓝色部分是持续不间断的比赛时间，此类团队运动项目也许会稍作停止以进行换人，但是没有商业暂停或教练员暂停，比赛计时不会中断。回合制的运动项目，则往往能够暂停比赛计时，有间歇休息（无论是为了调整战术部署还是出于商业目的），这样的比赛时间在图中用蓝灰相间表示。

- 以篮球为例，展示基于项目特征和需求的追踪技术及数据指标选择。篮球是一项间断性运动，场地尺寸、球员数量、比赛规则（如 24 秒进攻时限）要求球员频繁进行高强度动作，如高速变向、跑位切入、短距离变速、身体接触（背打、掩护、卡位等）和冲刺跳跃。因此，篮球常用的追踪指标包括：总体跑动距离、相对跑动距离（距离/时间）、高速跑动距离或时间、高强度动作频率和最大速度。由于篮球场地较小且频繁出现短距离爆发运动，最大速度成为计划和监测的关键指标。

- 此外，基于加速计的外部负荷量化对篮球非常重要。许多设备厂商各自研发了基于加速计的负荷计算方法，如 PlayerLoad™便是较早且广泛使

用的算法。建议从业者理解所用设备厂商对负荷的定义和计算方式，因其在测量、数据处理和阈值设置上可能存在差异。

- 随着光学追踪和机器学习算法的发展，篮球运动特征的检测愈加精准，投篮方式（如突破上篮、抛投、跳投、撤步投篮、接球投篮）、掩护、背身、单打等动作已能识别。将技术动作数据与量化身体运动数据结合，可形成描述、计划和监测篮球外部负荷的有效工具和深刻洞察。

四、总结与建议

- 追踪系统所采集数据具有广泛应用价值，大致可分为描述、计划和监测三类，均能支撑运动表现及伤病风险的客观决策。

- 从追踪系统提供的丰富数据维度中进行选择、从海量数据中分析出时间序列时，建议谨慎考量其准确性、有效性和可靠性，并明确其生态效度（即是否具备普遍代表性和适用性）。针对特定运动项目、所处环境和赛场位置，选择最适用的数据信息。

- 从特定运动项目视角出发，揭示项目特征和约束条件（如场地尺寸、运动员密度、位置特征、比赛规则、时间框架、身体需求等）如何影响追踪数据的应用。技战术数据与身体运动数据同步时，能为从业者提供更具上下文的信息，使追踪数据对训练实践产生更大价值。

编译来源：Torres-Ronda L, Beanland E, Whitehead S, Sweeting A, Clubb J. Tracking Systems in Team Sports: A Narrative Review of Applications of the Data and Sport Specific Analysis. Sports Med Open. 2022;8(1):15. Published 2022 Jan 25.

编译：李晨曦

以训练目标为导向的高强度间歇训练分类

高强度间歇训练（HIIT）是一种经过广泛研究和验证的训练方法，因其时间效率高而备受关注。研究表明，HIIT 能够通过心肺系统、代谢和骨骼肌适应的多重作用，显著提高运动表现。然而，与久坐人群和业余爱好者中大量关于 HIIT 生理适应的研究相比，针对高水平运动员的研究相对较少。在这些研究中，通常只涉及单一类型的 HIIT 对耐力、无氧能力或最大速度等关键表现指标的影响，而缺乏对 HIIT 不同类型在整体表现中的系统性分析。本研究旨在提出一种以训练目标为导向的 HIIT 分类，以帮助更有效地制定不同的训练参数（包括强度、间歇时长、持续时间和恢复时间），从而实现目标导向的训练设计。

一、有氧 HIIT

- 有氧 HIIT 指间歇训练中有氧供能比例（≥50%）高于无氧供能的训练模式。
- 常见形式包括 4 组 4 分钟高强度间歇，每组间有充分恢复的“传统型”训练，或是 30 次每次 30 秒的间歇训练，间歇时间为 15-60 秒的“长有氧间歇”。

二、无氧 HIIT

无氧 HIIT 通常包括冲刺间歇训练（SIT）、重复冲刺间歇训练（RSIT）和速度耐力训练（SET）三种类型。

- 冲刺间歇训练（SIT）：通常采用 1:10 的工作-间歇比，间歇时间为 60-300 秒，以确保能够充分恢复，满足运动员的最大功率输出需求。
- 重复冲刺间歇训练（RSIT）：旨在通过相对充分的间歇时间，维持高强度的运动（如最大速度或最大功率）。
- 速度耐力训练（SET）：持续时间为 10-40 秒，强度为最大速度的 70%-100%，间歇时间较长，通常为持续时间的 4-6 倍。

三、总结与建议

- 为提高运动员的最大摄氧量（VO_2max），建议 HIIT 的持续时间为运动员在最大摄氧量速度下可维持时间的 50%-60%。例如，采用 2.5 分钟的持续时间已被证明能够显著增强耐力表现。
- 在单次训练中，通过多次接近 VO_2max 强度的间歇训练，可以有效刺激心血管和外围系统的适应，提高整体运动表现。
- 选择不同类型的 HIIT（如有氧 HIIT、SIT、RSIT、SET），根据训练目标和生理需求进行组合，有助于高效激发有氧、无氧和神经肌肉系统的多重适应。
- 对于高水平运动员，精确选择 HIIT 的分类和参数（如强度、间歇时长、恢复时间）可最大限度地提升训练效果，同时减少伤病风险。
- 未来研究应深入探讨不同 HIIT 类型和参数对精英运动员生理和表现的长期适应效果。系统化的研究将为运动科学提供更细致的指导原则，帮助教练员和从业者在实际训练中优化 HIIT 的应用。

编译来源：Stöggl TL, Strepp T, Wiesinger HP, Haller N. A training goal-oriented categorization model of high-intensity interval training. Front Physiol. 2024;15:1414307. Published 2024 Jun 18.

编译：邓鉴峰

青少年运动员的雪橇车训练：何时推和拉？

提升速度是青少年运动员的重要训练任务。速度增长呈现非线性趋势，受中枢神经系统发育及激素波动的影响。短跑速度训练通常分为非特异性（如传统阻力训练）和特异性（如阻力和助力训练）两种方式，其中雪橇车训练是一种常用的特异性训练形式。然而，目前雪橇车训练的标准尚不统一，因此体能从业者需掌握如何有效利用雪橇车这一工具，以帮助青少年运动员提升速度表现。

一、研究结果

1. 推拉方式差异

- 雪橇车推与拉的动作在运动学上差异显著。推时手臂参与较少，拉时手臂则辅助平衡。负荷较重的雪橇车训练会使躯干前倾度增加。
- 青少年运动员若推负荷较轻的雪橇车，易因姿势失控而丧失效果，因此应以低速前进，以强化核心控制（如图 1 所示）。

图 1　一名年轻运动员进行阻力雪橇拉动（A）和推动（B）

2. 负荷量化

- 早期雪橇车训练以体重百分比量化负荷，但对不同运动员效果差异较大。
- 目前可基于力速曲线和负荷速度曲线，通过速度减量（Vdec）为青少年运动员制定个性化负荷。

- 建立负荷速度曲线可以使用激光或雷达测试工具，或通过 My Sprint App 等应用进行测量。

3. 训练负荷分区

- 雪橇车训练推荐的速度减量（Vdec）分区包括：技术能力（10% Vdec）、速度力量（25% Vdec）、力量（50% Vdec）和力量速度（75%-85% Vdec）。不同负荷分区适用于青少年不同的发育阶段。

4. 针对性负荷适应

- 缺乏训练经验的青少年运动员应采用递增负荷强度，教练员应特别关注负荷与姿势力学的关系。
- 青春期前的运动员建议使用技术和速度力量区间的负荷；而青春期后更适合重负荷训练。

5. 周期化预备阶段训练计划

- 青春期前的运动员不建议使用线性周期化；青春期后的运动员可以采用线性周期化模型，从一般准备阶段逐步进入特定准备阶段。
- 在一般准备阶段主要增加训练量并发展力量速度，而在特定准备阶段则减少负荷量、提高强度，提升速度力量。
- 临近比赛阶段应使用中等负荷，以发展最佳功率，比赛期仍应保持适量的雪橇车训练（如图 2 所示）。

图 2 青少年运动员雪橇训练的负荷、方法、目的和青春期的相互作用

二、实践建议

- 教练员应根据运动员的成熟度和运动能力，制定短跑专项训练计划，并通过负荷速度曲线计算适宜的雪橇训练负荷。
- 注重人体生物力学，强调冲刺技术在雪橇车训练中的运用。
- 在一般准备阶段，训练应由低速度高负荷逐步过渡至高速度低负荷；而在临近比赛阶段，训练则应从高速度低负荷过渡至最大速度。

编译来源：Cahill, M.J., Cronin, J.B., Oliver, J.L., Clark, K.P., Lloyd, R.S., & Cross, M.R. (2020). Resisted Sled Training for Young Athletes: When to Push and Pull. Strength and Conditioning Journal.

编译：王嘉鑫

肌肉疲劳、踩踏技术和在自行车运动中的 VO_2 慢速成分

摄氧量（VO_2）动力学研究表明，在高于第一乳酸阈值运动强度下 VO_2 的稳态会延迟出现。这一现象的原因在于 VO_2 反应包括快速成分和慢速成分，其中慢速成分大约在运动后 3 分钟出现，逐步驱动 VO_2 达到峰值，并伴随肌肉疲劳、肌肉效率下降的现象。本研究旨在进一步探讨 VO_2 慢成分与骨骼肌疲劳之间的关系，以及其与自行车踩踏技术的潜在关联。研究假设为：VO_2 慢成分的发展可能与肌肉疲劳和骑行时踩踏技术的改变有关。本研究采用了一种新颖的方法，通过在运动员持续踩踏的情况下进行肌肉电刺激来评估肌肉疲劳（如**图 1** 所示），该技术可在 VO_2 慢成分出现时实时测量肌肉疲劳状态。黑色曲线代表无电流刺激时不同曲柄位置的踩踏力，灰色曲线为外部电流刺激下的力曲线，显示额外峰值，从而评估肌纤维的疲劳情况。

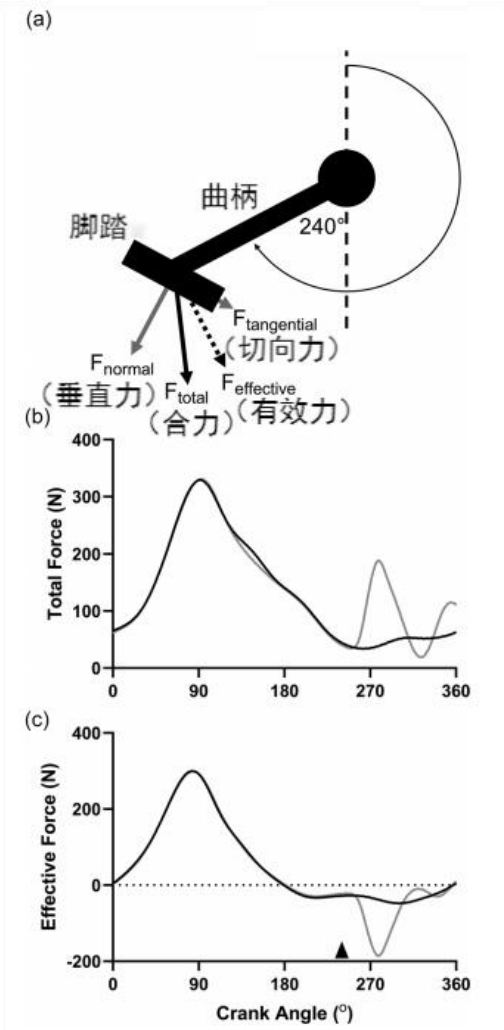

图 1 通过电刺激来评估肌肉疲劳的方案

本研究要求受试者在恒定功率下进行踩踏，并对以下生理和生物力学变量进行了测量和分析：

- VO_2 慢成分计算：VO_2 动力学可由下面的公式进行拟合，恒定功率测试中实际测得的 VO_2 与拟合公式的差值可以算出 VO_2 慢成分。

$$\dot{V}O_2(t) = \dot{V}O_{2BL} + A_p[1 - e^{-(t-TD)/\tau}]$$

- 肌肉疲劳：当受试者曲柄位于 240°的提拉位置时，用 400V、1ms 的脉冲电流刺激股神经，这样会产生一个反向力，以此来评估肌肉疲劳。
- 肌肉电流：采用双极表面肌电图测量股四头肌（股四头肌外侧和股直肌）的肌肉活动度。
- 肌肉氧合情况：采用近红外光谱（NIRS）技术测量右侧股四头肌外侧的肌肉氧合情况（SmO2），传感器大约位于股骨大转子和股骨外侧上髁的中间，并以 2 Hz 频率采样。
- 踩踏力学变量：踩踏力可以分为合力、垂直力、切向力、有效力几个部分。踩踏技术对效率的影响可以分为向下踩踏（从 0°到 180°）和向上提拉（从 180°到 360°）两个阶段。在向下踩踏阶段，主要考察的是合力、有效力的最大值；而在提拉阶段，主要考察合力、有效力的最小值。

一、研究结果

- 随着疲劳产生，运动中 VO_2 增加的约 85%是由于工作肌肉内耗氧量的增加，而非通气、心脏或辅助肌肉活动的增加。
- VO_2 慢成分的发展与肌肉疲劳、低效肌纤维的募集有关，并且伴随肌纤维传导速率的下降。
- 本研究中更直接的肌肉疲劳测量结果显示，骑行过程中肌肉收缩力量显著下降。
- 本研究的主要关注点在于，探索疲劳状态下踩踏技术的变化是否能够解释 VO_2 慢成分的增加。

- 最大有效力随时间显著增加，在恒定功率下增加的力输出可能导致更高的能量需求，从而引发 VO_2 慢成分的增加。

- 某些个体的 VO_2 慢成分与踩踏技术关系密切。如图 2 所示，该受试者在肌纤维收缩力和踩踏技术变量（提拉过程中的最小合力）与 VO_2 慢成分表现出高度一致性（VO_2 慢成分伴随肌肉疲劳和肌纤维收缩力下降出现）。这表明，对部分人而言，踩踏力学的变化可能是影响能量消耗的重要因素，优化踩踏技术有助于提升运动表现。

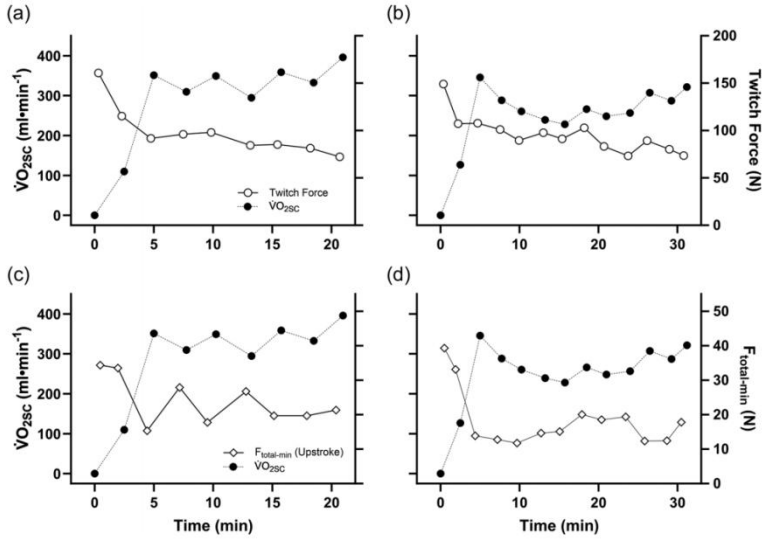

图 2 其中一名受试者 VO_2 慢成分与肌肉疲劳、踩踏变量的关系

二、总结

- 在高于第二乳酸阈值的持续功率骑行中，VO_2 慢成分与肌肉疲劳之间存在显著关联，尤其在股四头肌的力量和氧合下降时表现突出。

- 不同个体在生理与机械变量间的相关性上差异较大，难以全面确定踩踏技术调整对 VO_2 慢成分的具体影响。但骑行技术的调整可能会叠加于 VO_2 慢成分的基础反应之上，从而进一步增加摄氧量消耗。

编译来源：MacDougall KB, Aboodarda SJ, Westergard PH, MacIntosh BR. Muscle fatigue, pedalling technique and the VO_2 slow component during cycling. Exp Physiol. Published online October 16, 2024.

编译：王宇航

训练负荷：区分训练量与训练剂量

训练负荷的概念源于 Banister 等人在 1975 年的开创性研究。他们提出，训练引发的疲劳与后续运动表现的提升（体能增强）密切相关。基于训练理论的基本原则，这一理念认为每次训练课都会给身体施加“过载”，引发训练压力和疲劳，同时刺激身体适应并实现超量恢复。Banister 等人将每次训练课视为一种“训练剂量”，这种“剂量”的效果体现在运动表现上：运动员在训练剂量作用下可能出现急性表现下降，但随着恢复，运动表现逐渐回升，甚至超越先前水平。他们还提出使用训练冲量单位计算训练剂量，但该概念与急性运动表现下降之间的关联尚未经过实证验证。

一、区分训练量与训练剂量的重要性

- 近期，Jeffries 等人对训练负荷的定义进行了扩展，认为其涵盖运动员所经历的全部训练内容，这意味着训练剂量只是训练负荷的组成部分。
- 实际训练中，相同的训练量可以通过多种强度和时长组合实现，但这些组合对运动表现的影响可能截然不同。例如，总时长相同的跑步训练中，高强度间歇跑和匀速慢跑的效果差异显著。
- 不同的慢性训练量也可能导致相似的运动表现结果。因此，明确区分训练量和训练剂量对于理解训练过程、评估训练效果和优化训练计划至关重要。

二、常用训练负荷指标的有效性探讨

1.总摄氧量指标的局限性

- 总摄氧量广泛用于评估训练的代谢成本，但它并不等同于训练剂量。
- 总摄氧量与训练后的运动表现下降关联较弱，尤其在比较持续运动与间歇运动时，摄氧量与训练过程中所需努力的相关性较低。

- 更重要的是，总摄氧量对许多影响运动表现的应激因素（如肌肉损伤、疲劳、高温和缺氧等）不敏感，甚至在某些情况下，较低的总摄氧量反而伴随更早的疲劳和运动表现下降。
- 这些现象表明，总摄氧量与运动表现变化之间的联系较弱，难以准确反映训练剂量。

2.其他相关指标的分析

- 总摄氧量、总做功和训练冲量等指标主要反映的是训练量，而非训练剂量。然而，NASA 任务负荷指数与急性运动表现下降的一致性表明其可能是有效的训练剂量指标。
- 总体而言，现有的训练负荷指标在准确量化训练剂量方面仍有较大不足，其作为训练剂量代表的有效性尚未得到充分验证。

三、总结

- 本研究重新审视了常用的训练负荷概念和相关指标，有效指出了这些指标在反映训练剂量方面的不足之处。深入探索并开发更精准的训练负荷指标将是未来的重要方向，以帮助制定更科学合理的运动员训练计划。

编译来源：Passfield L, Murias JM, Sacchetti M, Nicolò A. Training Load: Differentiating Training Volume and Training Dose [letter]. Int J Sports Physiol Perform. 2022;17(10):1460-1462.

编译：武凡超

一种新的统计方法用于训练负荷与损伤风险研究：区分急/慢性负荷

训练负荷是指运动员在多次身体活动中产生的机械、生理和心理负荷。短期（急性）训练负荷与长期（慢性）训练负荷的关系可能影响运动损伤风险。本研究的主要目的是展示一种新的统计方法，分别对急性和慢性训练负荷进行建模，以探讨相对训练负荷与损伤风险之间的关系，从而为训练负荷研究提供方法支持。次要目标是探讨在足球运动中，急性训练负荷和慢性训练负荷在损伤风险关联中是否存在交互作用。研究数据来源于卡塔尔星级联赛（1465 名运动员，1977 例损伤）和挪威 U-19 精英足球队（81 名运动员，60 例损伤），其中前者的训练负荷定义为活动分钟数，后者定义为课次主观疲劳度（session Rating of Perceived Exertion，sRPE）。本研究采用混合逻辑回归模型，将当日训练负荷（急性负荷）和过去累积的训练负荷（慢性负荷，估算自分布滞后非线性模型）作为自变量，以损伤为结局指标，并模拟急性和慢性训练负荷的交互作用。

一、结果

1. 简单模型示例

- 逻辑回归模型分别估算了急性负荷（比值比 OR=0.995）和慢性负荷（OR=1.016）的风险比。此方法便于进一步研究在给定慢性负荷水平下，不同急性负荷水平对应的受伤风险（图 1A），以及在不同急性负荷水平下的慢性负荷风险（图 1B）。
- 急性负荷每减少一次，受伤风险增加；慢性负荷每增加一次，受伤风险也会增加。由于急性负荷和慢性负荷的风险比相近，表明急性负荷（持续一周）的影响可能比慢性负荷（持续三周）更显著。

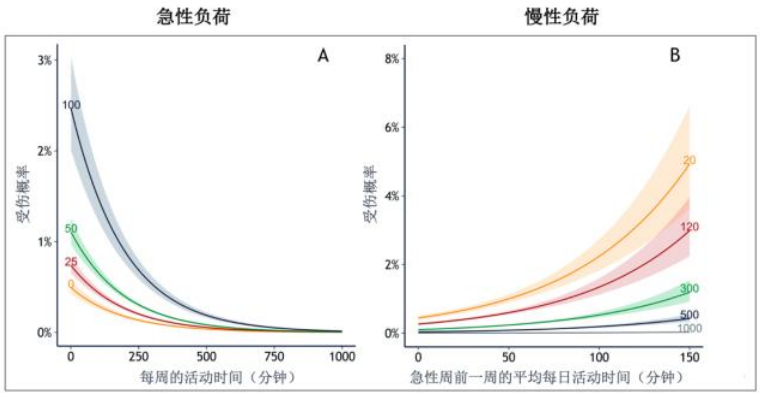

图 1 卡塔尔星级联赛球员在不同水平的(A)急性负荷和(B)慢性负荷下的受伤概率（共 564206 个暴露值，1006 例损伤）

图注：(A) 中展示了不同慢性负荷水平（前 3 周的平均活动时间为 0、25、50 和 100 分钟）的风险。(B) 中展示了不同急性负荷水平（当前周的活动时间为 20、120、300、500 和 1000 分钟）的风险。

2. 训练负荷与受伤风险之间的关系：

- 急性和慢性负荷的交互作用显著，且与突发性损伤和渐进性损伤均存在关联。
- 挪威模型显示，慢性课次主观疲劳度较低或较高时，受伤风险增加；而在中等水平时，受伤风险最低（图 2B）。与卡塔尔模型相似，挪威模型中不同慢性课次主观疲劳度的风险斜率变化明显，表明存在交互作用（图 2B）。

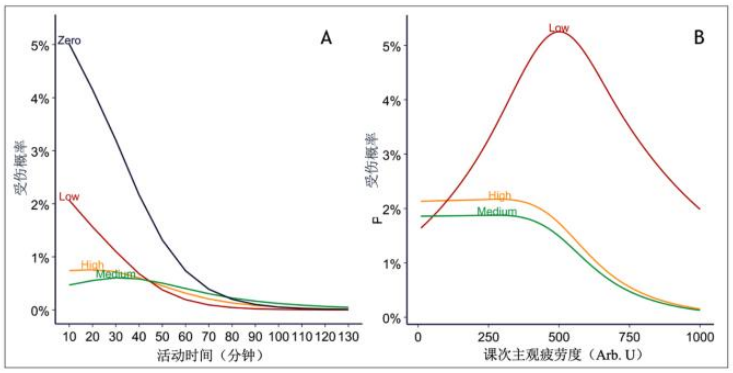

图 2 (A) 卡塔尔模型（420329 暴露值，1977 例损伤）和 (B) 挪威模型（4719 暴露值，60 例损伤）每个急性负荷水平（当天）的估计受伤概率

图注：显示零、低 (Low)、中 (Medium) 和高 (High) 慢性负荷水平的概率；由于数据存在多重共线性，无法估算置信区间。Arb. u 为任意单位。

- 附加分析中，卡塔尔数据模型显示前一天（day -1）的活动对当天受伤风险影响最大（60 分钟活动比值比 OR=1.1，95% CI=1.05–1.18，图 3A）。离当天时间越远，风险递减，例如，距当天 19-22 天前的 60 分钟活动的比值比为 OR=1.02（CI=1.01–1.04）。不论是前 1 天、前 10 天还是前 27 天的活动，短时（10-40 分钟）活动显著增加当日受伤风险，较长时（90-120 分钟）活动中度增加风险，中等时（40-80 分钟）活动轻度增加风险（图 3B-D）。

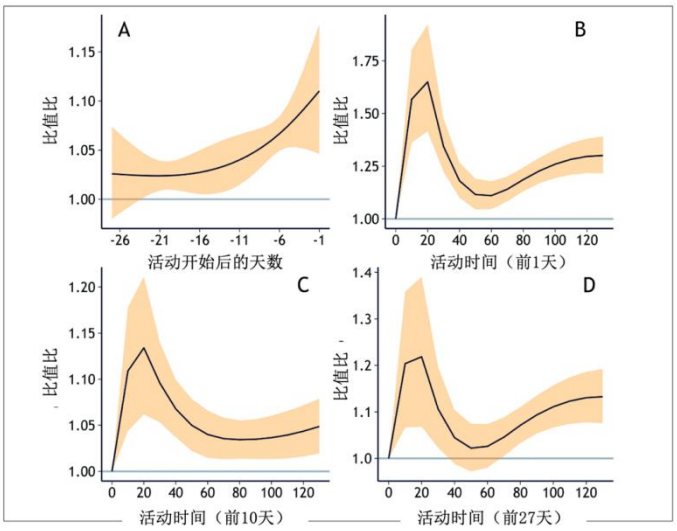

图 3. 卡塔尔星联赛球员的慢性负荷伤害风险概况（1136223 次暴露值，1977 次例损伤）

图注：A 图显示了过去每天进行 60 分钟活动的伤害风险：-1 表示如果活动发生在当前日前一天的伤害风险，-27 表示如果活动发生在当前日前 27 天的伤害风险。B、C 和 D 图显示了在不同活动分钟数水平下的伤害风险变化，其中活动发生在（B）当前日前 1 天，（C）当前日前 10 天，（D）当前日前 27 天。为了更好地展示关系形状，B–D 图的 Y 轴不在同一比例尺上。黄色带代表 95%的置信区间。

二、结论

- 在回归模型中分别建模急性负荷和慢性负荷是分析相对训练负荷与损伤风险关系的有效统计方法，并适用于运动损伤预防研究。此外，建议运动科学专家在分析损伤风险时，考虑急性与慢性负荷之间的交互作用。

编译来源：Bache-Mathiesen LK, Andersen TE, Dalen-Lorentsen T, et al. A new statistical approach to training load and injury risk: separating the acute from the chronic load. Biol Sport. 2024;41(1):119-134.

编译：陶美玲

脑力疲劳对力量耐力任务的影响：运动相关皮层电位是否起作用？

脑力（心理/认知）疲劳会损害运动表现。从赛场实践看，脑力疲劳的产生、波动及持续性与运动表现的关系已得到运动员、科研人员和从业者的广泛认可。在量化和监控疲劳时加入脑力疲劳的认知维度也尤为重要。不同表现类型受脑力疲劳影响的机制各异。对于开放技能类项目（如注意力、反应和决策能力）和耐力项目，脑力疲劳的影响机制可能不同。针对耐力表现，脑力疲劳通常增加自觉努力感，但对外周生理指标无明显影响。关于脑力疲劳增加自觉努力感的机制，当前有三种解释：一是生理因素，尽管该解释存在争议；二是与中枢运动指令的伴随放电相关，即脑力疲劳可能增加伴随放电的强度；三是神经信号处理的变化。尽管讨论仍在继续，研究表明脑力疲劳确实影响大脑中的神经信号处理。脑力疲劳状态下自觉努力评分的增加和耐力表现下降的神经机制尚待进一步研究。本研究通过使用运动相关皮层电位（MRCP）脑电图，探索在脑力疲劳和非疲劳状态下进行标准化次最大重复腿屈伸任务时的大脑活动差异，并探讨导致脑力疲劳时自觉疲劳度（RPE）增加的潜在神经机制。

一、研究结果

- 受试者自我报告的脑力疲劳显著增加，任务后的认知行为测试准确度显著下降，且任务最后 10 分钟的前额叶皮层α波功率明显高于前 10 分钟，说明 60 分钟的 Stroop 任务成功诱导了脑力疲劳。
- 实验组与控制组在腿屈伸任务中的运动相关皮层电位特征和RPE随重复次数的增加情况无显著差异。
- 实验组在后续腿屈伸活动期间的α波功率显著增加。

二、总结与启示

- 个性化 60 分钟的 Stroop 任务成功诱导脑力疲劳，但对后续腿屈伸任务中的 RPE 和运动相关皮层电位变化无显著影响。重复腿屈伸过程中α波功率的增加，可能表明受试者采取了集中的内部注意机制，以维持运动表现并减轻疲劳感。

- 本研究的局限在于，脑力疲劳后的耐力运动选择了导致局部肌肉疲劳的次最大运动任务，主要受限于脑电波测量的环境需求，如身体姿态和头部稳定性。这对未来的研究设计和脑电监控设备提出了更高要求，尤其是在力竭性耐力运动（如跑台或功率自行车）中的应用。

- 脑力疲劳可视作一种“保护机制”，在耐力运动情境下尤为明显。脑力疲劳对不同运动表现的作用机制可能各异，但疲劳本质上是一个多维现象，研究其背后机制的多样性具有重要意义。将相关理论应用于实践，为科研人员和从业者提供应对运动中脑力疲劳的方法。

- 大脑皮层具有可塑性，研究脑力疲劳的机制对科学制定训练计划、引入脑力疲劳训练任务、合理干预和提升运动员的适应能力具有重要意义，可有效降低脑力疲劳对运动表现的负面影响。

编译来源：Proost M, Habay J, DE Wachter J, DE Pauw K, Marusic U, Meeusen R, DE Bock S, Roelands B, VAN Cutsem J. The Impact of Mental Fatigue on a Strength Endurance Task: Is There a Role for the Movement-Related Cortical Potential? Med Sci Sports Exerc. 2024 Mar 1;56(3):435-445.

编译：卞超

篮球比赛相关疲劳：系统综述

本系统综述旨在全面分析篮球比赛后的疲劳反应，包括单场比赛和密集比赛日程对运动员的影响。研究聚焦于篮球比赛后运动员的表现、生理、自我报告和睡眠相关结果，为运动员的恢复和训练计划提供科学依据。

一、单场比赛对运动员的影响

1. 表现影响

- 垂直跳跃高度和直线冲刺成绩是评估比赛后疲劳的关键指标。研究发现，这些指标在赛后即刻下降，并在 24-48 小时内对男性运动员产生持续影响，而女性运动员的表现下降不显著。
- 表现下降可能与肌肉疲劳、神经肌肉功能下降和肌肉损伤相关。

2. 生理变化

- 比赛结束后，反映应激水平的皮质醇显著增加，可能与免疫抑制、蛋白质合成抑制及糖原分解相关。
- 肌肉损伤标志物（如肌酸激酶 CK）在赛后显著升高，并在 24-72 小时达到峰值后逐渐下降。
- 炎症标志物（如 C 反应蛋白 CRP）在赛后升高，13-48 小时后仍维持高水平，这可能加剧肌肉损伤并延缓恢复。

3. 运动员自我报告

- 肌肉酸痛和感知疲劳是赛后自我报告中最常见的症状，通常在赛后 24-48 小时达到峰值，反映出运动员经历了显著的肌肉不适。
- 感知疲劳在赛后即刻上升，随后几天逐渐恢复，而这一变化在女性运动员中较不明显。

4. 睡眠影响

- 尽管数据有限，现有研究显示篮球比赛对运动员睡眠模式影响不大，这可能是由于篮球比赛对睡眠干扰较小，或是现有研究的样本量和观察时间有限所致。

二、密集比赛日程

- 关于密集比赛日程对表现的影响，研究结果尚不一致。有研究认为连续比赛可能导致累积疲劳，另一些研究则未发现显著影响。
- 在生理反应方面，男性运动员在密集比赛期间表现出肌肉损伤和炎症标志物增加，而女性运动员的恢复能力较好。
- 在自我报告结果中，男性运动员在密集赛程期间表现出较低的健康感知，而女性运动员表现出较低的感知疲劳。

三、总结与实践建议

- 篮球比赛后的疲劳反应涉及生理、表现和心理等多个维度，因此恢复策略应综合考虑这些因素，以促进运动员恢复并为下一场比赛做好准备。
- 建议实施个性化的恢复计划，包括营养补充、冷疗和按摩等，以减轻赛后疲劳并促进恢复。
- 在密集比赛日程下，建议合理安排比赛与训练负荷，避免过度训练和累积疲劳。

编译来源：Pernigoni, M., Ferioli, D., Calleja-González, J., Sansone, P., Tessitore, A., Scanlan, A. T., & Conte, D. (2024). Match-related fatigue in basketball: A systematic review. Journal of sports sciences, 42(18), 1727–1758.

编译：戴思雨

冠军案例

两位奥运冠军赛艇运动员的生理与表现发展：20 年跟踪研究

尽管运动员的最大摄氧量（VO_2max）通常在青年期达到峰值，并随年龄增长逐渐下降，但其对高水平耐力项目实际表现的直接影响仍不完全明确。通过有针对性的耐力、力量和无氧训练，运动员可以在 VO_2max 下降的情况下依旧保持或提升表现。本研究聚焦于对两位现役顶尖赛艇运动员的生理和表现进行长达 20 年的跟踪观察。这两位运动员分别出生于 1988 年和 1989 年，截至 2024 年，已获得两届奥运会金牌和六届世界锦标赛冠军。他们在 2016 年和 2020 年奥运会上斩获金牌，成为历史上首对在男子双人双桨和双人无舵手项目中同时获金的组合。从 2008 年起，他们作为组合在国际赛事中屡创佳绩，共获得 3 枚奥运会奖牌和 9 枚世界锦标赛奖牌，涵盖赛艇和双桨多个项目。本研究对其年度生理指标和表现进行了系统记录，包括 VO_2max、最大分钟功率（MMP）、无氧阈值（PAT）等关键参数，配合 2000 米和 6000 米划船测功仪测试，旨在揭示长期训练的有效性及其对生理适应的影响。本研究不仅填补了奥运会赛艇项目中长期纵向数据空白，也为理解和优化顶级运动员的长期训练管理提供了宝贵参考。

一、生理特征

研究分为五个四年周期，每个周期进行生理与表现评估。这两位运动员在职业生涯中身高维持在成年期的 98%左右（188 和 189 厘米），体重在 93 至 98 公斤之间，且体脂率保持在 10%-13%。以下为关键生理指标的发展趋势：

1. 最大摄氧量（VO_2max）

- VO_2max 在研究前半段持续增长，在 22 岁和 25 岁分别达到峰值（接近 7 L/min 或 74mL/min/kg）。
- 27 岁后 VO_2max 呈轻微下降趋势，稳定在 6.2-6.5 L/min，但这并未对其表现产生明显负面影响。

2. 最大分钟功率（MMP）

- MMP 在整个研究期间保持高度稳定，特别是在最后两个四年阶段维持在 550-575 W，与 2000 米划船测试的平均功率输出几乎相当，表明 MMP 是划船表现的有效预测指标。

3. 无氧阈值（PAT）

- PAT 在职业生涯中稳步上升，从最初的 336 W 增至 408 W，反映出耐力水平的逐步提升，表明长期耐力训练有助于高强度输出的持续能力。

二、表现发展

1. 2000 米划船表现

- 2000 米划船测试的平均功率在五个周期中逐步提升，最终达到 532 W，成绩为 5 分 48 秒。通过技术和体能训练，运动员的短距离表现得到了优化。

2. 6000 米划船表现

- 6000 米划船表现同样逐年提高，最终达到 463 W，成绩为 18 分 4 秒，表明运动员在长距离耐力方面能力的稳定提升。

三、总结与实践启示

- 本研究通过对两位奥运冠军赛艇运动员的长期跟踪，揭示了在高水平训练下，生理能力与运动表现的多方面变化。尽管 VO_2max 在达到峰值后有所下降，但得益于持续的训练和技术优化，运动表现依然稳步提升。

- 赛艇运动员的长期高水平表现不仅依赖于生理指标的维持，更需借助技术的持续优化。基于教练员的定性反馈支持了这一观点，强调赛艇技术的提升在运动员职业生涯中的重要性。通过提高技术效率，运动员能在生理水平保持稳定的情况下，以更少能量消耗维持高水平表现。

- 除有氧能力外，无氧系统在短期爆发力和瞬时耐力方面也至关重要，尽管其能量输出难以通过氧气消耗直接测量，但在高强度比赛中的重要性不容忽视。因此，训练中应适当加入无氧能力训练，以进一步提升运动员的短时高强度表现。

- 教练员和运动员在长期训练中应采用多层次策略，不仅关注生理指标的提升，还需注重技术训练的精细化和无氧能力的开发。通过系统的生理监测和科学训练规划，教练员和运动员可以制定个性化的长期训练方案，以实现持续的高水平竞技表现。这些启示对赛艇及其他耐力项目的训练管理具有重要参考价值。

编译来源：Mikulic P, Gulin J. The Physiological and Performance Development of Two Multiple Olympic Champion Rowers: A 20-Year Follow-Up Study. *Med Sci Sports Exerc*. 2024;56(11):2211-2219.

编译：殷明越

提示：

如需进一步信息，请联系总局科技助力专家组。

联系人：郭迎清

联系电话：（010）87182528

主　　编：陈志宇　曹景伟　　**副主编：张　涛　杨　杰　赵杰修**

执行主编：程　谦　李海鹏　　**编　委：陈小平　黎涌明**

地　　址：北京体育馆路 11 号 国家体育总局体育科学研究所　　**邮　编：100061**

电　　话：010-87182561　　**传　真：010-87182600**