国际竞技体育科技前沿

2024 年 10 月　　第 8 期　　总 第 8 期

目　　录

1.训练监控	自行车设置与骑行运动学：专家共识立场	1-6
	捕捉内外部训练负荷之间的复杂关系：数据驱动的方法	7-9
	脑力疲劳：从表现受损到增加受伤风险	10-11
2.竞赛策略	世界级 200 米自由泳运动员比赛策略的纵向分析：个案研究	12-13
	奥运会与残奥会治疗性用药豁免的普遍性：对 2016 至 2022 年数据的分析	14-16
	迈向洛杉矶：在精英赛艇运动员中比较全力 2000 米与 1500 米水上划时的功率输出与配速策略	17-18
3.数智训练	体育数据分析前沿：AI 应用、新兴技术和算法	19-25
4.损伤康复	职业足球中受伤风险时间与重返赛场的时间曲线	26-27
	冷疗在治疗运动中软组织损伤的应用：系统回顾	28-29
5.训练策略	视觉表现与运动：范围综述	30-31

国家体育总局科教司　　国家体育总局体育科学研究所　合编

自行车设置与骑行运动学：专家共识立场

不恰当的自行车设置会增加运动员非创伤性运动损伤的风险，近年来自行车设置调试服务在骑行运动社区中的关注度逐渐上升。合理的自行车设置调试能够提高骑行舒适性、减少疼痛并避免运动损伤。本研究通过德尔菲专家调查法（Delphi Procedure），针对测量自行车设置尺寸和收集自行车运动学数据的最佳实践达成了共识。核心小组由 4 名成员组成，并与 14 名专家协作，对 8 项关于自行车设置测量的陈述以及 9 项自行车运动学评估的陈述达成一致。

一、测量自行车设置的专家共识

1. 共识 1.1 自行车或自行车测功仪

- 必须说明测量是在受试者自己的自行车上进行，还是在自行车测功仪上完成的。
- 如果是在自行车测功仪上进行测量，需报告测功仪哪些部分可调节、调节方式是连续还是离散的，以及测功仪与受试者自行车的差异。

2. 共识 1.2 测量工具

- 尽可能详细描述所使用的测量工具（包括潜在的误差分析），测量时至少进行 3 次并取平均值。

3. 共识 1.3 车座高度

- 车座高度定义为坐骨结节与车座接触最高处到脚踏轴心的距离（图 1 红虚线）。
- 如图 1 所示，车座测量点到五通中心的距离（图 1 黄线）加上曲柄长度（图 1 蓝线）即为车座高度 （图 1 红虚线）。应准确描述车座测量点的具体位置作为标定点。

图 1 车座高度测量示意图

4. 共识 1.4 车座后移

- 车座后移定义为坐骨结节与车座接触最高点相对于脚踏轴心的水平后移（图 2 红虚线）。
- 如图 2 所示，车座测量点相对于五通中心水平距离（图 2 黄线）加上曲柄长度（图 2 蓝线）即为车座后移（图 2 红虚线）。
- 值得注意的是，国际自盟 UCI 对比赛用车的车座后移有相应的规定。

图 2 车座后移测量示意图

5. 共识 1.5 有效坐管角

- 有效坐管角定义为从五通中心点出发的水平线和五通中心点至车座测量点连线的夹角（图 3 黄色线夹角所示）。

图 3 有效坐管角测量示意图

6. 共识 1.6 曲柄长度

- 曲柄长度定义为五通中心点到脚踏轴心的距离。注意：测量时应该报告两侧曲柄长度是否不同。

7. 共识 1.7 车座高度到车把的垂直落差

- 定义为车把夹紧处和坐骨结节与车座接触最高点的垂直距离（图 4 红线）。车把测量标定点的确定如图 4 所示。

图 4 垂直落差测量示意图

8. 共识 1.8 车座到车把的距离

- 定义为车把夹紧处和坐骨结节与车座接触最高点的距离（图 5 红虚线），如图 5 所示。

图 5 车座车把距离测量示意图

二、自行车运动学评估的专家共识

1. 共识 2.1 测试条件：

- 需要说明包括评估时间、强度、踏频以及主观疲劳程度（RPE）在内的测试条件。

2. 共识 2.2 动态评估：

- 相对于静态测量，动态评估可以提供更好的骑行姿势反馈。
- 动态评估要求受试者充分热身，并且在特定的强度、踏频下至少维持 2min 稳定输出以获得骑行姿势的准确评估；对于高强度运动的评估，建议持续时间至少在 30s 以上。
- 得到的数据需要注明是基于多少圈的踩踏得到的（例如：10 圈踩踏的平均值）。

3. 共识 2.3 二维和三维运动学测量：

- 三维运动学测量总是优于二维的，二维测量局限性在于难以确定关节中心点以及视差。

4. 共识 2.4 站立姿势测量与调试的标准化：

- 在自行车调试前，测量受试者在站立姿势下的关节角度有利于运动学分析。这适用于没有解剖或神经功能损伤的情况。
- 为了实现这种标准化，应该在解剖位置上进行静态测量。

共识 2.5 运动学测量与分析方式：

- 需要对测量技术与方法尽可能详细地进行介绍，包括设备参数、校准程序、运动学模型、记录过程、数据分析等。

共识 2.6 调试过程中的全身评估：

- 身体环节之间是相互作用影响的，运动学不应局限于对下肢单个关节的分析。
- 髋、膝、踝整合的运动学报告是下肢运动评估的重点；整个身体位置在自行车上，包括头、躯干，和手在手把（上把位或下把位）也应该报告。

共识 2.7 报告踩踏最低位置的膝盖屈曲：

- 车座高度通常由踩踏最低位置的膝关节角度确定，多种方法可能产生不同的结果。
- 因此，应采用膝关节角度是如何确定的，以及基于膝关节角度得到的衍生数据是需要报告的。

共识 2.8 足-脚踏位置关系：

- 需要报告足部位置。足部位置定义为，当踏板与水平轴平行时，前掌趾关节中心（第五跖骨，图 6 第一条蓝色虚线）与脚踏轴心（图 6 第二条蓝色虚线）之间的水平距离（图 6 红线），如图 6 所示。

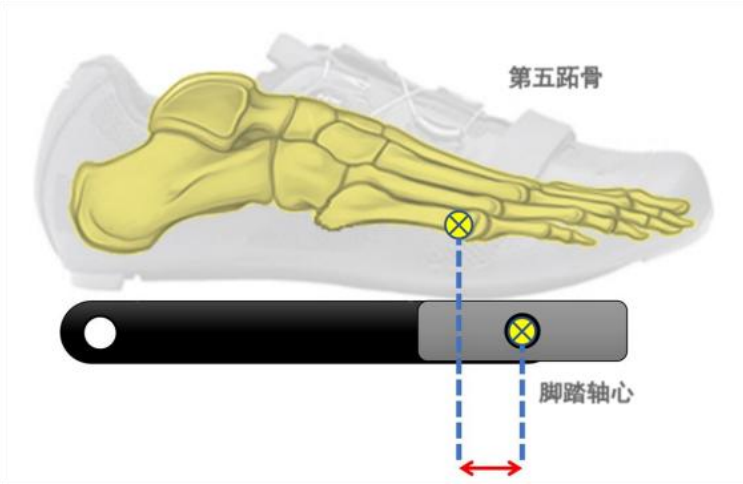

图 6 前掌趾关节中心（第五跖骨）与脚踏轴心之间的水平距离

共识 2.9 受试者特性：

- 进行运动学评估时需包含受试者的各项信心，包括性别、年龄、身高、体重、每周训练时长（频率）、训练水平、有力腿等。

三、总结

本研究通过德尔菲法汇总了自行车设置维度和骑行运动学数据采集的最佳实践建议，旨在为研究人员和自行车从业者提供指南。这些共识有助于提高自行车测量和运动学数据采集的透明度、标准化和可重复性，优化自行车适配过程，并为自行车运动的研究与实践奠定基础。研究还指出了一些未解决的问题，并建议未来继续探索这些领域。

编译来源：Priego-Quesada JI, Arkesteijn M, Bertucci W et al. Bicycle Set-Up Dimensions and Cycling Kinematics: A Consensus Statement Using Delphi Methodology. Sports Med. 2024 Sep 20.

编译：王宇航

捕捉内外训练负荷之间的复杂关系：数据驱动的方法

训练负荷通常通过内部负荷和外部负荷来描述。内部负荷指的是运动员在运动过程中对外部负荷的心理生理反应，如心率、血乳酸或主观疲劳度（RPE）。外部负荷则指运动员完成的运动“工作”，例如速度、力量或加速度等指标。在许多运动项目中，研究内外训练负荷的耦合对于优化训练计划和提高运动员表现至关重要。然而，目前缺乏直接耦合内外训练负荷的标准方法，这限制了我们对特定训练课程刺激的全面理解。本研究旨在利用速度滑冰运动员的训练负荷数据，评估双变量核密度估计图（KDE）在描述内外负荷耦合及区分特定训练课程方面的有效性，并与传统方法（如训练冲量或基于训练区间的强度分布）进行比较。研究监测了 18 名（亚）精英速度滑冰运动员的冰上训练，记录了他们连续两个赛季的速度和心率数据。训练课程类型根据教练员的训练计划划分，涵盖了耐力、间歇、节奏和冲刺等课程。通过 Kruskal-Wallis 或 Kolmogorov-Smirnov 测试，分别评估了不同训练课程下训练冲量和 KDE 得分的差异。

一、研究结果

- 除了耐力课程外，其他训练课程类型的训练冲量差异并不显著。
- 在心率和速度的 KDE 比较中，所有训练课程类型之间均表现出显著差异（均 $P < 0.001$）。
- 心率和速度的二维 KDE 图提供了更加详细的内外训练负荷耦合信息，这是传统的训练区间二维图所无法呈现的（图 1）。

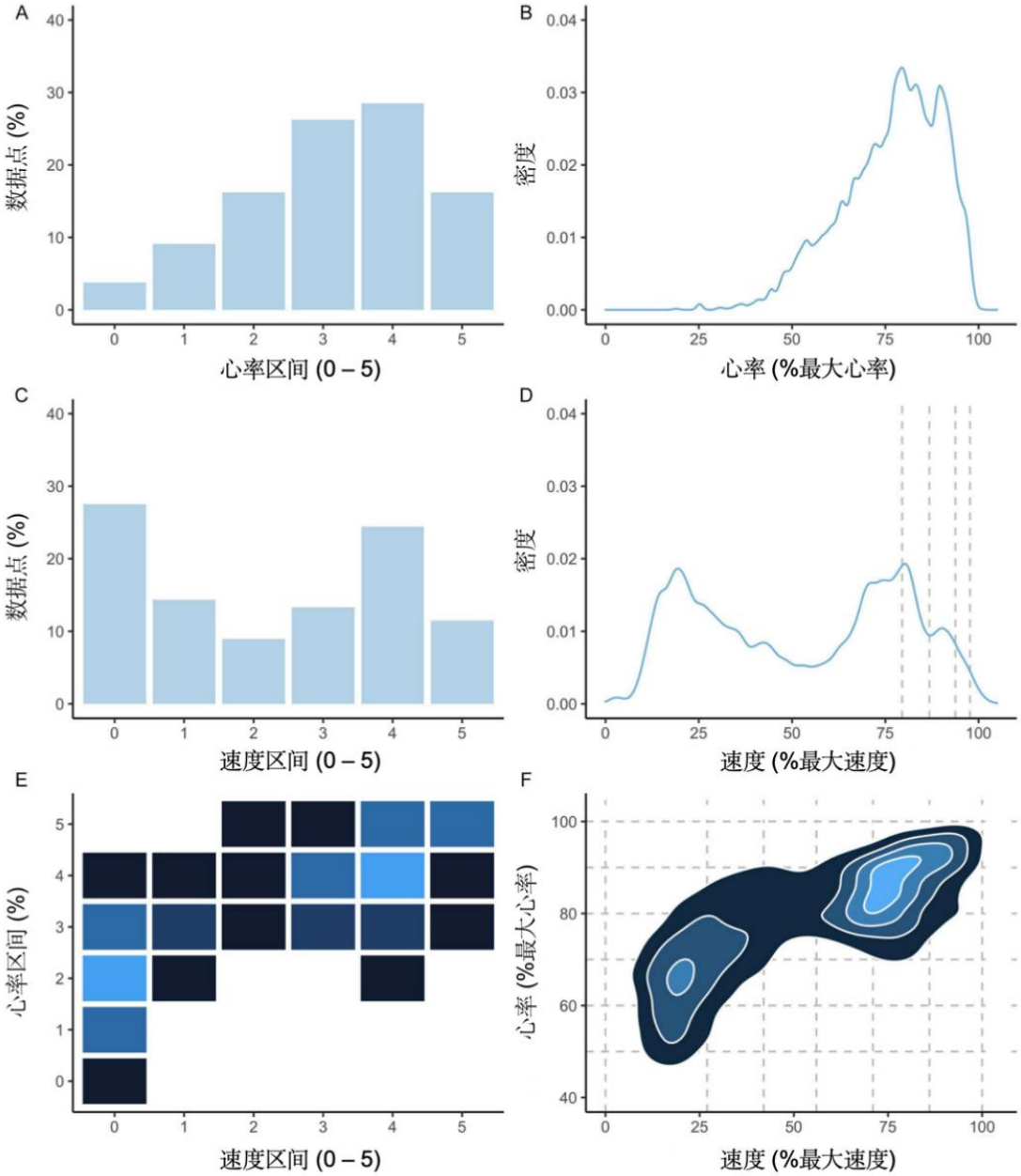

图 1 强化间歇训练课中心率与速度的训练强度分布及其内外负荷耦合

图注：展示了所有强化间歇训练课的心率和速度数据的训练强度分布。数据被分为离散的心率区间（A）和速度区间（C），或者基于最大心率百分比（B）和最大速度百分比（D）的连续核密度估计值（KDE）。通过双变量二维图，可以直观地观察到内部和外部训练负荷分布的直接耦合，无论是在离散训练区间（E）还是连续 KDE（F）中。阴影的深浅表示心率和速度区间或强度组合出现的频率，颜色越浅，表示频率越高。心率和速度区间的边界通过网格线标出。数据点是在滑冰场的每个检测圈（每圈 12 次）通过时收集的。速度的参考值是基于相应赛季全国锦标赛中，与速滑运动员同年龄组别的前 10 名选手的最大速度百分比确定的。这些参考值在（D）中以垂直线的形式显示，分别为 500 m（最大速度的 98%）、1000 m（最大速度的 94%）、1500 m（最大速度的 87%），以及 3000 m /5000 m（最大速度的 80%，女性/男性），均不包括起跑阶段。

二、总结与建议

- 本研究首次引入了二维 KDE 图来可视化内外训练负荷数据的耦合，并评估了其在区分不同训练课程方面的有效性。尽管训练冲量在大多数训练课程类型之间表现出相似性（除耐力课程），但 KDE 揭示了训练负荷之间的显著差异。这是首次通过二维 KDE 图提供特定训练课程负荷的详细描述。通过比较心率和速度的连续 KDE 图，教练员可以更加精准地监测运动员的训练负荷，并依据这些信息优化训练课程的规划和安排。
- 传统的训练负荷评估方法可能不足以充分捕捉训练负荷的复杂性。因此，如何将二维 KDE 图等先进的数据分析工具整合到日常训练监控中，以提升训练计划的个性化和有效性，值得进一步探讨。
- 鉴于不同运动项目的训练负荷特性存在差异，未来研究应探索这些工具在其他运动项目中的适用性，并研究如何根据不同项目的特点调整分析方法。
- 随着可穿戴技术的快速发展，运动员的训练数据变得愈加丰富和细致。如何有效利用这些数据来优化训练负荷的实时监控和调整，将是未来研究的重要方向之一。

编译来源：van der Zwaard S, Otter RTA, Kempe M, et al. Capturing the Complex Relationship Between Internal and External Training Load: A Data-Driven Approach. Int J Sports Physiol Perform. 2023 Apr 20;18(6):634-642.

编译：邓盛基

脑力疲劳：从损害运动表现到增加伤病风险

脑力疲劳（又译为心理/认知疲劳）作为疲劳的一种重要机制，其存在形式与表现方式在运动与训练科学研究中，以及在运动实践的疲劳与恢复领域，越来越受到重视。从实验室中的人为诱导与干预研究，到赛场实践中的真实/模拟任务和长期纵向跟踪，研究结论一致指向了脑力疲劳对运动表现的消极影响。脑力疲劳常见于长时间密集的认知活动后，其主要影响运动员的体能、技术、战术及知觉-认知表现，而对于血乳酸、心率等生理指标的变化并不明显。尤其是在短时间高强度运动和爆发性动作表现中，脑力疲劳的影响相对有限。然而，脑力疲劳是否会增加运动伤病的风险，目前尚不清楚。本研究旨在回顾并更新近十年脑力疲劳对运动表现的影响情况，并基于此探讨其与运动伤病之间的关系，以指导相关科研与实践。

一、 研究结果

- 脑力疲劳会损害耐力表现，表现为力竭运动的完成时间和距离上的缩短，对于最大力量、爆发力、最大输出功率等无氧表现影响有限。
- 脑力疲劳损害技/战术表现，大多数是技术动作或者专项运动测试/任务准度的下降，而 43%的研究也指出其会降低动作/任务的完成速度。
- 脑力疲劳不会影响外周的能量代谢和心肺功能，比如血乳酸和心率指标。
- 运动员耐力下降和完成耐力任务后自我评价的主观疲劳度增加均与脑力疲劳有关，而对于该运动的动机水平几乎不变。
- 脑力疲劳对于平衡控制能力的损害，可能源于注意力受损、恢复步长减少、躯干屈曲增大、神经肌肉激活延迟，增大受伤和持续受伤的风险。
- 脑力疲劳对准确性、反应速度、决策能力、注意力、利用环境信息的分析能力等均有消极影响，可能进一步导致动作失误率增加，预判与执行动作时机不当，战术策略选择不佳，导致更高的伤病风险。

- 脑力疲劳导致主观疲劳度的增加，会导致内负荷增高，不断累积的训练/比赛活动，使得受伤的风险增高。

二、总结与思考

- 脑力疲劳对表现的影响需要摆脱实验室环境下电脑任务的急性干预和表征，寻找更多来自赛场实践的证据，通过模拟运动任务，还原真实比赛情境，以及主客观多指标纵向监控，更长时间地跨越不同运动训练/比赛与生活的各环节，个体化地监控，支撑研究向实践更好地转化。

- 各维度的疲劳监控指标数据分析也可以与伤病发生时间、伤病发生率、伤病恢复时长等一系列指标进行合并，并结合比赛数据分析，回溯性地找到疲劳-表现-伤病之间的联系，最终可以实现全面评估和科学预测，降低受伤风险，科学恢复并重返赛场。

- 伤病发生和恢复过程不光是肌肉、骨骼、技术动作执行等身体层面的，更加是脑部知觉认知的，情绪与心理状态的。在监控运动员赛季的疲劳累积、伤病发生情况、恢复期的身心变化情况，需要增加知觉认知层面的判断，即首先重视运动员的主观疲劳感受和心理活动变化，拓展利用目前脑部研究的一些设备比如眼动、脑电、脑磁，和一些可行的指标，比如注意力焦点、认知决策速度、反应速度、任务准确性、反应抑制能力、特定脑区的活跃情况等，而并非仅仅依赖传统的生理生化指标，完善疲劳-恢复-伤病-重返赛场的管控与判断依据。

编译来源：Schampheleer E, Roelands B. Mental Fatigue in Sport-From Impaired Performance to Increased Injury Risk. Int J Sports Physiol Perform. 2024 Aug 9;19(10):1158-1166.

编译：卞超

竞赛策略

世界级 200 米自由泳运动员比赛策略的纵向分析：个案研究

游泳比赛中，配速策略是运动员赢得比赛的关键因素。运动员不仅需要在游泳阶段通过划频和划长来精确控制速度，还需高效完成起跳、转身等非游泳阶段。尽管现有文献多集中于比赛的平均速度和分段速度分析，但关于运动员在不同比赛条件下如何管理速度、划频和划长的纵向分析仍较为匮乏。为此，本研究基于 8 年内 50 场 200 米自由泳比赛的数据，运用聚类分析探讨了一名世界级女子自由泳运动员的比赛管理策略，旨在验证其是否始终采用同一种比赛策略，或是根据比赛情境（如比赛级别或类型）灵活调整策略。

一、主要发现

顶尖运动员的成功不仅依赖于单一策略，还源于其能够灵活适应比赛情境，并在不同比赛中应用两种不同的配速策略：

1. **策略一：快速起步，速度逐渐下降**
   - 运动员在比赛初期以较快速度起步；
   - 随后，速度在每一圈逐渐下降；
   - 划频在前两圈显著下降，之后保持稳定；
   - 该策略在国际比赛中使用较多，且运动员之间的成绩差距较大。

2. **策略二：慢速起步，均匀速度管理**
   - 运动员起步速度较慢，但随着比赛的推进，速度保持相对稳定；
   - 划频逐渐增加，划长则保持不变；
   - 该策略更多应用于国内比赛，且运动员之间的成绩差距较小。

尽管两种策略在表现上有所不同，但其均能带来相似的高水平比赛成绩（国际泳联评分接近）。这表明运动员能够根据比赛的难度和竞争对手的水平灵活调整配速策略，以实现最佳表现。

二、总结与实践建议

- 顶级运动员并不依赖于某一种“理想”的配速策略，而是展示了根据不同比赛情境或需求（如比赛类型、竞争水平）灵活调整策略的能力。这种灵活性使她们能够在面对不同比赛难度和竞争对手时，成功应对挑战并管理比赛中的逆境。
- 教练员应帮助运动员针对不同的比赛类型、对手水平和比赛环境，量身定制不同的配速管理方案。在高水平的国际赛事中，可能更适合使用快速起步，逐渐降速的策略，而在国内比赛或难度较低的赛事中，则可以采用稳定速度管理的策略。教练员应根据比赛的具体情况为运动员提供明确的指导。
- 教练员和科研人员不仅要关注速度管理，还应重点考虑比赛级别、比赛类型和逆境处理等外部因素对运动员比赛管理的影响。通过分析这些因素，教练员可以帮助运动员更好地应对比赛中的挑战，并进一步优化表现。
- 在日常训练中，教练员应引入逆境管理的模拟情境，例如让运动员在比赛过程中遇到落后或比赛节奏被打乱的情况，帮助他们找到应对逆境的有效策略。这种训练将有助于运动员在实际比赛中具备更加灵活的应对能力。
- 科研团队应运用聚类分析等先进数据分析工具，深入分析运动员的比赛数据，并以可视化或简明的方式将关键发现呈现给教练员，帮助其决策。通过这种方式，教练员能够及时了解运动员在不同策略下的表现模式，进而优化训练计划，增强比赛的针对性和有效性。

编译来源：Loisel C, Pla R, Seifert L. Longitudinal Analysis of Race-Management Strategies in a World-Class 200-m Freestyle Swimmer: A Case Study. Int J Sports Physiol Perform. 2024 Oct 1:1-6.

编译：殷明越

奥运会与残奥会治疗性用药豁免的普遍性—基于 2016 至 2022 数据的分析

体育应秉持公平竞争、包容、诚信和促进健康的理念，但部分运动员曾试图通过使用兴奋剂获得不正当的优势。为保障运动员因合理医疗需求在比赛中能接受治疗，世界反兴奋剂机构（WADA）制定了治疗用药豁免（TUE）制度。然而，该制度引发了部分关于透明度和潜在滥用的担忧。本文旨在描述四届奥运会和四届残奥会中运动员 TUE 的患病率，并展示与 TUE 相关的违禁物质和方法类别。TUE 患病率定义为在每场比赛中拥有有效 TUE 的运动员占所有参赛运动员的比例。本文对违禁物质和方法进行分类，并按比例描述其在各场比赛中的使用情况。研究通过横断面观察法，采用描述性统计，对来自反兴奋剂管理系统的奥运会和残奥会运动员的 TUE 数据进行了分析，涵盖了 2016 年至 2022 年间的两届冬季奥运会、两届夏季奥运会、两届冬季残奥会和两届夏季残奥会。

一、研究结果

1. TUE 总体患病率

- 在四届奥运会中，共有 28,583 名运动员参赛，TUE 总患病率为 0.90%。其中里约奥运会患病率最高（1.06%），东京奥运会最低（0.74%）；
- 在四届残奥会中，共有 9,852 名运动员参赛，TUE 总患病率为 2.76%，其中平昌残奥会患病率最高（4.06%），东京残奥会最低（2.19%）。

2.与 TUE 相关的违禁物质或方法

- 奥运会：夏季奥运会中，里约的糖皮质激素使用最为常见（0.50%），东京则以兴奋剂使用最为突出（0.39%）。冬季奥运会中，平昌以兴奋剂的使用率较高，北京则以激素及代谢调节剂为主；
- 残奥会：夏季残奥会中，里约的激素及代谢调节剂（0.67%）和利尿剂（0.79%）使用较多，东京以兴奋剂为主（0.75%）。冬季残奥会平昌和北京的麻醉品使用较为普遍。

3.与 TUE 相关的医疗条件

- 不同违禁物质主要用于不同的医疗条件，例如多数麻醉品用于镇痛，激素及代谢调节剂多用于治疗糖尿病，而兴奋剂则用于治疗注意力缺陷多动障碍（ADHD）和过敏反应等。

二、讨论与分析

1. TUE 患病率

- 奥运会运动员 TUE 平均患病率为 0.90%，且未发现高增强体能潜力的物质用于 TUE，表明 TUE 过程未被用于规避反兴奋剂规定。残奥会运动员 TUE 患病率为 2.76%，高于奥运会，符合预期，因为残奥运动员复杂医疗状况更多。

- 里约和东京奥运会及残奥会之间 TUE 患病率下降，可能归因于教育和意识提高、ISTUE 要求变化、医疗处方实践差异、新冠疫情及安全措施等因素。

2.违禁物质评估

- 奥运会和残奥会中不同届次的 TUE 相关违禁物质和方法存在差异，可能受国家特定限制和新冠疫情影响。例如，奥运会中兴奋剂比例上升，糖皮质激素和麻醉品比例下降；残奥会中激素及代谢调节剂、利尿剂和麻醉品比例下降，大麻素比例上升。

三、总结

- TUE 制度是全球体育反兴奋剂体系的重要组成部分，旨在确保有合法医疗需求的运动员能在比赛期间合理使用某些被禁物质或方法进行治疗。本研究显示，奥运会和残奥会中运动员的 TUE 患病率分别低于 1%和 3%，不同医疗条件下的相关物质和方法使用存在差异，但未出现明显滥用情况。这为教练员和运动员正确理解 TUE 制度提供了参考，帮助避免误解 TUE 为获取不正当竞争优势的手段。

- 作为团队领导者，教练员应加强对运动员公平竞争和体育道德的教育，强调 TUE 制度的实际应用，指导运动员合理使用该制度，避免违规行为，确保体育竞赛的公平性和纯洁性。通过正确引导运动员使用 TUE，团队不仅能维护自身形象和声誉，还能在赛场上赢得尊重，促进长期可持续发展与成功。

编译来源：Vernec A, Healy D, Banon T,et al. Prevalence of therapeutic use exemptions at the Olympic Games and Paralympic Games: an analysis of data from 2016 to 2022. Br J Sports Med. 2024 Sep 4;58(17):966-972.

编译：戴思雨

迈向洛杉矶：精英赛艇运动员 2000 米和 1500 米水上比赛最大功率输出和配速策略的比较

世界赛艇联合会提议将2028年洛杉矶奥运会赛艇比赛距离从2000米缩短至1500米，这一改变对运动员的生理、技术和战术提出了新的挑战。赛艇运动表现高度依赖有氧和无氧代谢能力。此前研究显示，不同距离的赛艇比赛在功率输出和配速策略上可能存在差异。2000 米测功仪比赛中无氧代谢的占比约为 15%。在对比 1500 米和 2000 米测功仪试验时，研究发现 1500 米的平均功率输出增加了 5%，无氧代谢占比也增加了 5%。然而，该研究主要集中在青少年赛艇运动员，年龄限制较为明显，并且实验室环境无法完全模拟真实比赛环境中的复杂因素。在水上比赛中，量化各项指标面临挑战，尽管船速可以进行一定的评估，但无法反映运动员个体强度的分布。相比之下，船载仪器可以更好地评估配速策略。在 2000 米比赛中，运动员通常采用反 J 型配速策略，具体表现为快速启动，中间强度降低，最后冲刺。短距离比赛中的平缓配速策略也被证明是成功的，但目前尚未有同一船组和船级在不同比赛距离内的水上配速策略的直接比较。本研究旨在比较精英赛艇运动员在1500米和2000米水上比赛中的功率输出和配速策略。

一、结果

- 比赛时间：1500 米比赛的完成时间比 2000 米平均缩短了 90.4 秒，减少了 24.7%；
- 功率输出：不同距离之间的平均功率输出无显著差异。1500 米的功率输出比 2000 米高出 1.3%，在第三个 500 米分段，1500 米比赛的平均功率输出比 2000 米显著高出 6.3%；
- 配速指数：2000 米比赛的前五个 100 米分段配速指数显著高于 1500 米，而在最后三个 100 米分段（1200-1500 米），1500 米比赛的配速指数显著高于 2000 米。按绝对距离比较，第一个 500 米分段的配速指数在 1500 米比赛中显著低于 2000 米，而在第三个 500 米分段则显著高于 2000 米（见图 1）；

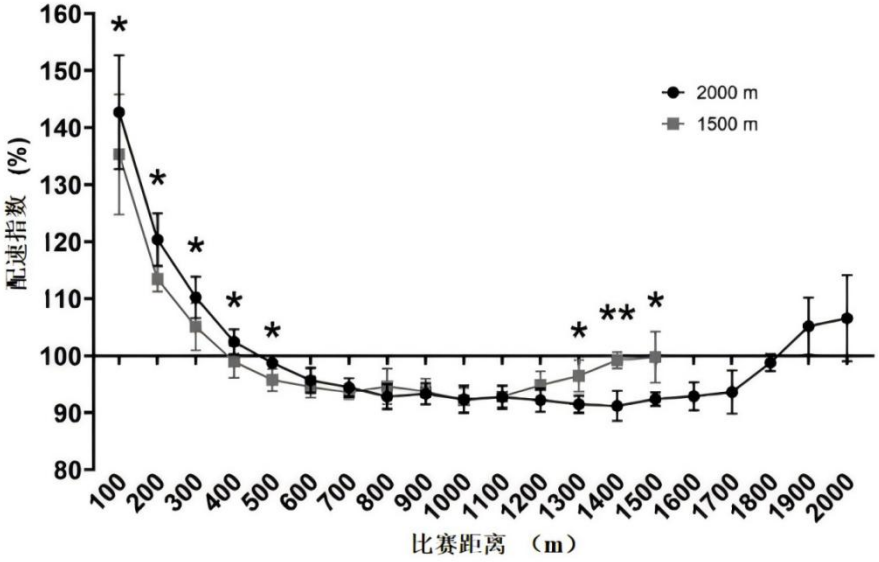

图 1　2000 米和 1500 米比赛中每 100 米分段的配速指数的比较

- 配速稳定性：2000 米比赛的配速稳定性（12.9%）显著高于 1500 米（11.5%）；
- 负相关关系：1500 米比赛的配速稳定性与从 2000 米到 1500 米的平均功率输出百分比变化之间存在显著的负相关关系。

二、结论与启发

- 功率输出和配速策略：精英赛艇运动员在 1500 米和 2000 米比赛中的平均功率输出和百分比预测速度无显著差异，两者的配速策略也相似。然而，1500 米比赛在起始和结束阶段的相对强度较低，且配速稳定性较小。
- 策略调整建议：为在 1500 米比赛中获得更好的成绩，运动员可能需要采用更加均匀的配速策略。更平坦的配速能够帮助运动员在 1500 米比赛中提升平均功率输出。未来的训练应侧重于帮助运动员适应较短距离比赛中的配速变化，优化其体能分配，尤其是在冲刺阶段。

编译来源：Astridge DJ, Peeling P, Goods PSR, et al. Powering Toward Los Angeles: Comparing Power Output and Pacing Approach Between Maximal 2000- and 1500-m On-Water Racing in Elite Rowers. Int J Sports Physiol Perform. 2024 Aug 21:1-8.

编译：王嘉鑫

体育分析中的 AI 应用与前沿算法

结合可穿戴设备、无接触传感器和机器学习算法解决现实世界中的问题是一个热门研究方向。为帮助理解该领域的整体发展，本研究聚焦于该方向在体育领域的交叉应用，旨在综述当前前沿论文中的机器学习算法、方法和假设，并指出存在的问题与挑战。首先，本文将相关文献划分为三个主要研究领域：可穿戴传感器、计算机视觉、基于无线和移动设备的应用。接着，针对每个领域，本文详细展示了可用于实时体育分析的可部署系统。最后，本文探讨了这些可部署系统背后的机器学习算法，包括统计学习、深度学习和强化学习。

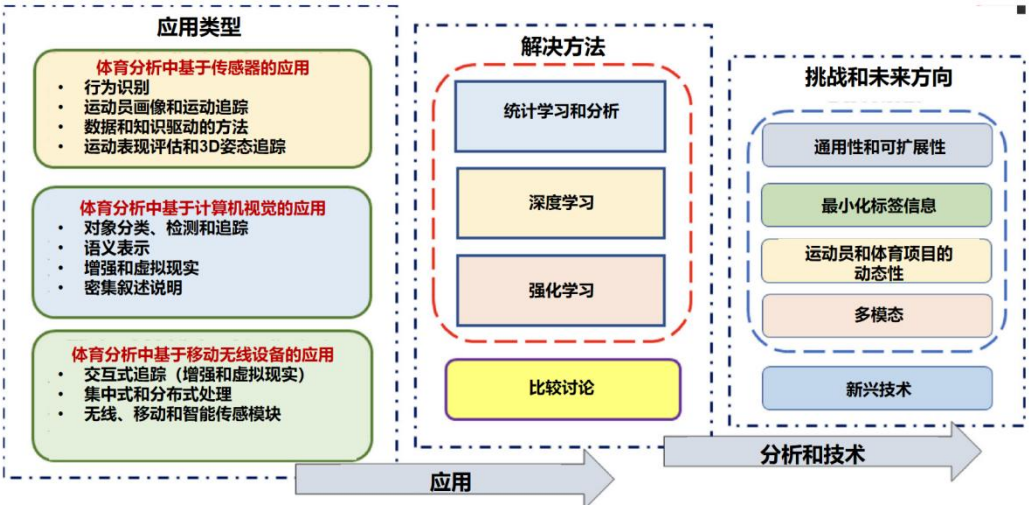

图 1 体育分析中的 AI 应用、前沿算法与面临挑战

一、体育分析中的 AI 应用类型

1、基于传感器的应用

近年来，研究者成功将实时推理分析融入物联网可穿戴传感器。从原始传感器数据中推断出信息，对于体育和健康追踪系统来说非常重要。研究者综合实时惯性传感单元（IMU）信号处理技术和卷积神经网络（CNN）、长短期记忆网络（LSTM）等机器学习算法，识别体育中的各种行为模式（如发球、挥拍等）。然而，该应用领域面临四个固有挑战，是限制该领域体育分析框架整体有效性、普遍性和可扩展性的重要因素：

- 行为独特性。每个人都有自己独特的动作特征，使得信息推理变得复杂。开发针对某一特定场景的算法是简单的，但是拓展算法的适用范围则充满挑战。
- 个体差异性。研究者一直试图找到解决个人行为画像、个体体质差异（如身体条件、耐力、速度、移动灵敏度）等问题的方法。
- 数据多模态。数据采集具有多用户、多设备、多模式、多身体部位的特征，数据处理涉及文本、图像、惯性传感单元、音频等不同种类的数据。
- 数据真实性。数据真实性是开发数据驱动的应用过程中的一大挑战，真实性保障也是信息/智能系统的重要功能组件之一。

2、基于计算机视觉的应用

基于计算机视觉的应用是又一个急速发展的研究领域，以更加复杂的方法解决更丰富的体育分析问题，为研究运动员表现、学习和识别不同比赛动作、语义学表示等问题提供了全新方向。该应用领域主要有三个热点发展方向：

- 热成像技术。使用热成像相机进行拍摄，实时分析运动员的比赛动态，如追踪肢体运动、标记出压力最大的部位（基于热力图）。肢体追踪能够用于运动员的肢体运动捕捉与评估，帮助提升运动技巧；压力识别则广泛应用于生物医学研究，例如伤病诊断、伤病风险预测。
- 深度学习技术。深度学习算法大大提升了体育分析从视频中识别并捕捉重要洞察的能力，如肢体移动、技术动作识别、赛场事件、比赛战术、技战术风格、运动员特征等，为从业者提供研究语义知识、减少运动伤病、分析竞技表现的前沿方法。目前该领域已有海量公共数据集，使深度学习算法成为替代传统计算机视觉算法的更好选项，能够用于解决对象分类、对象追踪、对象分割和对象检测等体育视频分析中的关键问题和挑战。
- 增强/虚拟现实技术。基于计算机视觉应用，开发增强/虚拟现实训练游戏，创造特定训练场景、模拟比赛环境，以帮助运动员针对性训练备战。

3、基于移动和无线设备的应用

基于无线和移动设备的应用是一个新兴的研究方向，一般而言此类系统由四部分组成（如图 1 所示）——用户界面、计算组件、网络连接和物理处理器/传感器（包括无线传感、嵌入式传感），从而实现实时物理运动追踪、传感和评估。此类系统目前已广为教练员和运动员所熟知，Catapult、Polar 等个人/团队可穿戴系统，配合智能球体、球棒、球拍等无线设备，为运动员负荷管理、球队技战术分析、训练比赛计划制定等方面提供支撑。

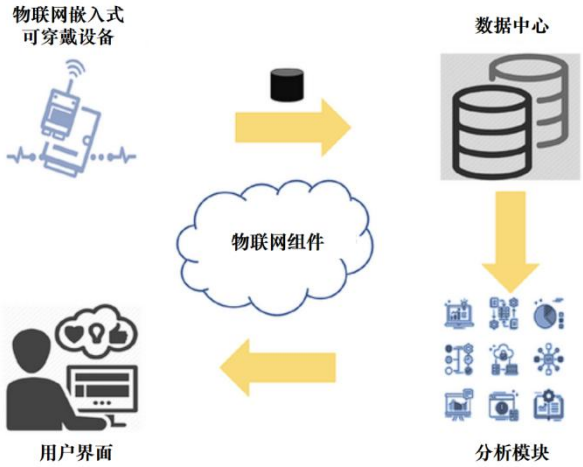

图 2 基于无线和移动设备的系统示意图

二、体育分析中的新兴算法

1、统计学习

统计学习是体育分析和体育大数据领域的重点方向之一。方差、熵值、最小/最大值、标准差等计算方法对于个人和团队项目的运动表现评估与管理十分有用。比如，方差和标准差能够被用来测量和预估身体姿态、技战术风格、跑动速度等指标，用于识别每个人最薄弱的环节。统计学习建立起运动表现和分析工具之间的桥梁，最常使用的统计分析方法是：均值/中位数/众数分析、样本量测定、假设检验等。当前，教练员和数据分析师还是更倾向于使用传统统计学分析去评估运动员的表现。不过，也有研究开始将机器学习算法和数学推理结合起来，建立更复杂的数据驱动模型，以尝试建立运动员画像，强化运动表现分析。本研究推荐了两本体育统计分析的书籍，如图 2 所示。

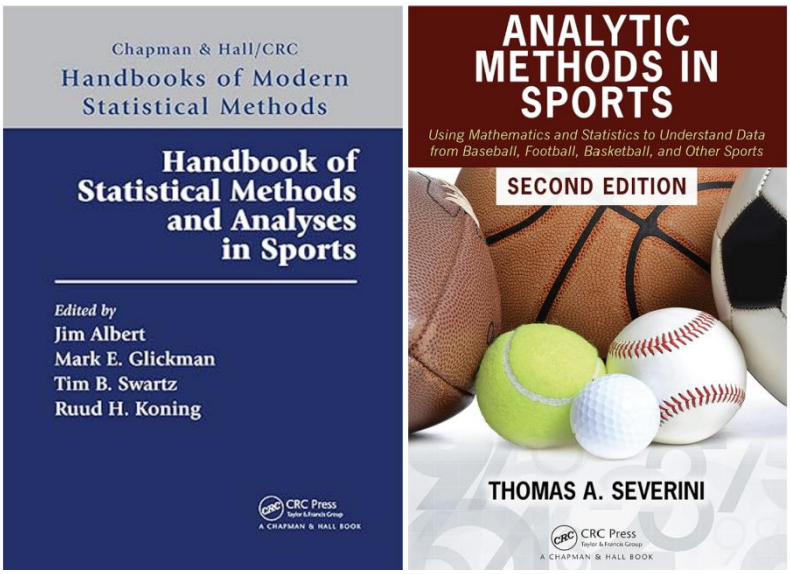

图 3 基于统计学习的体育分析书籍

2、深度学习

相较于传统的统计学习分析方法，深度学习之所以正逐渐收获更多欢迎，是因为它更具普适性和可扩展性，尤其复杂的、涉及诸多因素的运动表现分析问题。通过非线性激活函数、平移不变函数等机器学习算法，数据特征能够被更好地抽取出来。此外，传统的统计学习模型开发过程中依赖基于专家经验进行特征提取和选择，深度学习方法则能够有效规避该问题。

深度学习算法已广泛应用于体育分析领域，尤其是体育视频分析，如卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）、长短期记忆网络（LSTM）、门控循环单元（GRU）等。比如，基于 CNN 检测和追踪网球球员并对挥拍的技术动作进行分类；又比如，基于对反应速度、移动速度和脚步移动的追踪，构建数据驱动的羽毛球手能力评估模型；再比如，基于 R-CNN 检测赛艇运动的水位线；等等。

3、强化学习

强化学习时一种仍旧在进化的机器学习技术，智能体（agent）针对交互式环境（environment）中的某一状态（state）采取行动（action），以获得奖励（reward）。智能体通过不断“试错”进行学习，以获取最大奖励为目标，而智能体“试错”探索的策略有两种，一是利用已知环境信息获得最大奖励（exploitation，利用），二是挖掘更多环境信息（exploration，探索）。

强化学习为体育分析领域的研究者带来了全新方向。比如，构建深度-强化学习模型以研究 NBA 比赛中的包夹战术使用，旨在最小化进攻方获得的奖励/得分期望；再比如，构建“行为-价值”Q 学习模型以评估不同比赛场景下运动员行为所产生的价值，并在此基础上提出运动员比赛影响力计算指标。

最后，本文提供了目前体育分析的开源数据集（表 1）与用于体育分析的产业化智能无线设备和移动应用举例（表 2）供读者参考。

表 1 体育分析的开源数据集举例

发布作者	数据集描述	所属类型
I. Ghosh, Ramamurthy, Chakma, et al. (2020)	BAR 数据集：收集了 11 名被试羽毛球运动员的 12 种不同发球，囊括肢体（手、手掌、左腿、右腿）的细微运动。	传感器
Barshan and Yüksek (2014)	DSADS 数据集：收集日常生活中 19 种体育、活动的数据	传感器
Kadu and Kuo (2014)	Mocap 数据集：113 名被试执行 1095 种独特活动的动作捕捉数据，活动类型包括人与人互动、人与环境互动、移动、身体活动和体育运动、情景反应	计算机视觉
Giancola et al. (2018)	SoccerNet 数据集：涵盖了 500 场完整的足球比赛（跨越 2014~2017 三个赛季），自动解析了三类主要赛场事件（进球、红黄牌、换人）并进行了 6637 处时间标注	计算机视觉
Heilbron et al. (2015)	AcitivityNet 数据集：大规模的人类活动基准视频数据集，其中涵盖 203 种活动类型和 849 个小时的视频时长	计算机视觉
De Campos et al. (2011)	用于体育视频自动标注的自适应认知数据集：智能手指和手势追踪系统，用于追踪复杂的肢体运动	传感器
Soomro et al. (2012)	体育动作数据集：包括跳水、高尔夫挥杆、踢球、举重、骑马、跑步、滑板、荡秋千、行走和摆动侧	计算机视觉
Andriluka et al. (2014)	MPII 姿态数据集：21 个大类的 823 种不同活动类型，包括骑行、体育、跳舞、跑步、园艺、宗教活动等等	计算机视觉
Gourgari et al. (2013)	THETIS 数据集：囊括 12 种不同的网球击球方式（双手反手、单手反手、反手切削、反手截击、正手平击、正手开放式、正手切削、正手截击、平击发球、上旋发球、侧旋发球、高压球），来自 55 名网球选手（31 位业余爱好者、24 位资深选手）	计算机视觉
Bloom et al. (2012)	G3D 数据集：10 位被试，执行 20 种动作（高尔夫挥杆、左冲拳、右冲拳、右踢腿、左踢腿、防御、反手网球挥拍、网球发球、正手网球挥拍、扔出保龄球、走路、跑步、跳跃、攀爬、下蹲、驾驶汽车、挥手、瞄准射击、拍打、鼓掌）	计算机视觉
Zalluhoglu and Ikizler-Cinbis (2020)	C-Sports 数据集：囊括 11 种运动（篮球、美式橄榄球、足球、手球、英式橄榄球、爱尔兰式曲棍球、躲避球、水球、冰球、长曲棍球、拍球）的 5 类情境（传球、进攻、聚集、	传感器

出局、离散）

表 2 用于体育分析的产业化智能无线设备和移动应用举例

产品名称	应用特征	体育项目
PowerBat 智能板球贴片 (2021)	测量击球力量（包括速度、质量和旋转）和击球位置	板球（无线设备）
阿迪达斯 MiCoach 智能足球(2021)	通过测量球的飞行轨迹、速度、旋转，帮助提升踢球技术表现	足球（无线设备）
颂拓智能手表 (2021)	户外特征数据包括：GPS、天气、高度计；运动追踪数据包括：心率、速度/距离，支持游泳、跑步、骑车等多种运动追踪（记录消耗卡路里、步数统计等）	适用多项运动
三星 Gear Sport SM-R600 智能运动手表(2021)	步数统计、锻炼追踪、心率追踪、水中运动追踪	适用多种运动
Vibration (2021)	用于研究球员投中和投丢时的投篮角度和轨迹，以提升球员投射表现	篮球（无线设备）
Polar M460 (2021)	心率计、气压计、GPS 定位、Strava 实时路线显示、实时训练压力评分、智能教练	骑行（无线设备）
小米智能手环 5 (2021)	追踪 11 种运动模式，还包括身体锻炼、压力监测、呼吸训练和睡眠监测等功能	适用多种运动
PARC 智能牙套 (2021)	追踪乳酸水平，提升运动员训练课的表现	体育运动医学
酷浪小雨 2.0 (2021)	追踪羽毛球训练课中的手部运动，包括 6 种击球方式：高球、挑球、杀球、平挡、平抽、搓球。提供 3D 球员追踪和动作还原功能。	羽毛球（无线设备）
Zepp 智能棒球棍 (2021)	测量和评估棒球球员表现，包括下述参数指标：击球瞬间球速、最大挥棒速度、击球的攻角角度和垂直角度	棒球（无线设备）

编译来源：Ghosh, I., Ramamurthy, S.R., Chakma, A., & Roy, N. (2023). Sports analytics review: Artificial intelligence applications, emerging technologies, and algorithmic perspective. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 13.

编译：李晨曦

职业足球中受伤风险时间与重返赛场的时间曲线

职业足球运动员在重返训练和比赛后的几周内，受伤风险明显增加。然而，关于重返赛场后受伤风险的具体时间过程（即风险曲线）及其影响因素，研究仍然较为匮乏。这一知识空白可能是由于短时间间隔内计算的瞬时风险存在波动性，从而阻碍了重返赛场的决策以及赛后球员的管理。本研究旨在描绘男子职业足球运动员重返赛场后因非接触性损伤导致训练或比赛缺席的时间风险曲线，探讨损伤严重程度及球员位置的影响。研究收集了 2014/15 至 2017/18 四个赛季德国足球甲级联赛的伤病数据，采用事件发生时间分析法绘制重返赛场后非接触性损伤的时间风险曲线，并通过 Kaplan-Meier 生存函数计算累积风险函数，进而推导出连续风险函数。

一、结果

1. 后续损伤的流行病学：

- 在四个赛季中，共有 822 名球员受伤 4065 次，其中 646 名球员的后续伤病总计为 3143 次。77%（n = 2406）的后续伤病发生在重返赛场后的前 100 天，83%（n = 1343）的观察到的后续伤病也集中在此期间。
- 随着时间推移，处于风险中的球员数量逐渐减少。后续损伤的发生模式与风险曲线类似，但存在一定波动。
- 在重返赛场后的所有后续损伤中，轻微、轻度、中度和重度损伤分别占 38.9%、20.2%、24.5%和 16.3%。按球员位置分类，141 名前锋共经历 551 次后续伤病（其中 278 次为观察到的），272 名中场球员共经历 1406 次后续伤病（其中 696 次为观察到的），236 名后卫共经历 1051 次后续伤病（其中 582 次为观察到的），41 名守门员共经历 135 次后续伤病（其中 67 次为观察到的）。

2. 后续损伤风险（风险曲线）：

- 重返赛场时，非接触性后续损伤的风险约为基线风险的两倍。在接下来的 25 天内，非接触性损伤风险维持在较高水平，之后逐渐趋于平稳。分析损伤频率与风险的相对变化显示，随时间推移，风险波动较大。
- 轻微和轻度损伤风险呈现“指数”增长趋势，而中度损伤风险在重返赛场的前 5 天略有增加。对于重度损伤的运动员，前 10 天内风险显著增加，随后维持在相对较高水平。
- 在重返赛场的前 4 周，守门员、中场和后卫的非接触性损伤风险逐渐下降，其中守门员的损伤风险下降最为显著，前两周内下降约 75%。相较之下，前锋的再受伤风险略有增加，并在重返赛场后的不同时间段有所波动。

二、结论

连续风险曲线描绘了职业足球运动员在重返赛场后非接触性伤病的时间风险轨迹，显示在 4 周内风险逐渐下降至基线水平。然而，对于严重损伤以及前锋球员而言，风险峰值出现时间有所延迟。该“一个月内的额外伤病风险衰减期”可为重返赛场决策提供重要依据，同时也为重返赛场后球员管理提供有力参考。该研究的发现为流行病学研究中的随访期设计提供了宝贵的见解，帮助教练员和球队管理人员更科学地应对球员重返赛场后的伤病风险。

编译来源：Zhang G, Brink M, Aus der Fünten K, et al. The Time Course of Injury Risk After Return-to-Play in Professional Football (Soccer). Sports Med. 2024 Sep 14.

编译：陶美玲

冷疗在治疗运动中软组织损伤的应用

在运动实践中，医护人员经常使用冷疗来降低受伤组织的温度，以减轻炎症、缓解疼痛，并防止二次伤害。尽管该方法在实践中得到广泛应用，但目前仅有少量人体研究支持冷疗在治疗软组织损伤及促进组织再生中的积极作用。因此，本研究通过整合现有文献，重点探讨冷疗对组织损伤的治疗效果。结果表明，只有一项人体实验涉及冷疗，大多数研究（26 项）集中于动物实验。

一、结果

1.冷疗对肌肉损伤：

- 急性肌肉损伤（占 49%）是运动中最常见的损伤类型之一。
- 然而，仅有一项人体实验探讨了冷疗对肌肉损伤的影响。该研究针对腓肠肌拉伤，未发现冷疗对疼痛缓解、肌肉力量恢复及损伤愈合时间有显著作用。
- 相反，动物实验发现，冷疗可减少肌肉损伤后的血流量，缩小微静脉血管直径，降低红细胞沉降速率，并在受损后 4-6 小时内有效减轻肿胀程度。这表明，冷疗在动物实验中能够有效缓解损伤早期的肿胀，并抑制血栓形成。

2.冷疗对肌腱和韧带：

- 目前并没有针对冷疗在肌腱和韧带恢复中的人体实验。
- 然而，一些研究表明，冷疗可以减轻患者的主观疼痛感，进而减少止痛药的使用。
- 一项动物实验表明，在受伤后进行 30 分钟的冷疗可在最初的 3.5 小时内显著降低髌腱（46%）和跟腱（51%）中的前列腺素（PGE）水平，从而达到减轻炎症和疼痛的效果。

二、建议

- 冷疗可用于减轻损伤或术后早期的疼痛，并可能有助于后续的康复治疗。然而，目前的大多数研究基于动物实验，冷疗在人类中的效果尚需进一步验证。
- 虽然在急性损伤后短期冷疗可能有助于缓解疼痛，但动物实验提示，持续使用冷疗可能会对组织的再生过程产生负面影响。
- 根据现有研究，建议在使用冷疗治疗组织损伤时，每天进行 2-3 次冷疗，每次持续 15-20 分钟，持续 4 天左右。保持受伤肌肉温度在 5°C－15°C 可能有助于软组织的恢复。

编译来源：Racinais S, Dablainville V, Rousse Y, et al. Cryotherapy for treating soft tissue injuries in sport medicine: a critical review. Br J Sports Med. 2024 Sep 5:bjsports-2024-108304.

编译：邓鉴峰

视觉表现与运动：范围综述

运动表现对视觉系统提出了极高的要求。几乎所有运动项目都要求运动员能够快速、精准地观察并作出反应。随着科学技术的发展，运动视觉作为一个研究领域逐渐兴起，并不断发展。运动视觉的核心原则是：优秀的视觉能力往往是优异运动表现的基础。视觉训练计划的目标是通过三种主要途径来提高运动表现：改善感官输入的检测能力、优化感官信息与高级处理的结合，以及增强视觉引导的运动表现。随着时间的推移，可用的训练方法不断丰富。鉴于目前关于视觉在运动表现中作用的研究范围广泛，本文旨在通过整理现有研究主题、描述所使用的方法、并揭示不同运动项目和运动员的调查情况，为进一步研究提供参考。

一、结果

1.完整文献集

- 纳入文献共 667 篇，研究主题涵盖视觉、感知、注意力及相关心理与生理机制。这些研究由 800 多位独立作者完成，但中国学者的参与比例较低。

2.实证类文献集

- 在 547 篇实证研究中，涉及的运动项目包括棒球、足球、篮球、板球、高尔夫、体操和网球等。这些研究主要针对不同竞技水平的运动员，尤其是精英运动员的比例最高。

3.评估研究

- 评估类研究量化了多种视觉能力，包括静态和动态视力、屈光不正、眼优势、对比敏感度等基础视觉能力；还包括眼部运动技能（如注视、扫视和追视）以及视觉-运动控制技能（如眼手协调、眼脚协调）；部分研究还评估了视觉认知能力，如注意力、工作记忆和视觉决策能力。

4.训练研究

- 训练研究中，最常见的干预方式为遮挡训练，接着是频闪视觉训练。其他干预还包括静眼训练、多目标跟踪和视觉识别程序。
- 这些训练干预的效果体现在近距迁移（如反应时间、眼球运动和预测时机）和远距迁移（如击球数据或命中率）等指标的改善上。
- 研究表明，动态视觉技能训练依赖于快速整合认知过程和使用自然工具，从而减少对泛化和远距迁移的依赖。

5.荟萃分析

- 荟萃分析结果显示，专业运动员能够更好地提取和解读与其运动项目相关的视觉信息，从而提高预测能力并增强赛场表现。特定视觉技能在竞技体育中的重要性高于其他领域。

二、总结与建议

- 视觉在运动表现中具有核心作用，相关研究在过去 15 年中增长尤为迅速，研究方法也愈发严谨。然而，仍存在诸多不足之处，例如对训练效果的长期追踪和控制不足。
- 运动员和教练员可以进一步研究视觉能力在不同运动项目和不同竞技水平运动员中的差异，并探索各种视觉训练方法的实际效果和局限性。这将帮助他们根据自身需求选择合适的视觉训练手段，从而提升运动表现。
- 随着运动视觉研究的深入，眼动追踪技术、虚拟现实技术等先进手段在视觉评估与训练中的应用将更加广泛，相关设备和软件的研发也将获得更多支持。这不仅有助于提高运动员的视觉表现，还将为未来的科学研究提供新的思路和工具。

编译来源：Lochhead L, Feng J, Laby DM, et al. Visual Performance and Sports: A Scoping Review. J Sport Exerc Psychol. 2024 May 29;46(4):205-217.

编译：武凡超

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**