

国际竞技体育科技前沿

2026 年 7 月

第 1 期

总 第 1 期

目 录

1.表现特征与决定因素	间歇性团队项目运动中功率-持续时间关系的动态变化	1-3
	不同运动专项精英运动员血清代谢谱特征的初步比较研究	4-6
	精英耐力径赛运动员的生物学与比赛策略特征：系统综述	7-8
	运动成绩决定因素与调节因素：优化精英运动员支持的实用方法	9-11
	加速、减速与侧向切步过程中腓绳肌的力学特征	12-16
2.负荷量化与测试策略	间歇性项目测试——成年运动员训练与表现优化的重要工具：美国运动医学会专家共识声明	17-20
	减速表现评估：方法学与实践考量	21-23
	精英长跑运动员在田径场和跑步机上的血乳酸测试不可互换用于训练处方制定	24-25
3.训练策略与应用效果	抗阻训练作为青少年体能与健康首要身体活动形式的时代已经到来	26-27
	抗阻训练中的速度损失：对同期训练适应的影响	28-30

国家体育总局科教司

国家体育总局体育科学研究所

合编

间歇性团队项目运动中功率-持续时间关系的动态变化

高强度运动表现可由双曲线型的"功率-持续时间关系"来刻画：其功率渐近线称为临界功率（critical power, CP），代表区分"重度"与"极重度"强度域的代谢阈值；曲率常数 W' 则代表 CP 以上可动用的有限做功储备。当功率低于 CP 时，代谢需求主要由氧化磷酸化满足；一旦超过 CP，则需底物水平磷酸化补充供能，导致疲劳代谢物累积、摄氧量升至峰值、 W' 被逐步耗尽直至力竭。 W' 在低于 CP 的恢复期可被重建（ W' REC）。掌握 CP、 W' 与 W' REC 后，即可实时估算 W' 的瞬时余量（ W' BAL），从而预测连续及间歇性高强度运动中的表现。然而， W' BAL 模型的预测效度建立在"CP、 W' 、 W' REC 保持稳定"这一假设之上，而该假设正受到挑战：长时间重度运动可使 CP 下降约 9%、 W' 下降约 20%，一次 3 分钟全力测试即可使 CP 下降约 7%。目前该模型在团队项目中的应用仍缺乏验证。

一、研究目的

本研究旨在：1) 确定 CP、 W' 与 W' REC 是否会因高强度、团队专项化的间歇运动而改变；2) 检验 W' BAL 模型估算 W' 的准确性；3) 探讨在充分休息状态下测得的生理变量（递增负荷测试、3 分钟全力测试）能否解释运动诱发的功率-持续时间关系变化，并考察其与认知功能的关系。

二、研究方法

- **受试者**：13 名有团队项目背景的休闲活跃运动员（9 男 4 女）。
- **测试设计**：CP、 W' 、 W' REC 通过"重复全力冲刺测试（RAOT）"测定，该测试由 3 分钟全力测试（3MT）+90 秒恢复+2 分钟全力测试（2MT）组成。RAOT 分别在三种条件下进行：充分休息（对照，C-RAOT）、40 分钟间歇冲刺测试（40-IST）后即刻、以及 80 分钟间歇冲刺测试（80-IST）后即刻。
- **间歇冲刺方案（IST）**：基于国际曲棍球比赛动作分析设计，以 2 分钟为一区块（6 秒全力冲刺+100 秒主动恢复+14 秒被动恢复），其中两次区块改为 5×4 秒全力冲刺；40-IST 代表半场，80-IST 由两个 40 分钟半

场加 15 分钟被动"中场"构成。测试中同步进行 Stroop 与决策-反应认知任务。

- **关键指标：**CP=3MT 最后 30 秒平均功率； $W' = CP$ 以上做功； $W'_{REC} = 2MT$ 中 CP 以上做功除以恢复时长。数据采用重复测量方差分析、配对 t 检验及皮尔逊相关分析处理。

三、主要结果

- **临界功率 (CP) 不受影响：**40-IST 后 (222 ± 57 W) 与 80-IST 后 (213 ± 49 W) 的 CP 与对照 (222 ± 52 W) 均无显著差异 ($P > 0.05$)。
- **W' 恢复速率 (W'_{REC}) 不受影响：**40-IST 后 (0.07 ± 0.02 kJ $\cdot$ s⁻²) 与 80-IST 后 (0.07 ± 0.02) 相比对照 (0.08 ± 0.02) 均无显著变化 ($P > 0.05$)。
- **W' 显著下降：**相比对照 (13.5 ± 4.0 kJ)， W' 在 40-IST 后降至 10.1 ± 4.0 kJ、80-IST 后降至 9.1 ± 3.5 kJ (均 $p < 0.05$)。
- **W' BAL 模型的准确性存在时段差异：**40-IST 后，模型预测值 (10.9 ± 2.4 kJ) 与实测 W' 无显著差异；但 80-IST 后，模型高估了 W' (预测 10.7 ± 2.6 kJ, $p < 0.05$)。 W' 与 W' BAL 的相关性在 40-IST 后为 $r = 0.62$ ，80-IST 后为 $r = 0.88$ 。
- **个体差异显著：**CP 的个体变化范围在 40 分钟后为 -70 至 +41 W (-29% 至 +20%)、80 分钟后为 -76 至 +15 W； W' 的个体变化在 40 分钟后为 -8.1 至 +1.8 kJ (-65% 至 +14%)、80 分钟后为 -8.5 至 -0.4 kJ。这些变化与对照状态下测得的任何生理变量均无关联。
- **认知功能：**整个间歇运动过程中认知表现未见下降，且与功率-持续时间关系的变化无关。此外，呼吸交换率 (RER) 由约 0.97 降至 0.92，而单位做功的氧耗保持相似，提示运动经济性得以保留。

四、讨论与解释

- CP 作为最大可持续氧化代谢速率的指标，在间歇运动中保持稳定，与既往"重度骑行 80 分钟内 CP 不变"的发现一致；但表现在方案后半程仍下降 (总做功减少、平均功率与冲刺做功降低)，说明疲劳主要通过 W'

的耗竭体现。

- W' 的下降可能源于外周因素（肌糖原与磷酸肌酸耗竭、无机磷与氢离子累积、肌浆网钙释放受损导致收缩功能下降）与中枢疲劳的共同作用。W' REC 不变提示磷酸肌酸再合成速率得以保留，因而 W' 的下降更可能与能量供应受限（如糖原可利用性下降）有关。
- W' BAL 模型采用单指数恢复项，在短恢复（ ≤ 4 分钟）内准确，但可能高估 15 分钟"中场"这类长间歇的 W' REC，这或可解释 80-IST 后模型对 W' 的高估。
- 个体间的巨大异质性，以及无法用常规生理变量预测这些变化，凸显了间歇运动中表现预测的复杂性，限制了 W' BAL 模型对个体运动员的实用价值。

五、结论

本研究首次在复刻团队项目比赛的长时间间歇冲刺运动中考察了功率-持续时间关系。结果表明：CP 与 W' REC 不因间歇运动而改变，但 W' 显著下降，且个体间变化差异极大。这些发现对 W' BAL 模型在间歇运动中的应用具有重要意义。

六、实践应用建议

- **应用 W' BAL 模型时须谨慎：**由于 W' 会随疲劳下降、且个体差异大，建议尽可能获取最贴近比赛时间点的准确参数估计，以提高模型预测精度。
- CP 与 W' REC 相对稳定，可在充分休息状态下测得并用于监控；而 W' 对疲劳敏感，是间歇运动后程表现下降的主要环节。
- 训练上应兼顾发展无氧做功储备（W'）与有氧能力，并针对个体的疲劳反应制定差异化方案；面向个体运动员的比赛表现预测应结合个体化数据，避免直接套用群体模型。

编译来源：Black MI, Lewis JA, Liu Y, et al. Dynamics of the power-duration relationship during intermittent team sports exercise. Med Sci Sports Exerc. 2026;58(5):1097-1113. doi:10.1249/MSS.0000000000003929

译者：殷明越

不同运动专项精英运动员血清代谢谱特征的初步比较研究

精英运动表现不仅取决于心肺功能、神经肌肉能力和技术水平，也与长期训练形成的全身代谢适应密切相关。传统的血乳酸、激素和免疫指标虽然能够反映部分训练状态，但往往难以全面识别不同专项运动员之间细微而系统的生理差异。代谢组学可同时检测大量小分子代谢物，为揭示能量供应、脂质利用、氨基酸代谢、氧化应激及激素合成等过程提供整体视角。因此，Al-Khelaifi 等开展了一项探索性研究，比较高、中等耐力及力量特征项目精英运动员的血清代谢谱，以寻找与专项能力和高水平运动表现相关的代谢特征。

研究纳入 191 名参加过国家或国际赛事且兴奋剂检测呈阴性的精英运动员，其中男性 171 名、女性 20 名。研究者根据比赛中最大摄氧量需求和最大自主肌肉收缩需求，将运动项目分别划分为高耐力与中等耐力、高力量与中等力量类别。研究利用超高效液相色谱结合高分辨率质谱进行非靶向代谢组学检测，共分析 743 种代谢物，并采用主成分分析、正交偏最小二乘判别分析及校正性别、溶血和潜在运动时点影响的线性模型，评估不同专项类别之间的代谢差异。

一、不同专项精英运动员的代谢特征差异

1. 高耐力运动员的代谢特征

多变量分析显示，高耐力与中等耐力运动员可依据血清代谢谱得到较清晰区分。高耐力组最突出的变化涉及类固醇激素合成、脂肪酸利用及氧化应激调节。与中等耐力组相比，高耐力运动员多种与孕烯醇酮、孕酮、睾酮、皮质醇和可的松合成相关的代谢物升高，提示长期高耐力训练可能伴随内源性类固醇生物合成通路的增强。这些激素及其前体参与骨骼肌蛋白合成、葡萄糖代谢、能量生成、氧化还原稳态和神经兴奋性调节，可能是高水平耐力适应的重要组成部分。由于所有运动员均通过兴奋剂检测，研究者认为这种变化更可能反映训练适应、内源性合成差异或营养因素，而不能简单解释为外源性激素使用。

高耐力组的二酰甘油、部分脂肪酸酰基肉碱和二十烷酸类代谢物总体降低，而乙酰肉碱、柠檬酸及部分单羟基脂肪酸升高。这一组合提示脂质动员、脂肪酸向线粒体转运以及氧化供能可能更加活跃，同时三羧酸循环的能量生成能力得到

加强。二酰甘油下降可能反映其水解和后续脂肪酸利用增加；二十烷酸类下降则可能与炎症介质生成减少或底物利用改变有关。研究还观察到多种 γ -谷氨酰氨基酸降低，提示谷胱甘肽循环活性增加。谷胱甘肽是清除活性氧的重要抗氧化物质，因此该结果表明高耐力训练带来的持续氧化应激可能促使机体建立更强的自由基清除和细胞稳态维持能力。

2. 高力量运动员的代谢特征

高力量与中等力量运动员同样呈现显著不同的代谢谱。高力量组最明显的特征是多种磷脂、溶血磷脂、固醇和黄嘌呤代谢物升高。磷脂是细胞膜和细胞信号系统的重要组成部分，其升高可能与高强度力量训练引起的肌纤维膜重塑、组织修复和膜脂更新有关。黄嘌呤代谢物增加则反映腺嘌呤核苷酸分解增强，说明高功率运动中 ATP 快速周转和能量需求较高。研究还发现高力量组肌酸升高而肌酐降低，尽管部分结果未达到最严格的多重校正标准，但整体方向与磷酸原系统活跃及肌肉能量储备增加相一致。

与高耐力组相似，高力量运动员的 γ -谷氨酰氨基酸也普遍降低，表明高水平力量和耐力训练虽然依赖不同的主要供能方式，却都可能形成明显的氧化应激适应。两类高水平运动员共有的谷胱甘肽相关特征，说明抗氧化防御可能是精英运动能力的共同代谢基础；而耐力项目更突出类固醇合成、脂肪酸氧化和多胺通路，力量项目则更突出膜脂重塑、嘌呤分解和快速能量代谢。

3. 性别差异与研究局限

耐力相关代谢物的性别交互作用在多重校正后未达到显著水平，但部分 γ -谷氨酰氨基酸和类固醇变化在女性中幅度更大。力量相关分析中，女性运动员的乳酸及多种三羧酸循环中间产物随力量水平升高而增加，提示男女运动员可能存在不同的高强度能量代谢适应。不过，本研究女性仅 20 名，因此这些结果只能作为后续研究线索。研究还受到样本量较小、不同地点采样、比赛内外采样时间不统一，以及缺少年龄、体重指数、种族、饮食、补剂和具体训练负荷信息等限制。运动项目内部位置和技术类型也可能不同，因此当前发现属于探索性证据，尚不能将某一种代谢物直接认定为专项表现的稳定生物标志物。

二、总结与实践应用建议

研究表明，不同专项能力水平的精英运动员具有可区分的血清代谢特征。高耐力表现主要与类固醇激素合成增强、脂肪酸氧化、三羧酸循环和抗氧化调节相关；高力量表现则更多体现为磷脂与溶血磷脂增加、嘌呤分解和磷酸原能量代谢活跃。两类高水平运动员共同出现 γ -谷氨酰氨基酸降低，提示谷胱甘肽循环及氧化应激防御可能是长期高水平训练适应的重要共同机制。

在实践中，代谢组学不宜替代常规训练监控，而应与训练负荷、专项测试、心率、血乳酸、主观疲劳、睡眠和恢复指标结合使用。对于耐力运动员，可重点关注脂肪酸利用、激素状态及氧化应激变化，以判断长期大负荷训练后的能量适应和恢复情况；对于力量和爆发力运动员，可更多关注肌酸代谢、嘌呤分解和膜脂变化，识别高强度训练后的能量消耗与肌肉组织重塑。连续个体追踪比单次横向比较更有价值，教练员应建立运动员自身基线，并结合训练周期观察代谢物变化趋势，避免依据单个指标直接调整训练。未来需要在更大样本、统一采样条件和明确训练背景下进行重复验证，才能进一步发展用于训练个体化、过度训练预警、运动损伤风险评估及反兴奋剂监测的可靠代谢标志物。

编译来源: Al-Khelaifi F, Diboun I, Donati F, et al. A pilot study comparing the metabolic profiles of elite-level athletes from different sporting disciplines. *Sports Med Open*. 2018;4(1):2. Published 2018 Jan 5. doi:10.1186/s40798-017-0114-z

译者：戴思雨

精英耐力径赛运动员的生物学与比赛策略特征：系统综述

本系统综述旨在梳理具备奥运会或世界锦标赛参赛水平的精英耐力径赛运动员，其生物学特征与比赛策略能否区分竞技表现。研究检索截至 2023 年 5 月，纳入 800—10000 米项目的成年健全运动员，并将 800 米、1500 米划为中距离，3000 米障碍、5000 米和 10000 米划为长距离。最终纳入 39 篇研究，其中 23 篇涉及中距离、21 篇涉及长距离；部分研究同时覆盖两类项目。研究重点包括人体测量、身体机能、生物力学、配速、战术、晋级模式及比赛成绩与运动员历史最佳成绩的关系。

一、结果

1. 总体趋势

现有研究尚不能确定统一的“最佳生物学画像”：生物学研究样本普遍较小、指标差异较大，许多发现仅出现于单项研究。相比之下，比赛策略的样本更大、结果更一致。最稳定的成功特征，是运动员能在比赛末段维持或提高速度；优秀选手往往在最后 400 米的至少一个 100 米分段中速度更快，并能在疲劳下接近或超过个人近期最佳水平所对应的速度。

2. 中距离项目：后程速度与节奏变化

800 米通常表现为快速起跑、途中降速、末段再加速的“海马形”配速。成绩更好的运动员在 500 米后至少一个 100 米分段速度更快，说明能否在高疲劳下重新提速并维持速度十分关键。1500 米多呈逐步加速的负分段或 J 形配速，胜负更依赖后半程持续提高速度，而非只依靠一次突然冲刺；运动员还必须适应频繁的节奏波动。

3. 晋级轮次与战术位置

中距离比赛中，预赛和半决赛的晋级名次比晋级用时更能提示决赛表现。金牌获得者更可能赢得两个晋级轮次，但晋级时间并不一定快于其他选手，反映其能够在节省体能的同时控制位置。男子 1500 米的决定性冲刺通常在终点前约 240—250 米启动；进入冲刺前占据有利位置，并练习疲劳状态下持续加速，是重要

战术能力。

4. 长距离项目：近期能力与末段响应

5000 米和 10000 米中，过去 32 个月的最佳成绩越快，重大赛事名次通常越好；领先运动员还能在最后 1000—2000 米更接近其历史最佳配速。女子比赛的差异常在半程附近或更早出现，意味着必须尽早跟住领先集团；男子比赛差异多在最后两圈或末段出现。锦标赛通常并非全程追求个人最好成绩，决定性能力是保存体能、回应变速并在最后阶段加速。

二、建议

- **后期速度专项：**训练不应只关注平均配速，应设置最后 400 米分段和最后 1000—2000 米变速任务，监测运动员在疲劳下提速、维持速度及接近个人最佳配速的能力。
- **模拟比赛节奏：**800 米练习快速开局后在 500 米以后再次提速；1500 米练习后半程渐进加速，并加入随机变速，提高对不同决赛节奏的适应能力。
- **强化位置与晋级管理：**在多轮次比赛中，以安全晋级和节省能量为核心，而非盲目追求预赛成绩；反复演练弯道、直道中的位置调整，以及终点前约 250 米启动冲刺的战术。
- **谨慎使用体型与单项生理指标：**较低的非功能性体重、较小的臂围和小腿围，以及部分 800 米生物力学特征仅得到有限研究支持，不宜直接作为选材阈值。应以个人纵向数据、近期最佳成绩、专项速度储备和比赛执行能力进行综合判断。

编译来源：Elvish TM, Trowell D, Bonacci J, et al. Biological and race strategy characteristics investigated in elite endurance track running: a systematic review. Sports Med. Published online July 9, 2026. doi:10.1007/s40279-026-02475-8

译者：邓鉴峰

运动成绩决定因素与调节因素：优化精英运动员支持的实用方法

对精英运动员的支持工作往往涉及大量的测试与监控数据，如何从海量数据中筛选出真正有意义的信息，并将其转化为可指导训练和比赛决策的有效信息，是运动科学支持工作的核心挑战。竞技表现本身是一个动态、多因素的综合体，受内部状态（体能、恢复、动机）和外部环境（对手、教练、旅行、场地）的持续影响，变量之间相互关联、个体差异显著。传统的“确定性模型”倾向于将表现还原为孤立的、可测量的组成部分（如速度、腾空时间），却往往忽略了情境因素的影响。实际上，即便在同一项运动任务内部，也存在多重因素的共同作用。以 100 米短跑为例，成绩的提升可能源于推进冲量的增加、制动冲量的减少，或技术效率的提高——而后者可能完全独立于力量和速度耐力的变化。因此，研究者主张采用一种整合性、非还原论的框架来理解运动表现，聚焦于有机体因素（生理、生物力学、心理）、环境因素和任务因素三个核心领域，三者共同定义了运动员的“表现潜力”。

基于这一认识，一套以“表现决定因素”与“调节因素”为核心的实用框架被提出，旨在帮助从业者以宏观、可操作的方式优化对精英运动员的支持服务。该框架的核心逻辑简洁而清晰：表现决定因素是必须加以提升才能改善目标表现结果的关键指标；调节因素则是需要维持在最佳水平以积极影响决定因素和整体表现的条件变量。在此基础上，研究者进一步提出了“CEO（咨询-评估-优化）”三阶段流程，为训练与科研支持的有效整合提供了清晰的实施路径。该框架尤其适用于运动员之间直接交互较少、表现主要由个人执行决定的项目（如田径短跑）。

一、表现决定因素与调节因素

1. 表现决定因素

“决定因素”是指任何直接促成特定表现结果的内部或外部条件。从宏观角度看，提升 100 米成绩需要改善关键的决定因素——加速能力、最大速度和速度耐力——以达到特定的表现基准。表现标准越高（如 100 米成绩从 10.10 秒提升至 9.80 秒），各分段所需达到的基准要求也随之提高。决定因素可分为两个层级：

- **初级决定因素：**源自专项任务本身的指标。例如，100 米短跑的 0-30 米（加速）、30-60 米（最大速度）和 60-100 米（速度维持）分段时间。
- **次级决定因素：**源自非专项任务但具有高度相关性的替代指标。例如，下蹲跳（CMJ）相对功率和反应力量指数（RSI），这两项指标与短跑成绩高度相关，且能有效区分不同水平的运动员。

2. 调节因素

调节因素是能够支持表现决定因素和表现结果、或改变二者之间关系方向/程度的变量。调节因素需维持在某一最佳区间或“舒适区”内，以促进最佳表现发挥。某些变量本质上属于调节因素（如自信心、神经肌肉准备状态、起跑器上膝关节角度）；另一些变量则可能在不同的情境下扮演决定因素或调节因素的双重角色。

以最大力量为例：当最大力量明显不足时，它是决定因素；但如果进一步的力量增长已不再转化为短跑成绩的提升，则应将其视为调节因素（即“多强的力量才算足够？”）。同样，100 米前 10 米的分段时间（最优范围约 1.87-1.93 秒）也被视为重要的调节因素，而非决定因素——因为它只是“条件性”地影响着整体表现，而非表现的直接成因。

调节因素同样可分为初级（专项任务相关，如反应时间、起跑和加速力学参数）和次级（非专项任务相关，如神经肌肉状态、恢复状况、心理状态、最大力量和身体成分）。

值得注意的是，一旦这些因素达到最佳区间，进一步的变化（无论正向或负向）未必能带来额外的表现增益，甚至可能适得其反。

3. 辅助因素

在决定因素和调节因素之外，作者还提出了“辅助因素”的概念，指支撑运动员日常训练和生活的支持性服务，包括恢复策略（积极性恢复、按摩、水疗、压缩衣、睡眠策略）、医疗和物理治疗、营养指导及心理技能训练等。这些辅助因素共同构成运动员维持高水平表现的基础保障。

二、CEO 流程：从理论到实践

- **第一阶段——咨询：**与教练进行持续沟通，明确核心表现问题，制定针对性的训练和比赛干预策略。这一阶段需确保不干扰常规训练安排，避免过度耗时或造成额外身体负担。
- **第二阶段——评估：**基于表现决定因素和调节因素对运动员状态进行系统评估。评估应以宏观、肉眼可观察的指标为主，优先选择具有内容效度、预测效度和区分效度且经过验证的测试手段。
- **第三阶段——优化：**根据评估结果进行针对性调整，通过具体干预手段缩小表现差距，并通过定期监控追踪变化。教练、运动员和保障人员的参与在每个阶段都不可或缺，以确保认同感、执行力及及时纠偏。

三、实践应用建议

- **明确区分两类因素：**表现决定因素是必须提升的关键能力；调节因素是需维持最佳水平的支持性条件。
- **用两类因素解释表现变化：**运动员整体表现的任何积极或消极变化，都应能从所识别的决定因素和调节因素的变化中得到解释。
- **多学科整合：**整合多个体育科学子学科的洞见，建立多维度的综合表现理解。
- **精选有效指标：**选择基于证据、情境适配且经过验证的指标，确保具备内容效度（专家评审）、预测效度和/或区分效度。
- **无感化与嵌入式采集：**将测试以非干扰方式整合到日常训练和比赛中。
- **有效沟通：**通过数据可视化、红绿灯色标或简易评分系统，将分析结果转化为可操作的实践策略。

编译来源：Washif JA, Pyne DB. A practical approach to optimizing support for elite athletes using performance determinants and moderating factors. *Int J Sports Physiol Perform.* 2026;21(7):849-856. doi:10.1123/ijsp.2025-0487

译者：唐玥

加速、减速与侧向切步过程中腘绳肌的力学特征

腘绳肌拉伤在常见场地类运动中发生率和复发率均较高,由此带来较长的康复期及相应的经济负担。尽管如此,过去 30 年间腘绳肌拉伤的发生率并未下降。这提示,现有预防策略可能尚不足以使腘绳肌适应常见运动任务所要求的机械负荷。为制定更有效的干预方案,需要深入了解腘绳肌在常见运动任务中的力学特征。

腘绳肌拉伤常发生于高速跑动过程中,其中摆动末期是最常被确认的损伤时相。为探明相关影响因素,既往研究采用三维动作捕捉实验结合肌肉骨骼建模分析,考察高速跑动时腘绳肌的力学特征,并获得了重要认识。例如,多项研究一致表明,双关节腘绳肌在摆动末期做负功,同时达到其峰值长度和峰值产力水平。这意味着,使腘绳肌具备承受上述机械需求的能力,对降低损伤风险和促进康复至关重要。此外,相关研究还一致发现,股二头肌长头的肌肉-肌腱单元峰值伸长(即相对于解剖位的长度变化)大于半膜肌和半腱肌,这或许可以解释为何超过 80%的腘绳肌拉伤发生于股二头肌长头。然而,既往研究的一个明显局限在于,它们主要考察了稳态跑动条件。

近期研究显示,场地类运动中的腘绳肌拉伤常发生于加速、减速和变向过程中。目前仅有少量肌肉骨骼建模研究考察了加速任务,尚无研究聚焦于减速或变向任务的摆动期。全面了解加速、减速和变向过程中肌肉-肌腱单元的力、伸长及做功等机械需求,以及这些任务间的差异,可能有助于降低腘绳肌拉伤风险,并为重返运动计划中合理重新引入相关任务提供依据。因此,本研究旨在量化双关节腘绳肌在加速、减速和侧向切步过程中的力学特征,并比较不同任务间的机械需求差异。

一、描述性结果

各任务平均运动学表现见图 1。加速、减速和侧向切步任务的接近速度分别为 $3.6 \pm 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $3.5 \pm 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $3.3 \pm 0.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。加速、减速和侧向切步任务的摆动期分别占完整步态周期的 $63\% \pm 3\%$ 、 $59\% \pm 6\%$ 和 $60\% \pm 3\%$ 。



图 1 加速、减速和侧向切步从步态周期 0%（离地）至 100%（同侧再次离地）的平均运动学示意图。图中 a、b、c 分别对应加速、减速和侧向切步。

二、力

不同肌肉或任务之间的肌肉力时间模式仅表现出较小的定性差异（图 2）。总体而言，无论完成何种任务，3 块腘绳肌在摆动期内的产力均逐渐增加，并在摆动末期达到峰值。股二头肌长头在加速任务中的峰值力为 1.5 倍体重（95% CI: 1.3 – 1.6 倍体重），显著高于减速任务的 1.2 倍体重（95% CI: 1.0 – 1.4 倍体重， $p<0.001$ ）和侧向切步任务的 1.2 倍体重（95% CI: 1.0 – 1.4 倍体重， $p<0.001$ ）；减速与侧向切步之间差异无统计学意义（ $p=0.970$ ）。半膜肌在 3 项任务之间均存在显著差异，峰值力由高到低依次为加速 2.7 倍体重（95% CI: 2.4 – 3.0 倍体重）、侧向切步 2.3 倍体重（95% CI: 2.0 – 2.6 倍体重， $p=0.007$ ）和减速 1.9 倍体重（95% CI: 1.6 – 2.2 倍体重；加速与减速比较 $p<0.001$ ，侧向切步与减速比较 $p=0.001$ ）。半腱肌在 3 项任务之间的峰值力也均存在显著差异，但其最大峰值力出现在减速任务中，为 0.7 倍体重（95% CI: 0.7 – 0.8 倍体重），其次为侧向切步 0.5 倍体重（95% CI: 0.5 – 0.6 倍体重， $p<0.001$ ），加速任务最低，为 0.4 倍体重（95% CI: 0.3 – 0.5 倍体重；与前两项比较均 $p<0.001$ ）。

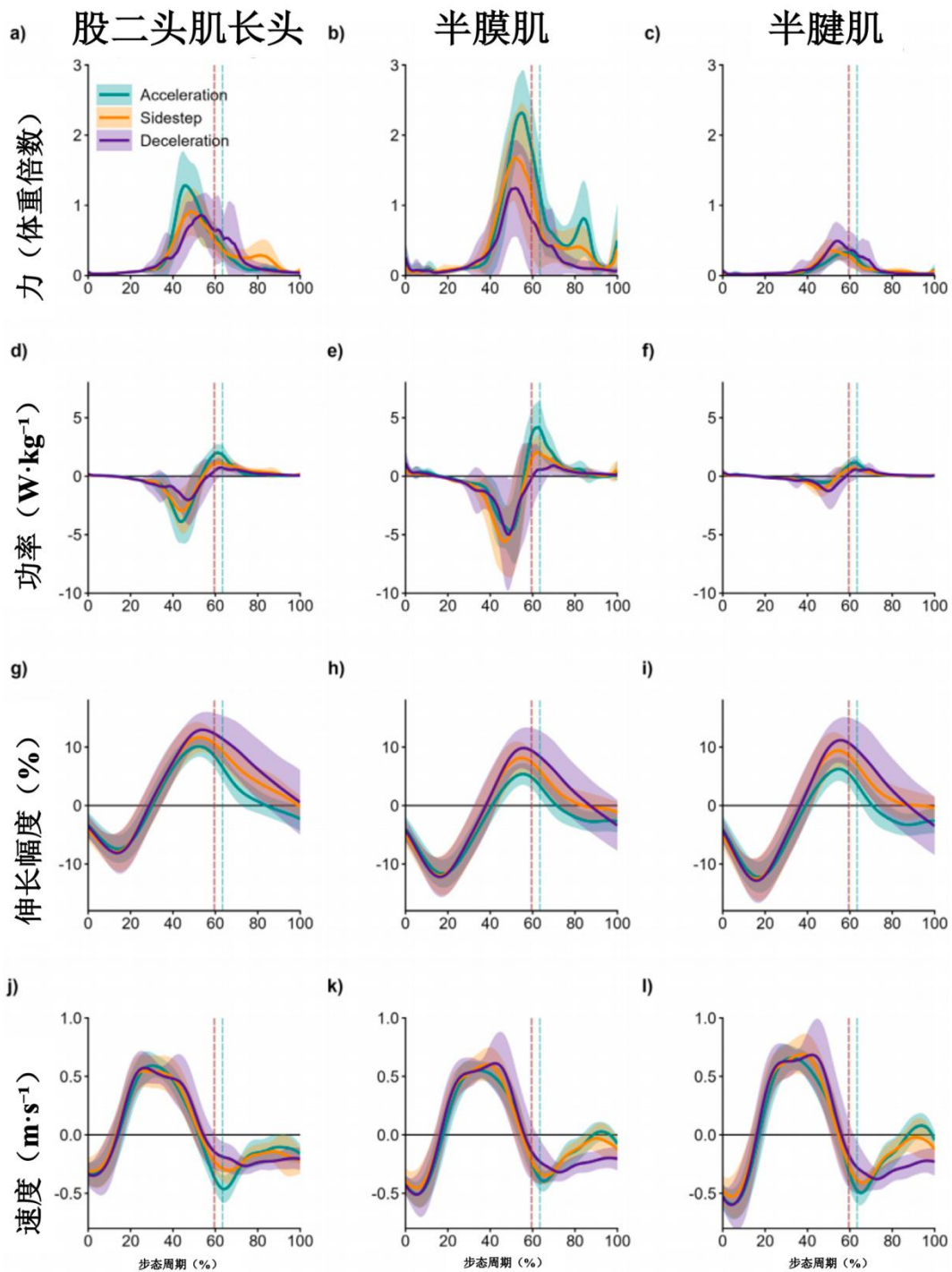


图 2 在加速 (绿色)、减速 (紫色) 和 45° 侧向切步 (橙色) 的完整步态周期 (离地至再次离地) 内, 股二头肌长头 (第 1 列)、半膜肌 (第 2 列) 和半腱肌 (第 3 列) 的肌肉-肌腱单元力 (第 1 行)、功率 (第 2 行)、伸长 (第 3 行) 和伸长速度 (第 4 行) 的均值曲线及标准差阴影。竖向虚线表示各任务支撑期开始时刻。加速、减速和侧向切步的摆动末期, 即髋关节屈曲峰值开始时刻, 分别位于步态周期的 $44\% \pm 3\%$ 、 $42\% \pm 5\%$ 和 $42\% \pm 4\%$ 。力以体重归一化; 功率以体质量归一化, 正值表示功率产生, 负值表示功率吸收; 伸长表示肌肉-肌腱单元相对于解剖位的长度, 正值表示长于解剖位; 速度正值表示肌肉-肌腱单元伸长。

三、功率与功

所有腘绳肌的肌肉-肌腱单元功率时间模式相似：摆动期内功率吸收逐渐增加，随后在足部着地附近及着地后短暂出现功率产生（图 2）。股二头肌长头在加速与侧向切步摆动期内的负功无显著差异，两项任务均为 $-0.25 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.29 至 $-0.21 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $p=1.000$ ），但两者的负功幅度均显著高于减速任务的 $-0.21 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.25 至 $-0.17 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；加速与减速比较 $p=0.010$ ，侧向切步与减速比较 $p=0.021$ ；图 3）。半膜肌的负功幅度由高到低依次为侧向切步 $-0.50 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.56 至 $-0.45 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）、减速 $-0.43 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.48 至 $-0.37 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $p=0.010$ ）和加速 $-0.33 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.38 至 $-0.28 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；与侧向切步比较 $p<0.001$ ，与减速比较 $p=0.001$ ）。半腱肌的负功幅度由高到低依次为减速 $-0.12 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.13 至 $-0.11 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）、侧向切步 $-0.10 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.11 至 $-0.09 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, $p=0.005$ ）和加速 $-0.05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ （95% CI: -0.06 至 $-0.04 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；与前两项比较均 $p<0.001$ ）。

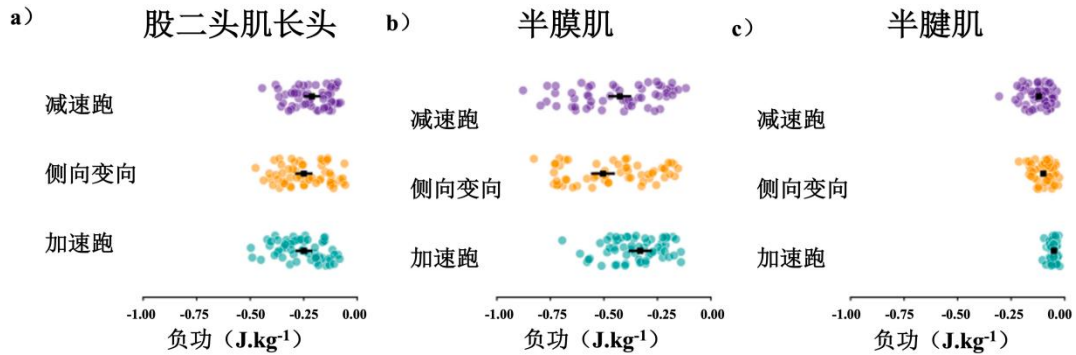


图 3 加速（绿色）、减速（紫色）和 45° 侧向切步（橙色）摆动期内，股二头肌长头（第 1 列）、半膜肌（第 2 列）和半腱肌（第 3 列）经体质量归一化的负功。

四、伸长与速度

所有腘绳肌在摆动期初始阶段均先出现一段缩短，随后快速伸长，并在摆动末期达到峰值伸长；足部着地前短暂缩短，进入支撑期后继续缩短（图 2）。对于全部肌肉，3 项任务之间的峰值伸长均存在显著差异，所有比较均 $p<0.001$ 。所有腘绳肌的峰值伸长均在减速任务中最高，股二头肌长头为 13.7%（95% CI: 12.7% – 14.7%）、半膜肌为 10.9%（95% CI: 9.9% – 12.0%）、半腱肌为 12.4%（95%

CI: 11.2% – 13.6%); 其次为侧向切步, 分别为 12.4% (95% CI: 11.4% – 13.5%)、8.9% (95% CI: 7.8% – 10.0%) 和 10.2% (95% CI: 9.0% – 11.4%); 加速任务最低, 分别为 10.2% (95% CI: 9.2% – 11.2%)、5.5% (95% CI: 4.5% – 6.6%) 和 6.4% (95% CI: 5.2% – 7.6%)。峰值伸长速度的比较结果见表 1。

五、总结与实践应用建议

减速对所有腘绳肌产生的峰值伸长最大, 其次为侧向切步和加速。然而, 不同任务产生的动力学需求, 即力和负功, 因具体肌肉而异。股二头肌长头和半膜肌的最大峰值力出现在加速任务中, 半腱肌的最大峰值力则出现在减速任务中。股二头肌长头在加速和侧向切步中的负功最大, 半膜肌和半腱肌的最大负功则分别出现在侧向切步和减速任务中。这些任务需求的肌肉特异性差异可用于指导腘绳肌损伤预防和康复干预。

编译来源: Steventon-Lorenzen N, Fitzwilliam E, Schache AG, Opar D, Maniar N. Hamstring mechanics during acceleration, deceleration and sidestep cutting. Scand J Med Sci Sports. 2026;36(4):e70257. doi:10.1111/sms.70257

译者: 陶美玲

间歇性项目测试——成年运动员训练与表现优化的重要工具：美国运动医学会专家共识声明

足球、冰球、篮球、橄榄球、网球、羽毛球等间歇性项目的共同特征是：比赛中生理需求剧烈波动，短促的高强度动作（如冲刺、变向、跳跃、对抗）与恢复不足的重复发力交替出现，并夹杂着大量低强度活动阶段。因此，间歇性项目的竞技表现同时依赖三种能力——“最大动作的可重复性”（类似重复冲刺能力）、在密集高强度阶段中的抗疲劳能力（间歇性运动能力），以及在比赛后期维持表现的“耐受力/durability”。测试与训练必须针对这些专项需求，兼顾能量系统贡献、动作模式与位置差异。本共识由美国运动医学会（ACSM）组织专家撰写，系统梳理了从“单次爆发动作”到“专项间歇耐力”各测试领域的可用工具，旨在帮助教练与从业者构建一套全面而可行的测试组合，并将其整合进赛季训练与比赛计划中。

一、间歇性项目的生理需求与能量系统

- 间歇性项目的能量供应依赖有氧与无氧系统的交互，但二者的相对贡献因项目而异。对于活动时间极短（约 2 – 6 秒）、恢复相对充分（约 20 – 40 秒）的项目（如美式橄榄球、快场网球），单次 6 秒冲刺的能量主要来自磷酸原（PCr）分解与糖酵解，有氧供能仅占约 10%。
- 当高强度动作在数分钟内密集重复（如冰球轮换、激烈的羽毛球多拍对抗），或比赛存在 1 – 5 分钟的高强度峰值段（如足球、澳式足球、橄榄球），有氧系统贡献显著上升（重复冲刺中可从约 10% 升至 40%），有氧能力成为决定运动耐受与恢复的关键。
- 共识强调应基于比赛观察与追踪数据进行个体化的需求分析，识别“比赛峰值需求/最坏情境”（如 1 – 5 分钟或更短时段内的最高强度序列），而非仅依赖全场平均强度（多数间歇项目平均仅为 60% – 75% $\text{VO}_2 \text{ max}$ 、70% – 90% 最大心率），因为平均值无法反映强度的剧烈波动。

二、测试的分类框架：四大领域

共识将测试置于“通用（实验室）测试—专项（场地）测试”的连续谱上，并

划分为四个相互关联的能力领域（见原文图 1 的分层决策框架）：

1. 短时最大爆发动作

包括线性冲刺、加速/减速、变向（敏捷）与垂直/水平跳跃。推荐采用力-速度曲线（force-velocity profiling）等进阶方法获取更丰富的专项信息；减速能力常被忽视，但在多数间歇项目中减速动作比加速更频繁，值得单独评估。

2. 最大动作的可重复性（重复冲刺能力）

评估在密集时间内反复发力的能力。传统的 30 秒 Wingate 或最大累积氧亏（MAOD）等"无氧能力"测试因运动模式非专项、与间歇表现关联有限而受到质疑；推荐采用运动模式贴近专项的重复冲刺/重复发力测试，并以"总时间或平均时间"结合基于最快单次冲刺外推的疲劳指数来评价，比简单比较首末冲刺更稳健。

3. 间歇性运动能力

评估在数分钟尺度上维持中高强度、并在间歇中快速恢复的能力。间歇性折返跑测试（如 Yo-Yo 间歇恢复/耐力测试、30-15 间歇体能测试）因纳入了反复的"运动-休息"转换、变向与加减速，比连续跑测试更贴近专项，且能有效区分竞技水平与位置差异，是该领域的首选。

4. 耐受力（durability）

指在单场或连续比赛中累积疲劳后仍维持生理表现的能力。评估较复杂，建议将赛前-赛后的力量/速度/跳跃损失、抗疲劳能力测试与比赛动作分析结合进行；对于比赛时间长或最大动作多的项目尤为重要，而对某些位置（如守门员）损失可忽略时应优先关注峰值能力。

三、测试标准化

- 测试结果的可靠性高度依赖标准化。关键控制因素包括：充分的赛前恢复（前一天以低-中强度为主）、标准化热身（肌肉温度显著影响速度/功率表现）、糖类摄入与储备、水合状态（脱水>2%体重即可致表现下降）、增能物质使用的一致性（"像比赛一样测试"）、环境/温度、测试

熟悉化、测试时间（昼夜节律）与睡眠。

- 对女性运动员，月经周期阶段可能影响体重与表现，建议在固定周期时点测试或据此解释结果，并记录周期阶段。

四、从测试到训练的转化

- **个体化训练处方：**利用测试结果进行优势/劣势画像，针对性微调训练；应将测试指标与比赛表现指标结合评估（如冰球中若比赛滑行表现优异但测试得分偏低，则该体能未必是短板）。
- **负荷管理：**依据个体能力分配总负荷，尤其在伤后/假期后重返训练时避免盲目追加体能负荷；可用"交叉训练/低冲击训练"替代部分专项负荷，降低过载与损伤风险。
- **训练强度靶向与进阶监控：**以最大冲刺速度、最大心率、间歇跑能力等峰值指标为基准设定相对强度；赛季中的"基础"测试须在充分恢复后进行，以免把疲劳误判为体能下降。
- **运动员与组织的认同：**个体化反馈能提升运动员改进特定能力的动机与"投入感"，也有助于争取教练与支持团队对测试-训练体系的支持。

五、核心建议（共识主旨）

- **优先保证测试的专项性：**测试组合应尽量反映真实比赛需求，涵盖反复的运动-休息转换、专项动作模式及个体位置/战术角色，必要时辅以更有针对性的能量系统测试进行优劣势画像。
- **确保可行性：**只选取代表间歇表现连续谱（从峰值功率到间歇耐力）不同侧面的少量关键测试，避免测试过多干扰训练与恢复、增加伤病风险；可用次极量有氧测试作为补充，实现更高频的非疲劳性监控。
- **整合测试与比赛分析：**以整体视角获取运动员能力/表现的完整画像；同时须意识到比赛表现受情境因素影响，正式测试才能提供真正的最大能力估计。
- **标准化测试条件并服务于训练优化：**统一饮食、休息、睡眠、热身与测试时点（女性运动员兼顾月经周期），采用"像比赛一样测试"的原则；用测试与追踪数据识别改进重点、管理负荷、动态微调计划，并通过个

体化反馈提升运动员的认同与参与。

编译来源：Vigh-Larsen JF, Junge N, Cialdella-Kam L, et al. Testing in intermittent sports-importance for training and performance optimization in adult athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2024;56(8):1505-1537. doi:10.1249/MSS.0000000000003442

译者：殷明越

减速表现评估：方法学与实践考量

一、研究背景：减速能力为何日益受到重视

在足球、篮球、橄榄球等多方向速度型运动中，运动员需要在场上频繁地加减速和变向。长期以来，运动科学领域和训练实践都将重点放在如何提升运动员的加速能力和最高速度上，而对减速这一关键动作的关注相对不足。然而，现代竞技比赛的战术演变使得运动员不得不以更高的速度冲刺，相应地，他们也必须从更高的速度下完成减速。这一变化带来了两方面的影响：一方面，优秀的减速能力能让运动员更高效地急停、变向和摆脱对手；另一方面，高速减速会产生巨大的制动力，对身体尤其是下肢构成极高的力学负荷，不仅容易诱发疲劳和组织损伤，也与前交叉韧带撕裂等严重伤病密切相关。因此，准确评估减速能力，已经成为一个兼具运动表现提升与伤病预防价值的重要课题。

二、测试方案：主要类型与选择依据

针对减速能力的评估，目前主要有两类测试方案可供选择，其共同点在于都需要运动员将水平速度降低至零。

第一类是加速—减速能力测试。这类测试通常要求运动员先完成一段规定距离的冲刺，随后在指定位置急停，或者在冲过标记线后在给定的距离内完全刹停。冲刺距离越长，运动员获得的动量越大，减速阶段所需克服的冲量也越大，相应的制动距离和步数都会增加。这类测试的优势在于任务相对单纯，不太受变向技术的影响，因此更适合评估纯粹的减速能力，尤其适用于康复初期对运动员制动功能的评估。

第二类是变向测试，例如包含 180 度转身的 505 测试。在这类测试中，减速是为了完成方向改变而服务的。通过分析转身前减速阶段的瞬时速度变化，同样可以获得关于减速表现的丰富信息。这类测试更贴近比赛中急停转身的实际场景，但需要注意的是，测试结果可能会受到转身技术本身的影响，不完全等同于纯粹的减速能力。实践中，研究者建议根据运动员所在项目和场上位置的实际需求，选择不同的冲刺距离和测试类型，以便更全面地了解运动员在不同速度下的减速水平。

三、测量技术：常用设备及其特点

过去，减速评估的技术门槛较高。近年来多种现场测量设备的发展，使得这一评估过程变得更加可行。

雷达和激光设备是较早应用于减速测量的工具。它们能够实时记录瞬时速度，激光精度高但只能用于直线运动，雷达监测范围更广，部分新型三维雷达甚至可用于变向动作的测量。不过，这两类设备的数据后处理可能较为繁琐，且可靠性受操作者影响。

电动阻力设备，如 1080 Sprint 等，代表了目前较为先进的测量手段。这类设备具备高采样率，能同步输出速度、力量、功率等连续数据，已被证实具有良好的测量效度和信度。其独特优势在于可以自然融入训练过程，实现“无感化监测”，但设备成本较高，且测试时带有外部负荷，可能对自然状态下的减速动作产生一定影响。

全球导航卫星系统和室内定位系统在职业队中普及度较高，便于在训练中同时监测多名运动员。然而，常规卫星定位系统的采样频率偏低，对于减速阶段快速变化的速度捕捉能力有限，且只能用于室外环境。

高速视频拍摄则是成本最低、最易获取的手段。现代计算机视觉和人工智能技术的发展，使得对视频进行快速、自动化的运动学分析成为可能，能够提供步长、关节角度等关键技术参数。这类方法不仅能评估整体减速表现，更重要的是可以记录和分析减速动作的质量。

惯性测量单元作为可穿戴传感器，可以佩戴在肢体各段，逐拍分析每一步制动时的受力特征和关节角度变化。其优势在于提供了精细的“分步”数据，有助于了解每一只脚在制动过程中的贡献和负荷分布，对识别力量缺陷和不对称性问题有独特价值。

四、评价指标：从整体表现到动作质量

在数据处理方面，准确界定减速阶段的起点和终点是基础。目前普遍推荐的方案是以最高速度出现的时间点作为减速开始，以速度降为零或转身前瞬间作为减速结束。在此基础上，可以将减速过程进一步划分为高速段和低速段两个子阶

段，因为这两个阶段的受力特点和生理需求存在显著差异。

常用的整体性评价指标包括：平均减速度、峰值减速度、减速距离和减速时间等。文章还汇总了不同项目中运动员在这些指标上的参考数据，以便实践者进行横向比较。此外，一些研究提出用减速与加速的比值来描述运动员的制动策略，但这类复合指标在用于监测变化时需要谨慎解读，因为组分值的变化方向可能不同。

在动作技术层面，高质量的减速通常表现为：着地时脚落在身体重心前方以产生制动冲量，膝关节适度屈曲以缓冲冲击力，躯干保持后倾或直立以优化力学传递，重心适当降低以增强稳定性。而膝关节过度内扣、躯干过度前倾或侧倾等不良姿态，则可能显著增加关节负荷和软组织损伤风险。因此，评估减速不应只看速度和距离，还应关注动作质量。

五、实践应用与未来方向

基于上述评估结果，实践者可以在两个方向上开展工作：在运动表现提升方面，可以针对运动员减速能力的薄弱环节，设计个性化的力量和神经肌肉训练方案，优化技术动作；在伤病预防和康复管理方面，由于大量非接触性损伤发生于减速和变向过程中，定期评估减速能力被视为评估重返赛场准备度的重要参考。文章特别指出，女性运动员的前交叉韧带损伤发生率更高，减速评估与训练对这一群体可能尤为关键。

六、结语

综上所述，减速能力在当代多方向速度型运动中具有不可忽视的地位，其评估价值体现在表现优化和伤病预防两个维度。

编译来源：Harper DJ, Philipp NM, Eriksrud O, Jones PA, Graham-Smith P, Dos'Santos T. Assessing deceleration performance: methodological and practical considerations. Sports Med. 2026;56(1):1-22. doi:10.1007/s40279-025-02339-7

译者：徐恺

精英长跑运动员在田径场和跑步机上的血乳酸测试不可互换用于训练处方制定

精准的生理评估对优化精英长跑运动员的训练处方至关重要,哪怕是微小的强度误差也会累积成巨大的训练失误。生理评估通常在实验室的跑步机上进行,但精英长跑运动员的大部分训练和比赛都在田径场或公路上完成。本研究旨在分析其在比赛相关强度下,田径场和跑步机跑步的生理和生物力学差异,评估这两种方式是否可以互换,并提供实用的转换指南。

一、研究方法

1. 参与者

9 名男性精英长跑运动员 (Tier 4 级别, 5000 米个人最好成绩平均 13:35, 10000 米个人最好成绩平均 27:44)。

2. 研究设计

采用随机交叉设计。受试者分别在 300 米田径场和 0%坡度的电动跑步机上完成了相同的 6 阶段递增负荷跑步测试, 配速范围从 3:30 min/km 递增至 2:40 min/km。

3. 数据收集与分析

测试期间采集血乳酸浓度、心率以及主观疲劳感觉 (RPE) 等生理指标。同时使用高速摄像机记录并分析步频、步幅、触地时间等时空生物力学参数。

二、核心发现

1. 血乳酸浓度差异显著

在所有测试阶段, 田径场跑步的血乳酸浓度均显著高于跑步机, 且这种差异随着速度的增加而逐步扩大 (从第 1 阶段相差 1.0 mmol/L 增加到第 6 阶段相差 3.7 mmol/L)。在 4 mmol/L 和 6 mmol/L 的固定血乳酸浓度下, 田径场上的对应跑速均显著低于跑步机。

2. 主观疲劳与生理指标的脱节

尽管田径场上的血乳酸浓度更高，但在前三个测试阶段，运动员在田径场上的主观疲劳评分（RPE）却显著低于跑步机。两者的心率反应则没有显著差异。

3. 赛速下的生物力学变化

在高强度阶段，田径场跑步的触地时间显著长于跑步机。在所有测试阶段中，田径场跑步的步幅均显著大于跑步机，而步频没有显著差异。

4. 成绩预测有效性比较

田径场测试中 6 mmol/L 血乳酸对应的速度，对运动员 10000 米赛季最佳成绩具有极高的预测有效性（ $R^2 = 0.948$ ），预测标准误仅为 12 秒。相比之下，跑步机评估的预测有效性较弱（ $R^2 = 0.483$ ），预测标准误达到 37 秒。

三、总结与启示

1. 评估方式不可互换

田径场和跑步机的乳酸评估不可互换用于开具训练处方。在条件允许的情况下，应优先选择田径场进行评估测试，以获得更准确的赛场表现预测。

2. 配速换算与双向修正

对于该精英群体的乳酸阈值速度（约 21 km/h），跑步机测出的阈值配速比田径场快约 7-8 s/km。将跑步机评估得出的训练区间应用于田径场时，目标配速应减慢 7-8 s/km；反之，若要在跑步机上复制田径场的生理强度，应将跑步机配速提高 7-8 s/km。该修正幅度随速度增加而变大。

3. 避免 RPE 误导

由于在田径场上运动员可能会感觉相对“轻松”（RPE 较低），若仅依赖主观感受或心率，容易导致实际代谢负荷超标。在场地转换时，应重视血乳酸等客观指标以精准控制强度。

编译来源：Suzuki Y, Takei N, Tanji F, Yamanaka R, Saeki T. Track and treadmill lactate assessments are not interchangeable for training prescription in elite distance runners. Scand J Med Sci Sports. 2026;36(4):e70286. doi:10.1111/sms.70286

译者：武凡超

抗阻训练作为青少年体能与健康首要身体活动形式的时代 已经到来

世界卫生组织《身体活动和久坐行为指南》中建议青少年每天至少进行 60 分钟中高强度、以有氧为主的身体活动，同时每周至少安排 3 次肌肉与骨骼的强化训练。但是现有指南对青少年人群抗阻训练的作用及实施说明不足。因此本综述旨在厘清抗阻训练对青少年群体的具体作用及实施指南。

一、研究结果

1. 为什么抗阻训练应成为青少年群体训练中的优先选项

- **青少年肌力不足问题：**一项涵盖 298 项人群调查、纳入约 160 万名 11-17 岁青少年的汇总分析显示，全球 81% 的青少年未达到世界卫生组织的身体活动推荐标准，处于身体活动不足状态；而大范围的身体活动不足与久坐行为，正是导致青少年肌肉适能持续下降、肌力不足问题日益严峻的核心因素。
- **青少年抗阻训练的长期价值：**纵向研究显示，青少年期与成年期肌力的相关系数为 0.43-0.72。青少年时期开展规范抗阻训练，有助于为专项训练奠定基础。

2. 青少年抗阻训练对竞技体育训练的价值

- **提升肌力与爆发力：**研究表明，抗阻训练可中到大幅度提高青少年肌力，并改善爆发力。
- **促进骨骼健康：**青春期前后骨骼对机械负荷更敏感，抗阻训练可改善其骨密度、骨量和骨结构。
- **降低运动损伤风险：**一项对 U16 男足 15 周干预的研究显示，自重抗阻训练可显著降低运动员的训练损伤（缺训日：训练组 9.55 天，对照组 33.28 天）。25 项研究的荟萃分析显示，抗阻训练使下肢伤病发生率降低约 36%。

3. 抗阻训练与有氧训练的互补作用

- **适应差异：**有氧训练在提高最大摄氧量等心肺适能指标方面更具优势；抗阻训练在提高肌力、爆发力和预防损伤方面作用更突出，也可改善体脂和胰岛素敏感性。两类训练各有侧重。
- **协同作用：**在超重或肥胖的青少年群体中，抗阻与有氧联合训练在降低体脂、改善代谢指标和提高生活质量方面常优于单一训练。

因此，抗阻训练应纳入青少年运动员的长期发展计划，既服务于力量、爆发力，也为承受后续训练负荷做好准备。

二、训练实践要点

- **抗阻训练应趁早：**青少年群体的抗阻训练可在 7-8 岁开始；若能理解动作指令并正确完成基本动作，也可更早开始。
- **强调技术规范与专业监督并行：**技术不规范、负荷不当或缺少合格人员监督会增加训练损伤风险。应先建立正确的动作模式，再逐步提高训练负荷。
- **循序渐进原则：**技术基础较弱者应先发展其基础肌力和动作控制能力；技术熟练后，再提高练习难度和负荷。还应考虑其成熟度、训练经历和专项负荷。
- **个体化原则：**现有证据尚不足以提出统一的组数、次数和负荷强度。应根据青少年个体的动作质量和个体差异渐进安排抗阻训练，并做好抗阻、有氧与专项训练的衔接。

编译来源：Chaabene H, Ramirez-Campillo R, Moran J, et al. The era of resistance training as a primary form of physical activity for physical fitness and health in youth has come. Sports Med. 2025;55(9):2073-2090. doi:10.1007/s40279-025-02240-3

译者：王嘉鑫

抗阻训练中的速度损失：对同期训练适应的影响

同期训练 (concurrent training, CT) 旨在同步提升力量与耐力, 但抗阻训练 (RT) 诱发的疲劳是干扰效应的重要调节因素。本研究以速度损失 (velocity loss, VL) 量化组内疲劳水平, 比较不同 VL 阈值对 CT 适应的影响。41 名中等训练水平男性随机分为四组: CT 中 RT 分别采用 VL0 ($n = 10$)、VL15 ($n = 10$)、VL40 ($n = 11$), 或仅耐力训练 (ET, $n = 10$)。干预为期 8 周、每周 2 次: CT 组先完成深蹲 RT (70%–85% 1RM), 休息 10 分钟后再进行跑步 ET (90%–105% 最大有氧速度 MAS); ET 组仅完成相同耐力方案。主要结果包括股外侧肌横截面积、等长/渐进负荷深蹲、CMJ、冲刺、MAS、疲劳抗性及 EMG。结果显示: 所有 CT 组肌肉质量显著增加, 其中 VL40 增幅最大; 各组 MAS 均提升, ET 增幅最大, CT 内则 VL 越低效应量越高; VL15 与 VL40 的 1RM 增益显著优于 ET; ET 未提升力量且显著降低 400 ms 发力速率 (RFD)。总体而言, CT 可同时改善力量与耐力, 但 RT 疲劳可能削弱耐力适应。

一、研究设计与训练刺激差异

1. 受试者与分组

- 最终完成干预 41 人 (年龄 25.0 ± 4.3 岁, 身高 1.78 ± 0.07 m, 体质量 74.4 ± 13.2 kg; 基线 1RM = 108.9 ± 18.3 kg, MAS = 15.7 ± 1.7 km · h⁻¹) ; 按基线 1RM 分层区组随机分配。
- CT 组完成 16 次训练 (组间至少间隔 48 h) , 相对强度每 4 次课递增 5% (70%→85% 1RM) ; VL0 每组仅完成 1 次重复 (0% VL) , VL15/VL40 分别以约 15%/40% VL 终止组内训练。
- 累计深蹲重复次数差异显著: VL0 = 48 ± 0 、VL15 = 152 ± 37 、VL40 = 297 ± 77 ($p < 0.001$) ; 平均动作速度 VL0 显著高于 VL40 (0.62 ± 0.09 vs. 0.51 ± 0.09 m · s⁻¹) 。

2. 肌肉质量、力量与耐力适应

- 肌肉质量: 三个 CT 组均显著增肌, VL40 增益最大 (CSA75 组 × 时

间交互 $p = 0.04$) ; ET 各肌肉质量指标无显著变化。肌体积组内效应量大致为 VL40 ($ES = 0.58$) > VL15 (0.47) > VL0 (0.40) , ET 为 -0.10。

- **最大力量:** 1RM 存在组 $\times$ 时间交互 ($p = 0.009$) ; VL15 (约 +9.2%, 106.0→115.8 kg) 与 VL40 (约 +7.7%, 110.5→119.0 kg) 显著提升且优于 ET, VL0 变化未达显著 (约 +5.3%, $p = 0.09$) 。CT 组在负荷—速度相关指标 (AV、 $AV < 1$ 、 $AV > 1$) 上多有改善, ET 力量相关变量无提升。
- **耐力 (MAS) :** 各组均显著提升 ($p < 0.001$) , 组 $\times$ 时间交互 $p = 0.04$; 效应量呈 ET (0.92) > VL0 (0.79) > VL15 (0.62) > VL40 (0.46) , 且 ET 增幅显著大于 VL40。绝对变化约: ET 15.8→17.2、VL0 15.1→16.5、VL15 16.0→17.1、VL40 15.9→16.6 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。
- **冲刺与 CMJ:** 各冲刺分段与 CMJ 均无显著时间主效应或组 $\times$ 时间交互。
- **神经肌肉:** RFD0 – 400 存在组 $\times$ 时间交互 ($p = 0.01$) , ET 显著下降, VL40 则在 RFD0 – 100/200/400 上显著提升; 疲劳测试最大重复次数 (MNR) VL0 与 VL15 显著改善, VL40 与 ET 未显著改善。EMG 方面, VL0 在跨负荷 RMS 上增加, ET 则下降。

二、总结与实践应用建议

- 以最大力量效率为首要目标时, 中等疲劳 (约 15% VL) 在 CT 中更均衡: 可获得有意义的 1RM 增益, 同时训练量与残余疲劳低于高 VL 方案。
- 以增肌为优先时, 可提高组内 VL (约 40% VL) 以增大训练量与肥大刺激, 但需预期同日随后耐力课的 MAS 适应可能被削弱。
- 极低疲劳 (0% VL、每组仅 1 次) 仍可带来部分力量相关改善并较少干扰耐力, 但对最大化 1RM 可能不足。
- 仅做 ET 可最大化有氧表现, 但不增肌、不增力, 且可能损害晚期 RFD 与深蹲相关神经肌肉活动; 对需要短时高力量输出的项目, 应保留 RT。

- 同日 CT 且 RT→ET 间隔仅约 10 分钟时, RT 疲劳本身可能成为耐力适应的“干扰源”; 条件允许时, 可考虑拉长 RT 与 ET 间隔或分日安排, 以减轻干扰。

编译来源: Tundidor-Duque RM, Loturco I, Paéz-Maldonado JA, et al. Velocity loss during resistance training: implications for concurrent training adaptations. Scand J Med Sci Sports. 2026;36(3):e70265. doi:10.1111/sms.70265

译者: 邓盛基

主 编: 陈志宇 曹景伟

副主编: 毛丽娟 赵杰修

执行主编: 程 谦 徐建方

编 委: 陈小平 黎涌明

地 址: 北京市东城区体育馆路 11 号

邮 编: 100061

电 话: 010-87182595

传 真: 010-87182600