

非局部PAPE的证据边界与影响因素：方向性、任务特异性和负荷依赖性

曹智育

江苏师范大学，徐州

摘要 | 非局部PAPE是指预激活主要作用于与后续任务不同的身体区域时，随后出现的急性表现变化。本文检索了PubMed、Crossref和OpenAlex建库至2026年7月1日收录的研究，并将证据分为直接证据与扩展证据进行叙述性综述。现有直接证据并不一致，试点研究未能排除静息和重复测试效应，因此不能据此确认独立的非局部PAPE。部分上下肢跨区域研究观察到表现改善，但跨侧研究、控制较充分的实验及高刺激负荷方案也报告了无变化或表现下降。主动肌、拮抗肌与全身联合动作研究只能提供间接支持。总体而言，非局部表现变化更可能是一种受刺激方向、目标任务和刺激负荷共同影响的条件性反应，而非稳定一致的增强现象。现有证据尚不足以制定标准化方案，实践中仅宜在训练阶段进行有控制的个体化测试。

关键词 | 激活后运动表现增强；非局部效应；条件活动；证据边界；热身策略

Copyright © 2026 by the author(s).

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



引言

激活后表现增强（post-activation performance enhancement, PAPE）是指自主条件活动后力量、速度或功率等运动表现的急性改善。其结局指标、时间进程和可能机制均不同于通过诱发抽搐力评价的激活后增强（post-activation potentiation, PAP）^[1]。传统研究常将重负荷抗阻练习与生物力学特征相近的爆发动作组合应用^[2]。Wilson等^[3]指出，条件活动总量、恢复间隔和训练状态会影响后续功率表现；Seitz和Haff^[4]的研究进一步显示，该效应还受条件活动类型、组数、负荷、恢复间隔及个体力量水平调节。

竞技动作通常需要多个身体区域协同参与，由此产生了非局部PAPE这一问题：当条件活动主要用于非目标区域时，后续任务能否获得独立的表现收益？仅凭全身激活或随后出现的表现改善无法回答这一问题。如果缺少静息或标准热身对照、目标与非目标表现的同步测试，或未排除重复测试效应，观察到的变化也可能来自一般热身、测量波动或疲劳。

现有结果包括增强、无变化和表现下降，而且分歧具有明显的方向性。上肢至下肢方向中，Bartolomei等^[5,6]分别报告高强度卧推后纵跳功率小幅提高，但Laskin等^[7]未观察到纵跳总体改善，Downey等^[8]反而观察到纵跳高度下降，Rappelt等^[9]在一般及肌群特异性热身后也未发现胸推的附加收

作者简介：曹智育，江苏师范大学体育学院研究生，研究方向为运动表现提升。

文章引用：曹智育. 非局部 PAPE 的证据边界与影响因素：方向性、任务特异性和负荷依赖性[J]. 现代教育与教学创新, 2026, 1(3): 78-87.

<https://doi.org/10.68070/ecn50z03>

益；Santos da Silva等^[10]的冲刺和反向纵跳同样无显著变化。下肢至上肢方向既有Spokely等^[11]的卧推速度和功率提高，也有Bartolomei等^[6]的卧推投掷未改善以及Kolinger等^[12]的非局部离心表现下降；跨侧研究则总体未发现稳定增强^[13-17]。因此，本综述关注的不是该策略是否笼统地有效，而是哪些研究真正分离了非局部贡献、结果为何不一致，以及现有证据能够支持何种强度的结论。

本文先界定PAP、PAPE与非局部PAPE的概念边界，再按刺激方向整理直接证据，并将主动肌/拮抗肌和无法分离非局部贡献的全身联合动作列为扩展证据。随后从刺激方向、刺激负荷、恢复时间、训练水平和目标任务解释研究之间的差异，并将相关机制限定为待检验的候选框架。全文围绕两个问题展开：非目标区域刺激能否产生独立且可重复的表现增强，以及哪些条件会改变这一反应。现有证据更支持一种具有方向性、任务特异性和负荷依赖性的条件性反应，而不是稳定统一的非局部增强。

1 非局部PAPE概念界定与证据分类

1.1 PAP与PAPE的区别

Sale^[18]将PAP概括为既往收缩活动后肌肉收缩表现的短暂提高，并系统讨论了其特征和可能机制。Hodgson等^[2]进一步指出，肌球蛋白调节轻链磷酸化可提高肌丝对 Ca^{2+} 的敏感性，而实际观察到的表现是增强与疲劳共同作用的净结果。Tillin和Bishop^[19]认为，这一净效应受条件活动总量与强度、恢复时间、动作类型和受试者特征影响。PAPE则指自主条件活动后自主运动表现的改善，常在更长恢复时间后评价，并可能同时受到肌肉温度、细胞水分、激活水平和动作协调等因素影响^[1]。PAP存在并不必然意味着自主表现提高，自主表现提高也不能反向证明经典PAP机制。已有分类研究据此建议按结局与刺激与任务的关系规范术语^[20]。

因此，本文将PAPE限定为自主表现结局，不把早期PAP研究直接改称为PAPE研究。早期文献仍可用于讨论肌肉收缩历史、训练背景或增强与疲劳的关系，但其证据角色必须与以纵跳、投掷、力量或速度为结局的PAPE研究区分。

1.2 非局部PAPE的定义

本文将严格意义的非局部PAPE界定为：自主条件活动主要作用于与后续任务不同的身体区域或对侧肢体，且后续自主表现的变化能够通过基线、静息、标准热身、局部条件或其他适当比较条件，被解释为独立的非目标区域贡献。直接证据主要包括上肢至下肢、下肢至上肢和单侧至对侧三类设计；

多身体区域联合条件活动只有在实验能够分离非局部贡献的情况下，才可进入核心证据。

该定义同时排除三种概念混用。第一，长期单侧训练产生的交叉教育不等同于一次条件活动后的急性反应；第二，非局部肌肉疲劳是表现下降现象，虽可与非局部PAPE共享中枢或任务因素，却不能被当作增强证据；第三，动作涉及多个区域并不意味着观察到的改善来自非局部传递。

1.3 核心证据与扩展证据

核心证据回答“非目标区域刺激能否独立改变目标表现”。其最低要求是刺激区域与目标任务可区分，并对自然波动、重复测试和一般热身效应设置可解释的比较。Cuenca-Fernández等^[21]虽然直接提出非局部问题，但其结果不能排除测试本身和静息条件的影响，故属于“直接问题：未能确认”，而非增强证据。

扩展证据回答的是相邻但不同的问题。主动肌/拮抗肌条件活动反映同一运动系统内的肌群选择；抓举或挺举等全身动作可能同时提高上下肢表现，却难以识别哪一部分属于独立非局部贡献。此类研究可帮助理解任务组织、肌群协同和整体准备状态，但不应与严格的上肢至下肢、下肢至上肢或跨侧证据等量齐观^[22,23]。

1.4 增强因素与疲劳因素的相互作用解释

对于非功能部位预激活，增强与疲劳的动态关系可以作为解释表现变化的理论框架，但目前缺乏针对非目标区域刺激的直接生理证据。额外刺激可能同时改变整体运动准备状态和疲劳水平，其最终表现取决于刺激负荷、恢复状态、训练水平和目标任务等因素的共同作用。因此，现阶段更适合以“潜在收益与疲劳成本”的平衡来理解不同研究结果，而不宜将其视为已经得到验证的非局部PAPE机制^[3,4,24]。

2 研究证据来源与分析框架

2.1 检索范围与检索词

为校准核心证据，本文于2026年7月1日补充检索PubMed、Crossref和OpenAlex，检索时限为各平台建库至检索日。英文检索词包括 postactivation performance enhancement、PAPE、postactivation potentiation 和 PAP，并分别与 nonlocalized、non-localized、contralateral、crossover、upper body、lower body、agonist、antagonist 等词组合。首先以题名或摘要中的 nonlocalized 或 non-localized PAPE 定位直接命名研究，再通过较宽检索式、参考文献

追溯和引文追踪识别题名未使用 nonlocalized 的研究。

2.2 纳入逻辑与证据判断

核心研究纳入条件为：人体急性实验；采用自主条件活动；随后评价自主运动表现；刺激区域或侧别与目标任务可区分。按照刺激方向、研究设计、条件活动及刺激负荷、恢复时间、主要结局、结果和证据判断提取信息。主动肌/拮抗肌研究以及无法分离非局部贡献的多区域联合动作列为扩展证据；一般PAP/PAPE综述与实验仅用于概念、调节因素和候选机制。慢性训练转移、动物研究、非自主表现结局及重复记录不进入核心证据。表1列出17项研究的对象、设计、条件活动及刺激负荷、刺激方向、恢复时间和主要结果。

2.3 证据来源说明

为提高可复核性，表1逐条列出本文当前能够核对的17项研究及其关键设计和结果。现有文稿能够确认的检索信息包括：数据库为PubMed、Crossref和OpenAlex；检索日期为2026年7月1日；检索范围为各平台建库至检索日；核心检索词及组合方式见本节“检索范围与检索词”。本文采用叙述性综述方法，未按照系统综述流程实施双人独立筛选、风险偏倚评价及Meta分析，因此不报告未经完整筛选流程核验的命中数量、去重数量及排除数量。

3 不同刺激方向下非局部PAPE的实验证据

3.1 上肢预激活对下肢表现的影响

Cuenca-Fernández等^[21]较早尝试从非局部角度检验PAPE。研究比较上肢、下肢、上下肢联合预激活及静息条件，深蹲跳表现在5 min和8 min后均有所改善，但不同条件之间并未表现出能够明确归因于非目标部位刺激的差异；同时，上肢相关表现因实验设计限制未能得到有效评价。该研究提示上下肢联合条件活动可能涉及非局部表现变化，但由于不同条件间未显示明确差异，且部分结局指标存在评价限制，目前尚不足以据此判断其具有独立的非局部增强作用。

后续研究的结果并不一致。Laskin等^[7]在8名抗阻训练男性中以重负荷卧推作为条件活动，15 s、90 s和3 min后的纵跳指标总体未改善，且缺少独立静息对照。Bartolomei等^[5]则在13名抗阻训练男性中比较高强度卧推、高功率卧推和控制条件；8 min后只有高强度卧推条件的反向纵跳功率提高，股四头肌

肌电活动同步增加。该结果支持上肢条件活动可能影响下肢爆发性表现，但受限于样本规模和观察指标，其作用范围及相关机制仍需要进一步验证。

Bartolomei等另一项分组研究^[6]同样报告高强度卧推后反向纵跳功率小幅提高，而高功率卧推未见同样结果。相反，Downey等^[8]发现7 s最大等长卧推后纵跳高度下降，Rappelt等^[9]在纳入一般和肌群特异性热身控制后，也未观察到胸推对纵跳的附加收益。Santos da Silva等^[10]在14名国家级女子足球运动员中比较半蹲、卧推与一般热身控制，6 min后的冲刺和反向纵跳均无显著改变，水平跳虽出现较大个体效应但组间未达显著。综合现有研究，上肢条件活动对下肢表现的影响主要出现在少数高强度方案中，尚未形成稳定且可重复的增强模式。

3.2 下肢预激活对上肢表现的影响

下肢至上肢方向同样存在相反结果。Bartolomei等^[6]的高强度深蹲未提高卧推投掷功率，研究者认为5组单次、90%1RM的刺激可能带来较高疲劳成本。Kolinger等^[12]在男性篮球运动员中使用3组递增负荷后深蹲，局部膝关节等速指标提高，但非局部肘屈离心峰值力矩和平均功率下降，爆发性俯卧撑高度未变。这一结果提示局部增强与非局部表现下降可以同时存在。

Spokely等^[11]在19名有经验的休闲男性训练者中比较2组6次深跳与站立控制，7 min后70%1RM卧推的峰值速度和峰值功率提高，为下肢至上肢提供了新的增强结果。不过，该研究样本单一、规模有限，力量水平和训练年限与反应幅度未见相关，尚需独立重复。目前下肢条件活动对上肢表现的影响同样受到具体方案影响，不同研究之间尚未表现出一致趋势。

3.3 单侧预激活对对侧表现的影响

跨侧研究整体上不支持稳定增强。Andrews等^[14]使用单侧保加利亚分腿蹲后，训练侧反向纵跳提高，而对侧在1、5和10 min出现幅度较小的下降。Wong等^[13]在107名训练与未训练参与者中比较同侧、对侧和控制条件，贝叶斯分析更支持局部效应。Power等^[15]以4次5 s单侧膝伸最大等长收缩作为条件活动，在1 min和10 min均未发现对侧表现的稳定改善。Hamilton和Behm^[25]在非局部疲劳研究中观察到疲劳干预后对侧单次最大等长力短时提高，但其条件活动为2×100 s持续最大收缩，主要结局和研究目的均围绕疲劳与终点预期，故只能作为跨侧反应的间接补充。

2025年的两项研究进一步显示归因困难。Terbalyan等^[16]在精英与业余男排运动员中观察到部分精英运动员对侧落下跳高度提高，但伴随接触时

间改变，且分腿蹲并非纯单侧刺激、实验缺少静息控制；Helbin等^[17]设置等时跑台控制后发现，非优势腿单腿跳在条件活动和控制条件下均提高，没有条件×时间效应，作者将变化更多归因于运动学习。尽管神经交叉机制为跨侧表现变化提供了一种可能解释，但现有行为实验结果尚未充分支持其能够产生稳定的跨侧表现增强。

3.4 多区域联合条件活动及相关扩展证据

多区域联合条件活动需要首先判断能否分离非局部贡献。Cuenca-Fernández等^[21]的上下肢联合条件并未优于静息或单一区域条件；Caldeira等^[23]发现挺举后反向纵跳和卧推投掷均优于控制，但挺举本身同时要求下肢发力、躯干传递和上肢支撑，因而更适合被解释为全身条件活动后的同步表现变化，而不能证明独立的上肢至下肢或下肢至上肢传递。

Pisz等^[22]比较女子垒球运动员的卧推、俯卧撑

和俯身划船条件活动，主动肌与拮抗肌方案均可能改善部分药球投掷指标。该研究仍发生在同一上肢运动系统内，回答的是激活肌群选择而非远隔区域传递。因此，它不构成非局部PAPE的直接证据，只能说明激活肌群选择可能影响PAPE反应。

3.5 非局部PAPE证据综合判断

表1将直接证据与扩展证据纳入同一证据体系，在非局部 PAPE 研究中，表现指标的改善还需要结合刺激区域、比较条件和测试设计进行解释，单纯的前后变化不足以确认非局部贡献。只有当刺激区域与目标表现区域能够明确区分，研究设计具备充分比较条件，且主要结局在方向上呈现一致改善时，相关结果才可作为支持非局部PAPE的依据。若改善同样出现在静息或一般热身条件下，关键结局指标无法有效评价，或仅观察到刺激区域自身的局部效应，则不足以支持独立非局部增强的解释。

表1 非局部 PAPE 及相关扩展研究的证据综合

Table 1 Evidence Synthesis of Nonlocal PAPE and Related Extension Studies

作者 (年份)	对象	研究设计	条件活动及刺激负荷	刺激方向	恢复时间	结果
Cuenca-Fernández等 (2017) ^[21]	15名训练运动员 (8男, 7女)	随机重复测量; 4条件	卧推4次 90%1RM; 深蹲4次 90%1RM; 两者联合; 静息	上至下; 下至上; 联合	5、8 min	深蹲跳4条件均相似改善; 上肢结局无法有效评价
Laskin等 (2021) ^[7]	8名抗阻训练男性	重复测量试点; 无独立静息对照	卧推递增至1组: 10次 50%、6次70%、4次 85%1RM	上至下	15 s、90 s、3 min	总体无显著改善; 后期发力率变化可能受重复跳影响
Bartolomei等 (2023) ^[5]	13名抗阻训练男性	随机交叉; 高强度、高功率、控制	卧推5×1 90%1RM; 或 5×1 30%1RM爆发完成	上至下	8 min	仅高强度条件提高纵跳功率和股四头肌肌电
Bartolomei等 (2022) ^[6]	24名抗阻训练男性; 分上肢组和下肢组	随机分组; 组内比较高强度与高功率	卧推或深蹲5×1 90%1RM; 卧推投掷5×4 30%1RM或5×4箱跳	双向比较	8 min	高强度卧推后纵跳功率+1.6%; 深蹲后上肢无改善
Downey等 (2022) ^[8]	24名抗阻训练者 (14男、10女)	随机重复测量; 深蹲、卧推、静息	7 s最大等长深蹲或卧推	上至下 (含局部比较)	条件活动后; 摘要未单列具体间隔	深蹲后+1.1 cm; 卧推后-1.4 cm
Rappelt等 (2024) ^[9]	研究III: 20名成人 (6女)	急性随机交叉; 含一般/特异热身	胸推或深蹲4次80%1RM	上至下 (含局部比较)	热身及条件活动后至11 min	研究III未见条件或时间效应
Santos da Silva等 (2024) ^[10]	14名国家级女子足球运动员	受试者内交叉; 半蹲、卧推、控制	半蹲或卧推3×3 90%1RM; 或一般热身	上至下 (含局部比较)	6 min	冲刺和反向纵跳无显著变化; 两条条件水平跳个体效应较大但组间不显著
Kolinger等 (2024) ^[12]	12名男性篮球运动员	随机分日; 局部与非局部测试	后深蹲3组3至4次: 60%、90%、90%1RM	下至上	条件活动后测试; 摘要未单列具体间隔	局部等速指标提高; 非局部肘屈离心指标下降; 动态任务无变化
Spokely等 (2025) ^[11]	19名有经验的休闲男性训练者	随机交叉; 深跳与站立控制	2×6次深跳; 或5 min站立	下至上	7 min	深跳条件后峰值速度和峰值功率提高

续表1

作者 (年份)	对象	研究设计	条件活动及刺激负荷	刺激方向	恢复时间	结果
Andrews等 (2016) [14]	14名大学运动员 (8男、6女)	随机重复测量; 训练侧、对侧、 控制	单侧分腿蹲: 5次50%、2 次70%、1次90%1RM	单侧至对 侧	1、5、10 min	训练侧反向纵跳改善; 对侧 反向纵跳小幅下降
Wong等 (2020) [13]	107名参与者 (75未训练、32 训练)	随机交叉; 同 侧、对侧、控制	单侧肘屈6 s最大等长收缩	单侧至对 侧	紧随后测; 摘要 未单列具体间隔	模型更支持局部效应; 训练 者局部反应更明显
Power等 (2021) [15]	32名青年 (训练 组与一般活动组 各16)	随机分侧; 同 侧、对侧、控制	膝伸4次5 s最大等长收缩 (2×2)	单侧至对 侧	1、10 min	未见稳定非局部增强或表现 下降
Hamilton和Behm (2017) [25]	15名男性	4条件; 疲劳/静 息×已知/未知终 点	单侧膝伸2×100 s最大等长 收缩; 组间60 s	单侧至对 侧	干预后即刻单次 最大收缩, 继以 耐力测试	扩展: 以非局部疲劳为目 的; 提示短时跨侧反应但不 等同标准PAPE方案
Terbalyan等 (2025) [16]	10名精英和10名 业余男性排球运 动员	随机双盲交叉; 优势侧与非优势 侧	单侧分腿蹲3×3 s最大克服 性等长收缩	单侧至对 侧	4、8 min	主要为同侧改善; 精英组部 分对侧跳高改善伴接触时间 改变
Helbin等 (2025) [17]	15名抗阻训练男 性	随机交叉; 等 长、增强式、等 时控制	单腿半蹲3×3×3 s; 或单腿 收膝跳3×5; 控制为7 min 步行	单侧至对 侧	3、6、9 min	非优势腿在全部条件均提 高; 无条件效应; 其他指标 无显著变化
Caldeira等 (2023) [23]	12名男性举重运 动员	随机交叉; 挺举 与控制	挺举4×3: 30%、50%、 65%、80%1RM; 组间2 min	多区域联 合	4、7、12 min	两项表现均优于控制
Pisz等 (2023) [22]	13名国家级女子 垒球运动员	随机交叉; 主动 肌、拮抗肌、徒 手条件	卧推/俯身划船2×4: 60%、80%1RM; 或俯卧 撑2×4	同一上肢 系统内肌 群选择	3、6、9 min	部分时点出现改善趋势; 方 案间无稳定差异

综合表1列出的17项研究, 直接证据没有形成跨方向、跨任务的一致增强模式。上肢至下肢的改善主要见于少数高强度卧推方案, 而无变化或下降结果来自缺少独立静息对照、设置一般或肌群特异性热身、采用最大等长卧推等不同情境^[7-10]; 下肢至上肢的改善也只在深跳方案中出现, 深蹲方案则报告无变化或非局部离心表现下降^[11,12]。跨侧研究的对照更充分, 但总体未显示稳定增强^[13-17]。因此, “非局部PAPE”现阶段更适合作为待验证的条件性现象, 其表现可能改善、无变化或下降, 而不能视为已经确立的独立增强效应。

4 非局部PAPE研究结果差异的影响因素

4.1 刺激方向具有不对称性

刺激方向可能是影响非局部反应的重要因素。高强度卧推后纵跳功率改善^[5,6], 并不能推定高强度深蹲会给上肢带来对等收益; 已有研究反而观察到上肢无变化或离心表现下降^[6,12]。不同方向涉及的肌群规模、姿势稳定需求、呼吸负担和中枢负荷并不相同。跨侧设计还会受到优势侧、任务熟练度

和对侧抑制的影响^[13-15]。

4.2 负荷决定潜在收益与疲劳成本

本文所称刺激负荷, 指条件活动的相对强度、组数、重复次数、收缩方式及总量, 不能只用强度概括。一般PAPE研究表明, 组数、重复次数、收缩方式和总量都会影响后续表现^[3,4,26-29]。在非局部研究中, 高强度卧推可能带来小幅下肢收益^[5,6], 最大等长卧推却可能降低纵跳表现^[8]; 高强度深蹲在增强局部等速表现的同时, 也可能损害非局部离心表现^[12]。因此, 即使强度标签相同, 净效应仍取决于总负荷和目标任务。

4.3 恢复时间对效应表现的影响

恢复间隔既影响疲劳消退, 也决定连续测试是否会成为新的条件刺激。一般PAPE研究常在刺激后数分钟观察到峰值, 但最佳时间并不固定^[30-33]。Laskin等^[7]只观察至3 min, 可能遗漏较晚的反应窗口; Cuenca-Fernández等^[21]在5和8 min发现所有条件均有改善, 更可能反映重复测试或一般准备效应; Power等^[15]在1和10 min均未观察到跨侧增强。

未来研究需要设置多个时点，同时控制连续测试对后续测量的影响。

4.4 训练水平与力量基础

训练背景可能影响个体对条件活动的反应，但现有直接证据尚未证明其能够稳定调节非局部PAPE。Wong等^[13]发现训练者的局部反应更明显，但未观察到系统性跨侧效应；Spokely等^[11]未发现非局部变化与力量水平或训练年限相关；Terbalyan等^[16]虽在精英运动员中观察到部分对侧变化，但其因果解释受到动作方式限制。因此，训练水平目前更适合作为潜在调节因素，而非确定的预测指标。

4.5 目标任务与结局指标的特异性

不同结局指标对条件活动的敏感性并不相同，包括纵跳高度与功率^[5,34]、等速峰值力矩和爆发性俯卧撑^[12]、卧推峰值速度与功率^[11]，以及冲刺加速表现^[35,36]。Kolinger等^[12]在同一实验中观察到局部等速表现提高、非局部离心表现下降，而动态任务没有变化。这说明对策略“是否有效”的判断必须对应具体任务和指标。此外，测试动作本身也可能产生学习、热身或二次条件刺激。

充分的对照是区分PAPE与一般热身效应的关键。Cuenca-Fernández等^[21]的静息条件同样出现改善；Rappelt等^[9]在一般热身和肌群特异性热身后未发现额外收益；Helbin等^[17]则发现非优势腿在条件活动和等时控制后均有提高。如果研究只比较前后测而不设置静息、标准热身或等时控制，小幅变化很容易被过度归因。因此，对照充分性应成为证据判断的一部分，而不能只作为方法学附注。

5 非局部PAPE的可能机制与证据局限

非局部PAPE的生理机制尚未得到直接验证，现有解释主要借鉴一般PAPE、神经交叉效应和运动准备研究，因此更适合作为待检验的理论假设，而非已经确立的因果机制。

5.1 神经调节与整体运动准备

早期PAP研究提出，肌球蛋白调节轻链磷酸化、高阶运动单位募集及羽状角变化可能参与增强反应^[2,19]；关于整体唤醒或全身准备状态的解释，则主要来自阻力启动研究^[37]。这些一般机制尚未在非局部PAPE中得到直接验证。Bartolomei等^[5]发现，高强度卧推后股四头肌肌电活动与纵跳功率同时增加，与神经调节假设相符，但单项肌电变化无法排除动作策略、测量变异和一般热身效应。一般PAPE还可能涉及肌肉温度和细胞水分变化^[1,38,39]，但这些全身性变化能否形成足以改善远隔

部位表现的效应尚不清楚。跨侧研究多报告无效或表现下降^[13-15]，充分热身后额外条件活动也未必产生附加收益^[9]。因此，中枢兴奋扩散、整体唤醒和全身准备状态目前只能作为非局部表现变化的候选解释。

5.2 潜在收益与疲劳成本

非目标区域条件活动可能同时带来潜在收益和额外疲劳，其净效应取决于刺激负荷、恢复状态和目标任务。低疲劳且与目标任务相容的刺激可能产生小幅收益；一般热身已经充分或刺激不足时，表现可能保持不变；总负荷过大或恢复不足或任务冲突时，则可能出现表现下降。现有增强、无效和下降结果均与这一框架相容^[5-9,11-15]，但这种一致性并不能证明其机制成立。后续研究仍需同步测量局部与非局部表现，并结合神经肌肉激活、疲劳和恢复过程建立表现变化与生理反应之间的证据链。

6 实践意义

6.1 证据尚不足以形成标准化应用

目前可用于直接判断非局部PAPE的研究数量有限，样本以男性训练者为主，条件活动的刺激负荷、恢复间隔和结局指标差异较大；表1中同时存在改善、无变化和表现下降的结果^[5-17,22]。因此，现有证据不能支持普遍有效的热身方案，也不足以根据单项提升结果确定固定的刺激负荷和恢复时间。

6.2 仅适合训练阶段的个体化探索

实践中若要测试该策略，应先保留一般热身、目标肌群激活和专项动作练习，再把非目标区域条件活动作为可以随时撤回的附加模块。训练阶段可对同一运动员进行多次A/B比较：在相同一般热身后，随机安排附加条件活动或等时控制，记录专项主要结局、主观疲劳和不良反应，并在不同日期重复。单次提高不能视为稳定反应。

6.3 应用中的负荷控制与风险管理

方案测试应从较低总量开始，避免在充分热身后继续叠加大肌群高刺激负荷活动。一旦目标表现下降、动作技术受损或疲劳明显增加，应降低刺激负荷或减少总量、延长恢复时间或停止该模块。跨侧方案和下肢至上肢的高刺激负荷方案证据尤其不稳定，不宜在重要比赛前首次采用。

7 研究局限与未来方向

7.1 本综述的证据边界

本文的证据边界首先来自研究类型：检索覆盖PubMed、Crossref和OpenAlex，但综述采用叙述性筛选，未进行双人独立筛选、正式风险偏倚评价或效应量合并，也未取得各数据库的原始导出文件和逐条排除记录。因此，本文能够比较研究设计和结果方向，却不能据此估计非局部PAPE的平均效应、发生概率或研究质量的相对权重。表1提供了当前文稿中可复核的17项研究清单，但不替代完整的检索日志。

7.2 加强实验设计与效应控制

下一步最需要解决的是“前后测改善究竟来自什么”。Cuenca-Fernández等^[21]的静息条件也出现改善，Rappelt等^[9]未发现胸推超过热身的附加收益，Helbin等^[17]则在条件活动和等时控制后都观察到非优势腿提高。后续实验应至少设置等时静息或标准热身对照，并在同一时间轴上测试刺激区域和目标区域；测试次数、顺序和心理预期也应保持一致，必要时将各项测试安排在不同日期，以免前一项测试成为后一项测试的条件刺激。

7.3 提高机制研究可验证性

机制研究不宜从“可能涉及神经调节、温度或唤醒”直接推到结论，而应先规定可证伪的假设。若假设是中枢驱动变化，应同步记录皮质脊髓兴奋性、运动单位或规范化肌电；若假设是温度效应，应记录目标区域的温度时间进程；若假设是唤醒变化，则应加入自主神经和主观准备度指标。若实验只测量运动表现，讨论应停留在解释框架，不能把表现与单项肌电变化直接等同于机制成立。

7.4 分别检验方向、刺激负荷和恢复时间

上肢至下肢、下肢至上肢和跨侧设计不应在同一效应框架中直接合并。研究应分别比较相对强度、组数、重复次数、收缩方式、总量和恢复时点，并完整报告条件活动细节、组间间歇、测试顺序、个体原始数据和预先规定的主要结局。这样才能判断Bartolomei等^[5,6]观察到的改善是否依赖特定负荷，也才能解释Kolinger等^[12]和Downey等^[8]所见的下降是否来自刺激负荷过高或恢复不足。

7.5 加强个体反应稳定性验证

在扩大样本之前，应先确认个体反应是否能跨日重复。未来研究可在女性、不同运动项目和不同训练水平人群中进行多次随机交叉测试，将受试者区分为稳定改善、无明显反应和表现下降者；只有同一人的方向和幅度在重复测试中保持相近，个体

化建议才有实践依据。待研究数量和记录完整性提高后，再开展预注册的系统综述或Meta分析。

结论

综合纳入研究结果，目前尚缺乏支持非局部PAPE作为稳定跨区域增强现象的充分证据。上肢至下肢方向中，Bartolomei等研究报告高强度卧推后的纵跳功率提高，但Laskin等未见总体改善，Downey等观察到纵跳高度下降，Rappelt等和Santos da Silva等也未发现超出对照或热身的明确收益^[5-10]。下肢至上肢方向只有Spokely等报告卧推速度和功率提高，深蹲相关研究则出现无变化或非局部离心表现下降^[11,12]。跨侧研究总体未形成稳定增强，部分研究还提示运动学习或控制条件本身即可带来提高^[13-17]。主动肌/拮抗肌条件活动以及全身联合动作有助于理解激活方式和动作协同对表现的影响，但其研究设计仍难以单独回答远隔区域贡献的问题^[22,23]。

本研究得出的结论是：非局部PAPE后的表现变化受刺激方向、总负荷、恢复时间和目标任务共同制约，可能改善，也可能没有变化或出现下降。神经调节、整体唤醒以及潜在收益与疲劳的平衡仍是待检验的解释，不能作为已被证实的机制。在实际应用中，该策略更适合作为训练阶段的个体化尝试。应用前应保持常规热身和专项准备，并通过多次对照测试确认个人反应，不宜依据单次表现变化形成固定方案。

参考文献

- [1] Blazevich A J, Babault N. Post-Activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues[J]. *Frontiers in Physiology*, 2019, 10: 1359. DOI: 10.3389/fphys.2019.01359.
- [2] Hodgson M, Docherty D, Robbins D. Post-Activation Potentiation: Underlying Physiology and Implications for Motor Performance[J]. *Sports Medicine*, 2005, 35(7): 585-595. DOI: 10.2165/00007256-200535070-00004.
- [3] Wilson J M, Duncan N M, Marin P J, et al. Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power: Effects of Conditioning Activity, Volume, Gender, Rest Periods, and Training Status[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2013, 27(3): 854-859. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb.
- [4] Seitz L B, Haff G G. Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and

- Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis[J]. *Sports Medicine*, 2016, 46(2): 231-240. DOI: 10.1007/s40279-015-0415-7.
- [5] Bartolomei S, De Luca R, Marcora S M. May a Nonlocalized Postactivation Performance Enhancement Exist Between the Upper and Lower Body in Trained Men?[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2023, 37(1): 68-73. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004243.
- [6] Bartolomei S, Lanzoni I M, Fantozzi S, Cortesi M. A Comparison between Non-Localized Post-Activation Performance Enhancements Following Resistance Exercise for the Upper and the Lower Body[J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(3): 1639. DOI: 10.3390/app12031639.
- [7] Laskin G, Talpey S, Gregory R. The Effects of an Upper Body Conditioning Stimulus on Lower Body Post-Activation Performance Enhancement (PAPE): A Pilot Study[J]. *International Journal of Strength and Conditioning*, 2021, 1(1). DOI: 10.47206/ijsc.v1i1.64.
- [8] Downey R J, Deprez D A, Chilibeck P D. Effects of Postactivation Potentiation on Maximal Vertical Jump Performance After a Conditioning Contraction in Upper-Body and Lower-Body Muscle Groups[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022, 36(1): 259-261. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004171.
- [9] Rappelt L, Held S, Wiedenmann T, Mücke F, Donath L. Post-activation Performance Enhancement (PAPE) Protocols Do Not Further Increase Jumping Performance beyond Warm-Up Effects: Findings from Three Acute Randomized Crossover Trials[J]. *Frontiers in Physiology*, 2024, 15: 1447421. DOI: 10.3389/fphys.2024.1447421.
- [10] Santos da Silva V, Nakamura F Y, Gantois P, et al. Effects of Upper-Body and Lower-Body Conditioning Activities on Postactivation Performance Enhancement During Sprinting and Jumping Tasks in Female Soccer Players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2024, 38(2): 342-349. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004562.
- [11] Spokely N J, Waggoner J D, Cervantes C A, Kearney M L. Plyometrics Evokes Non-Localized Post-Activation Performance Enhancement During the Bench Press in Experienced, Recreational Male Lifters[J]. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 2025: 1-10. DOI: 10.1007/s42978-025-00337-9.
- [12] Kolinger D, Stastny P, Pisz A, et al. High-Intensity Conditioning Activity Causes Localized Postactivation Performance Enhancement and Nonlocalized Performance Reduction[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2024, 38(1): e1-e7. DOI: 10.1519/JSC.0000000000004590.
- [13] Wong V, Yamada Y, Bell Z W, et al. Postactivation Performance Enhancement: Does Conditioning One Arm Augment Performance in the Other?[J]. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 2020, 40(6): 407-414. DOI: 10.1111/cpf.12659.
- [14] Andrews S K, Horodyski J M, MacLeod D A, Whitten J, Behm D G. The Interaction of Fatigue and Potentiation Following an Acute Bout of Unilateral Squats[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2016, 15(4): 625-632.
- [15] Power G M J, Colwell E, Saeterbakken A H, Drinkwater E J, Behm D G. Lack of Evidence for Non-Local Muscle Fatigue and Performance Enhancement in Young Adults[J]. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2021, 20(2): 339-348. DOI: 10.52082/jssm.2021.339.
- [16] Terbaljan A, Mikołajec K, Krzysztofik M, et al. Effects of Overcoming Isometric Unilateral Conditioning Activity on Subsequent Single-Leg Drop Jump in Elite and Amateur Volleyball Players: A Randomized Crossover Trial[J]. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2025, 17(1): 30. DOI: 10.1186/s13102-025-01083-9.
- [17] Helbin J, Latocha A, Spieszny M, et al. Acute Effects of Unilateral Conditioning Activity on Unilateral and Bilateral Jumping Performance and Bilateral Strength Asymmetry[J]. *Scientific Reports*, 2025, 15: 10552. DOI: 10.1038/s41598-025-88580-6.
- [18] Sale D G. Postactivation Potentiation: Role in Human Performance[J]. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2002, 30(3): 138-143. DOI: 10.1097/00003677-200207000-00008.
- [19] Tillin N A, Bishop D. Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities[J]. *Sports Medicine*, 2009, 39(2): 147-166. DOI: 10.2165/00007256-200939020-00004.
- [20] Boulosa D, Beato M, Dello Iacono A, et al. A New Taxonomy for Postactivation Potentiation in Sport[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2020, 15(8): 1197-1200. DOI:

- 10.1123/ijsp.2020-0350.
- [21] Cuenca-Fernández F, Smith I C, Jordan M J, et al. Nonlocalized Postactivation Performance Enhancement (PAPE) Effects in Trained Athletes: A Pilot Study[J]. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 2017, 42(10): 1122-1125. DOI: 10.1139/apnm-2017-0217.
- [22] Pisz A, Blazek D, Jebavy R, et al. Antagonist Activation Exercises Elicit Similar Post-Activation Performance Enhancement as Agonist Activities on Throwing Performance[J]. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2023, 15(1): 44. DOI: 10.1186/s13102-023-00657-9.
- [23] Caldeira C, Lima-Silva A E, Tricoli V, Rodacki C L N, Paulo A C. Simultaneous Upper- and Lower-Limb Postactivation Performance Enhancement After Clean and Jerk[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2023, 18(10): 1206-1212. DOI: 10.1123/ijsp.2022-0419.
- [24] Rassier D E, MacIntosh B R. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle[J]. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 2000, 33(5): 499-508. DOI: 10.1590/S0100-879X2000000500003.
- [25] Hamilton A R, Behm D G. The Effect of Prior Knowledge of Test Endpoint on Non-Local Muscle Fatigue[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2017, 117(4): 651-663. DOI: 10.1007/s00421-016-3526-4.
- [26] Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kasimatis P, et al. Effect of a Submaximal Half-Squats Warm-up Program on Vertical Jumping Ability[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2003, 17(2): 342-344. DOI: 10.1519/00124278-200305000-00021.
- [27] Esformes J I, Cameron N, Bampouras T M. Postactivation Potentiation Following Different Modes of Exercise[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24(7): 1911-1916. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181dc47f8.
- [28] Comyns T M, Harrison A J, Hennessy L, Jensen R L. Identifying the Optimal Resistive Load for Complex Training in Male Rugby Players[J]. *Sports Biomechanics*, 2007, 6(1): 59-70. DOI: 10.1080/14763140601058540.
- [29] Tsoukos A, Brown L E, Veligekas P, et al. Postactivation Potentiation of Bench Press Throw Performance Using Velocity-Based Conditioning Protocols with Low and Moderate Loads[J]. *Journal of Human Kinetics*, 2019, 68(1): 81-98. DOI: 10.2478/hukin-2019-0058.
- [30] Kilduff L P, Bevan H R, Kingsley M I C, et al. Postactivation Potentiation in Professional Rugby Players: Optimal Recovery[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21(4): 1134-1138. DOI: 10.1519/R-20996.1.
- [31] Crewther B T, Kilduff L P, Cook C J, et al. The Acute Potentiating Effects of Back Squats on Athlete Performance[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(12): 3319-3325. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318215f560.
- [32] Lowery R P, Duncan N M, Loenneke J P, et al. The Effects of Potentiating Stimuli Intensity Under Varying Rest Periods on Vertical Jump Performance and Power[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26(12): 3320-3325. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318270fc56.
- [33] McCann M R, Flanagan S P. The Effects of Exercise Selection and Rest Interval on Postactivation Potentiation of Vertical Jump Performance[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24(5): 1285-1291. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181d6867c.
- [34] Dobbs W C, Toluoso D V, Fedewa M V, Esco M R. Effect of Postactivation Potentiation on Explosive Vertical Jump: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2019, 33(7): 2009-2018. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002750.
- [35] Turner A P, Bellhouse S, Kilduff L P, Russell M. Postactivation Potentiation of Sprint Acceleration Performance Using Plyometric Exercise[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015, 29(2): 343-350. DOI: 10.1519/JSC.0000000000000647.
- [36] Brink N J, Constantinou D, Torres G. Postactivation Performance Enhancement (PAPE) of Sprint Acceleration Performance[J]. *European Journal of Sport Science*, 2022, 22(9): 1411-1417. DOI: 10.1080/17461391.2021.1955012.
- [37] Harrison P W, James L P, McGuigan M R, et al. Resistance Priming to Enhance Neuromuscular Performance in Sport: Evidence, Potential Mechanisms and Directions for Future Research[J]. *Sports Medicine*, 2019, 49(10): 1499-1514. DOI: 10.1007/s40279-019-01136-3.
- [38] Docherty D, Hodgson M J. The Application of Postactivation Potentiation to Elite Sport[J]. *International Journal of Sports Physiology and*

Performance, 2007, 2(4): 439-444. DOI: 10.1123/ijssp.2.4.439.
[39] Robbins D W. Postactivation Potentiation and Its Practical Applicability: A Brief Review[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2005, 19(2): 453-458. DOI: 10.1519/R-14653.1.

Evidence Boundaries and Moderating Factors of Nonlocalized Post-Activation Performance Enhancement: Directionality, Task Specificity, and Load Dependence

Cao Zhiyu

Jiangsu Normal University, Xuzhou

Abstract: Nonlocalized post-activation performance enhancement (PAPE) describes an acute performance change after a conditioning activity that primarily engages a different body region from the subsequent task. This narrative review searched PubMed, Crossref, and OpenAlex through 1 July 2026 and classified the literature as direct or extended evidence. The available direct evidence is inconsistent. The pilot study by Cuenca-Fernández et al. did not exclude rest or repeated-testing effects and therefore cannot confirm an independent nonlocal enhancement. Some studies of cross-regional transfer between the upper and lower body reported performance gains, whereas contralateral studies, better-controlled experiments, and high-load protocols found no change or impaired performance. Studies of agonist/antagonist activation and whole-body conditioning provide only indirect support. Overall, nonlocal performance changes appear to depend on stimulus direction, task demands, and conditioning load rather than reflect a stable, uniform effect. The evidence does not yet support a standardized protocol, so any individualized testing should be limited to training settings.

Keywords: post-activation performance enhancement; nonlocalized effect; conditioning activity; evidence boundary; warm-up strategy