

全身振动训练对延迟性肌肉酸痛影响的 Meta 分析

牛蕊蕊¹, 李永杰², 樊梦豪³

【摘要】 目的:系统评价全身振动训练(WBVT)对延迟性肌肉酸痛(DOMS)的临床疗效。**方法:**系统检索 Scopus、Springer link、Web of Science、ProQuest 中英文数据库,搜索关于全身振动训练治疗延迟性肌肉酸痛的随机对照试验(RCT)。根据 Cochrane 手册对纳入文献进行风险偏倚评价,并在数据提取后使用 RevMan5.3 软件进行统计学分析。**结果:**共 9 项 RCT 纳入 Meta 分析,共 263 例患者。结果显示,①在缓解主观疼痛方面,WBVT 组在运动后 24h、48h、72h 时的改善均显著优于对照组(运动后 24h: SMD = -1.65, $P=0.002$; 48h: SMD = -2.21, $P<0.001$; 72h: SMD = -1.63, $P=0.009$);在增强肌肉压痛阈值方面,WBVT 组在运动后 24h、48h、72h 时的改善均显著优于对照组(运动后 24h: SMD = 0.78, $P<0.001$; 运动后 48h: SMD = 1.21, $P<0.001$; 运动后 72h: SMD = 1.51, $P<0.001$);②在降低血清 CK 方面,全身振动训练在运动后的 24h、48h 内均优于对照组(运动后 24h: WMD = -106.55, $P<0.001$; 48h: WMD = -103.39, $P<0.001$);③在促进肌力恢复方面,运动后 24h、48h 的 60°等速力矩指标均优于对照组(运动后 24h: WMD = 10.71, $P<0.001$; 48h: WMD = 8.22, $P<0.001$);④在改善关节活动度方面,WBVT 各时间点的膝关节主动活动度与对照组相比,差异均无统计学意义。**结论:**WBVT 可有效缓解 DOMS 后的主观疼痛程度,提高肌肉压痛阈值,促进肌力恢复,改善肌肉微损伤。另外,对于 WBVT 改善 DOMS 后膝关节主动活动度的效果尚需进一步研究。

【关键词】 全身振动训练;延迟性肌肉酸痛;Meta 分析;运动能力

【中图分类号】 R49; R722.14+2 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2021.01.009

Effects of whole-body vibration training on Delayed Onset Muscle Soreness: A Meta-analysis Niu Xinrui, Li Yongjie, Fan Menghao. *Tianjin University of Traditional Chinese Medicine*, Tianjin 301617, China

【Abstract】 Objective: To systematically evaluate the clinical effect of whole body vibration training (WBVT) on delayed onset muscle soreness (DOMS). **Methods:** The random controlled trials (RCTs) about the effect of whole body vibration training (WBVT) on delayed onset muscle soreness were searched from Scopus, Springer link, Web of Science, ProQuest, etc. The included literature was evaluated for risk bias according to the Cochrane Handbook, and statistical analysis was performed using RevMan5.3 software after data extraction. **Results:** A total of 9 RCTs were included in the meta-analysis, with a total of 263 patients. The results showed that: (1) In terms of relieving subjective pain, the improvement in the WBVT group at 24h, 48h, and 72h after exercise was significantly better than that in the control group (24h after exercise: SMD = -1.65, $P=0.002$; 48h: SMD = -2.21, $P<0.001$; 72h: SMD = -1.63, $P=0.009$). In terms of enhancing pressure pain threshold, the improvement in the WBVT group at 24h, 48h, and 72h after exercise was significantly better than in the control group (24h after exercise: SMD = 0.78, $P<0.001$; 48h after exercise: SMD = 1.21, $P<0.001$; 72h after exercise: SMD = 1.51, $P<0.001$); (2) In terms of reducing serum CK, WBVT was excellent within 24 h and 48h after exercise in the control group (24h after exercise: WMD = -106.55, $P<0.001$; 48h: WMD = -103.39, $P<0.001$); (3) In terms of promoting muscle recovery, the 60° isokinetic torque index at 24h and 48 h after exercise was better than that in the control group (WMD = 10.71, $P<0.001$; WMD = 8.22, $P<0.001$ at 48h); (4) There was no significant difference in the active knee joint activity between the WBVT group and control group. **Conclusion:** WBVT can effectively relieve the degree of subjective pain after DOMS, increase the muscle tenderness threshold, promote muscle strength

recovery, and improve muscle microinjury. In addition, the effect of WBVT on improving the active degree of knee joint after DOMS needs further study.

【Keywords】 whole body vibration training; delayed onset muscle soreness; Meta analysis; motor ability

收稿日期:2020-03-12

作者单位:1. 天津中医药大学研究生院,天津 301617;2. 武汉体育学院,武汉 430079;3. 山西省中西医结合医院,太原 030013

作者简介:牛蕊蕊(1996-),女,在读硕士研究生,主要从事中西医结合的研究。

通讯作者:樊梦豪,2873583143@qq.com

延迟性肌肉酸痛 (delayed onset muscle soreness, DOMS) 多出现在不习惯或者大强度的离心收缩运动后^[1]。既往证据显示, 离心运动会致骨骼肌组织周围产生机械性损伤, 从而引发诸如炎症反应、肌肉力量减弱及血清 CK 和肌红蛋白增多等症状^[2], 进而导致肌肉力量减弱。竞技体育中, DOMS 的出现也易使运动员出现疲劳、注意力不集中、情绪波动等问题, 增加运动员在训练和比赛中出现运动损伤的风险, 进而影响其运动表现的发挥。因此, 如何科学地缓解 DOMS, 这对于专业运动员维持和提高比赛成绩有积极作用。

全身振动训练 (whole body vibration training, WBVT) 作为一种新兴的缓解肌肉酸痛、增强力量的训练方法^[3], 近年来在运动康复领域应用广泛。WBVT 通过振动平台预设小频率运动负荷的正弦波, 刺激神经肌肉牵张反射, 提高运动诱发电位频率, 最终使神经系统刺激性反射兴奋^[4]。既往研究^[5]显示, WBVT 的特点是以机械振动形式将“骨骼—肌肉—神经”联系起来, 增强肌肉功能、维持姿态稳定性及调节肌肉神经控制, 进而减轻或避免延迟性肌肉酸痛。然而当前大多研究存在样本量较少、方法学质量不高等问题, 故研究结果尚存争议。因此, 本研究采用 Meta 分析的方法系统评价 WBVT 对 DOMS 的影响, 为临床应用提供可靠的循证医学依据。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

1.1.1 研究类型 检索中英文文献中关于 WBVT 治疗 DOMS 的随机对照试验 (randomized controlled trial, RCT)。

1.1.2 研究对象 受试者通过具体的方法诱发下肢股四头肌产生 DOMS, 其方法在原文中需明确指出 (如下坡跑、负重蛙跳等); 剧烈运动后的 24~72h 后出现肌肉酸痛和肌肉力量减弱的现象; 下肢无损伤, 无重大心血管疾病; 其年龄、性别不限; 身体健康, 意识清晰, 且积极配合, 知情同意。

1.1.3 干预措施 实验组仅接受 WBVT 治疗, 振动的频率、强度不限; 对照组为空白对照, 不进行任何干预措施。

1.1.4 结局指标 ①疼痛: 视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS), 肌肉压痛阈值, 其分数越低, 表明肌肉的疼痛耐受能力越低; ②肌力: 60°等速力矩测试和膝关节活动度; ③血清: 血清肌酸激酶 (creatinine kinase, CK); ④关节活动度: 膝关节主动活动度。

1.1.5 排除标准 ①文献多次发表; ②动物实验; ③相关数据缺失; ④文献全文无法正常获取; ⑤非 RCT。

1.2 检索策略 系统检索 Scopus、Springer link、Web of Science、ProQuest、PubMed、The Cochrane Library、OpenGrey、知网、万方、维普数据库, 搜索关于全身振动训练治疗延迟性肌肉酸痛的 RCT, 检索时间控制为 2000 年 12 月 1 日~2019 年 12 月 1 日。检索策略采取主题词和自由词相结合的办法, 并追查纳入文献的参考文献。中文检索词包括全身振动、振动训练、延迟性肌肉酸痛等, 具体的检索式 (知网为例): (全身振动 OR 振动训练 OR 振动) AND (延迟性肌肉酸痛 OR 肌肉酸痛 OR 延迟)。英文检索词包含 delayed onset muscle soreness、DOMS、whole-body vibration 等。以 Pubmed 为例, 具体的检索式为: (delayed onset muscle soreness[Title/Abstract] OR muscle soreness[Title/Abstract] OR delayed onset[Title/Abstract] OR DOMS[Title/Abstract]) AND (whole body vibration[Title/Abstract] OR vibration training[Title/Abstract] OR vibration[Title/Abstract])。

1.3 文献筛选、资料提取 由两位作者 (牛蕊蕊和李永杰) 分别使用 Endnote X7 进行文献筛选。首先进行文献剔除, 再按照提前设定的纳入标准阅读文献的标题和摘要, 进而确定最终的纳入文献。在 Excel 中进行资料收集, 提取的文献资料信息包括: 第一作者和发表年份、发表国、样本量、性别、年龄、振动频率、干预措施 (实验组和对照组)、结局指标、时间点。

1.4 质量评估

1.4.1 纳入研究的方法学质量评估 根据 Cochrane 手册设立的风险偏倚评估标准^[6], 由两位作者 (牛蕊蕊和李永杰) 独立的对纳入文献进行方法学质量评价。如果遇到分歧, 由研究小组集体讨论解决。

1.4.2 证据质量评估 基于文献风险偏倚评估和 Meta 分析的结果, 使用 GRADEpro 3.6.1 对所有结局的证据质量进行分级^[7], 共分为高、中、低、极低级质量 4 个等级。质量评级标准为: 质量不降级为高质量, 降 1 级为中等质量, 将 2 级为低级质量, 降 3 级为极低级质量。

1.5 统计学方法 采用 Revman 5.3 软件进行统计分析。此次研究所有结局指标均为连续性数据, 若结局指标为同一量表和单位所评定, 则采用加权均数差 (weighted mean difference, WMD) 为效应指标; 若采用不同的量表和单位, 则采用标准化均数差 (standard mean difference, SMD) 为效应指标, 各效应量均以 95%CI 表达, 以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。对纳入研究进行异质性分析, 当 $P > 0.1$, $I^2 < 50\%$, 表示各研究之间具有同质性, 采用固定效应模型进行 Meta 分析; 反之, 则表明各研究之间存在异质性, 采用随机

效应模型进行 Meta 分析,并通过亚组分析或者敏感性分析寻找异质性来源。

2 结果

2.1 文献筛选结果和纳入文献的基本资料 对中英文数据库初次检索,共获取相关文献 1714 篇,使用 EndnoteX7 剔除重复文献 591 篇,剩余 1123 篇。通过初次阅读文献标题、摘要,筛选出 25 篇文献;经进一步全文分析剔除文献 16 篇,最终获得 9 项 RCT 研究^[8-16],共 263 例受试者,具体筛选流程见图 1,基本资料总结见表 1。

2.2 纳入研究的偏倚风险评估结果和证据质量等级 共纳入 9 篇文献^[8-16],其中有 4 篇文献报告了随机序列(如随机数字表)具体的产生方法;3 篇文献使用了分配隐藏方法;4 篇文献指出对受试者实施盲法;2 篇文献指出对结局指标评价者实施盲法;所有纳入文献均未发现结局数据缺失和选择性报告结果,并未有足够信息判断纳入文献是否存在其他偏倚来源。具体的风险评估见图 2 和图 3。本研究拥有 5 个结局指标,应用 GRADE 系统对所有指标的证据等级进行了分级,血清 CK 的证据质量为中级,其余指标的证据质量均为低级。具体内容见表 2。

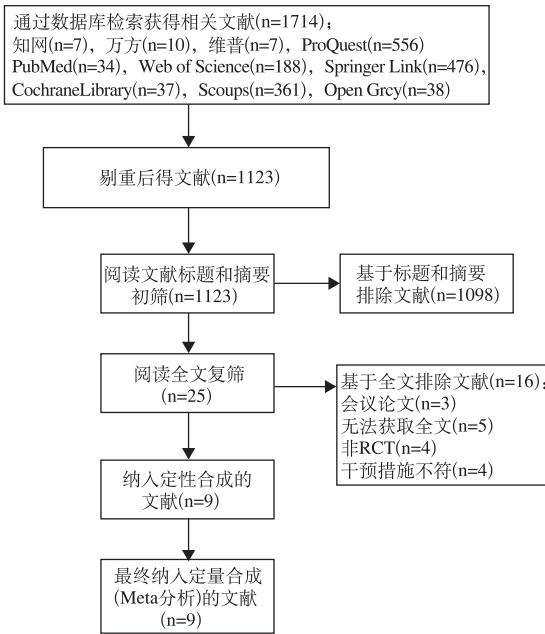


图 1 文献筛选流程

研究	随机序列生成(selection bias)	分配隐藏(selection bias)	参与者和人员盲法(performance bias)	结局评估盲法(detection bias)	不完整结局数据(attrition bias)	选择性报告(reporting bias)	其他偏倚
Aminian2011	+	+	+	+	+	+	+
Dabbs2015	+	+	+	+	+	+	+
Drennen2014	+	+	+	+	+	+	+
KIM2007	+	+	+	+	+	+	+
MAGOFFIN2018	+	+	+	+	+	+	+
Timon2016	+	+	+	+	+	+	+
宋法明2017	+	+	+	+	+	+	+
沈业辉2017	+	+	+	+	+	+	+
钟国友2019	+	+	+	+	+	+	+

图 2 风险偏倚评估总结图

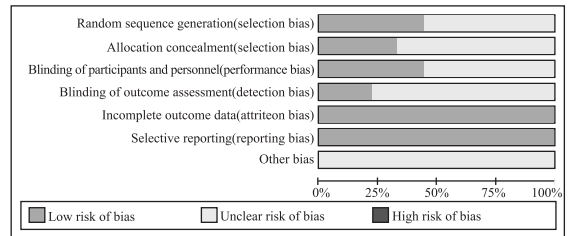


图 3 风险偏倚评估比例图

表 1 纳入研究的基本资料

纳入研究	国家	样本量 (T/C)	性别(例) (M/F)	年龄(岁, $\bar{x} \pm s$) (T/C)	振动频率 (Hz)	振幅 (mm)	振动时间 (min)	干预措施 (T/C)	结局指标	时间点
Aminian 2011 ^[8]	伊朗	15/17	10/22	21.5 ± 2.7 / 21.9 ± 1.9	35	24	5	WBVT/空白对照	10cmVAS、血清 CK、60°等速力矩	运动后 24h、48h
Dabbs 2015 ^[9]	美国	16/14	0/30	21.0 ± 1.9 / 22.0 ± 1.9	30	24	未提及	WBVT/空白对照	10cmVAS、肌肉压痛阈值、膝关节活动度	运动后 24h、48h、72h
Drennen 2014 ^[10]	美国	15/15	0/27	21 ± 1.9 / 21 ± 1.9	30	2~4	6	WBVT/空白对照	肌肉压痛阈值	运动后 24h、48h、72h
KIM 2007 ^[11]	韩国	7/7	未提及	18~25	26	3	11	WBVT/空白对照	10cmVAS、肌肉压痛阈值	运动后 24h、48h、72h
MAGOFFIN 2018 ^[12]	美国	15/15	30/0	22.7 ± 2.9 / 22.7 ± 2.9	40	2.05	5	WBVT/空白对照	100mmVAS、肌肉压痛阈值、膝关节活动度	运动后 24h、48h
Timon 2016 ^[13]	西班牙	10/10	未提及	24.2 ± 0.5 / 23.4 ± 1.4	30	4	3	WBVT/空白对照	100mmVAS、血清 CK	运动后 24h、48h
宋法明 2017 ^[14]	中国	9/9	未提及	20~25	30	1.5	9	WBVT/空白对照	100mmVAS、血清 CK、膝关节活动度	运动后 24h、48h、72h
沈业辉 2017 ^[15]	中国	6/6	30/0	20.5 ± 1.5 / 20.5 ± 1.5	35	2	6	WBVT/空白对照	10cmVAS	运动后 24h、48h、72h
钟国友 2019 ^[16]	中国	19/18	74/0	19.3 ± 1.0 / 19.0 ± 1.2	20~50	1~3	10	WBVT/空白对照	10cmVAS、60°等速力矩	运动后 24h、48h、72h

注: T=实验组, C=对照组; M=男性, F=女性; CK=肌酸激酶; WBVT=全身振动训练; VAS=视觉模拟评分法

表 2 GRADE 推荐分级

结局指标	结局重要性	样本量	偏倚风险	不一致性	间接性	精确性	发表偏倚	绝对效应 WMD/SMD(95%)	总体证据质量
主观疼痛	重要结局	193	严重 1	严重 1	无	无	未发现	SMD -1.82(-2.45,-1.18)	低
肌肉压痛阈值	重要结局	104	严重 1	无	无	严重 1	未发现	SMD 1.06(0.79,1.33)	低
血清 CK	重要结局	70	严重 1	无	无	无	未发现	WMD -104.53(-134.57,-74.50)	中等
60°等速力矩	重要结局	69	严重 2	无	无	无	未发现	WMD 9.29(7.83,10.74)	低
膝关节活动度	重要结局	80	严重 1	无	无	严重 1	未发现	WMD 3.70(-0.21,7.62)	低

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 主观疼痛 8项研究分析了WBVT对DOMS后主观疼痛的影响,总计193例受试者。 χ^2 检验表明各研究间的异质性较显著($I^2=87\%$, $P<0.001$)。采用随机效应模型进行合并分析,WBVT在缓解主观疼痛方面优于对照组,差异具有统计学意义[SMD=-1.82,95%CI(-2.45,-1.18), $P<0.001$],见图4。根据评估的时间点进行亚组分析,结果显示:在运动后24h、48h、72h,WBVT在改善主观疼痛方面优于对照组,差异具有统计学意义[运动后24h:SMD=-1.65,95%CI(-2.67,-0.63), $P=0.002$, $I^2=88\%$][48h:SMD=-2.21,95%CI(-3.39,-1.03), $P<0.001$, $I^2=88\%$][72h:SMD=-1.63,95%CI(-2.85,-0.40), $P=0.009$, $I^2=85\%$]。漏斗图(图5)结果提示存在发表偏倚的可能性小,结论比较可靠。通过敏感性分析发现,各亚组的研究结果未发生明显改变,提示结果较为稳定。

2.3.2 肌肉压痛阈值 4项研究分析了WBVT对DOMS

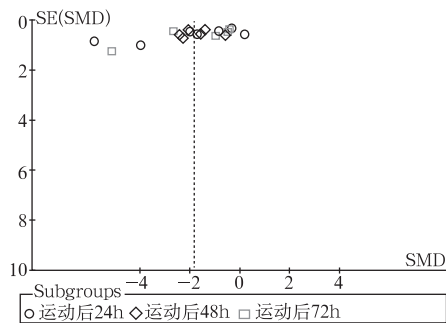


图 5 关于主观疼痛的漏斗图分析

后肌肉压痛阈值的影响,共104例受试者。 χ^2 检验提示各研究间的统计学异质性不明显($I^2=25\%$, $P=0.22$)。通过固定效应模型进行合并分析发现,与对照组相比,WBVT在提高肌肉压痛阈值方面更优,差异具有统计学意义[SMD=1.06,95%CI(0.79,1.33), $P<0.001$],见图6。根据评估的时间点进行亚组分析。结果显示:在运动后24h、48h、72h,WBVT在提高压痛阈值方面均优于对照组,差异具有统计学意义[运动后24h:SMD=0.78,95%CI(0.38,1.18), $P<0.001$, $I^2=0\%$][48h:SMD=1.21,95%CI(0.77,1.64), $P<0.001$, $I^2=46\%$][72h:SMD=1.51,95%CI(0.81,2.20), $P<0.001$, $I^2=44\%$]。

2.3.3 血清 CK 3项研究分析了WBVT对DOMS后血清CK水平的影响,共70例受试者。 χ^2 检验表明各研究间的异质性较显著($I^2=90\%$, $P<0.001$)。通过随机效应模型进行合并分析发现,WBVT在改善降低CK方面优于对照组,差异具有统计学意义[WMD=-104.53,95%CI(-134.57,-74.50), $P<0.001$],见图7。根据评估的时间点进行亚组分析。结果显示:在运动后24h、48h,WBVT在改善血清CK方面均优于对照组,差异具有统计学意义[运动后24h:WMD=-160.55,95%CI(-160.87,-52.23), $P<$

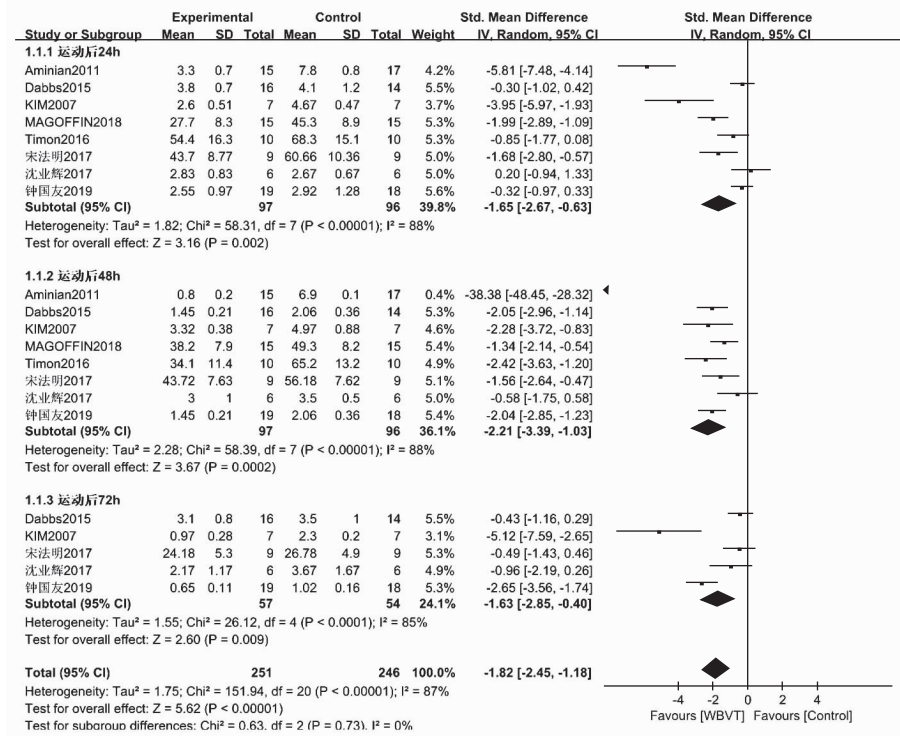


图 4 WBVT 对 DOMS 后主观疼痛影响的 Meta 分析

0.001, $I^2 = 91\%$) [48h: WMD = -103.39, 95% CI (-151.50, -55.29), $P < 0.001$, $I^2 = 92\%$].

2.3.4 60°等速力矩 2项研究报告了WBVT对DOMS后60°等速力矩的影响,共69例受试者。 χ^2 检验提示各研究间的异质性不明显($I^2 = 35\%$, $P = 0.20$)。通过固定效应模型进行合并分析发现, WBVT在促进肌力恢复方面优于对照组,差异具有统计学意义[WMD = 9.29, 95% CI (7.83, 10.74), $P < 0.001$],见图8。根据评估的时间点进行亚组分析。

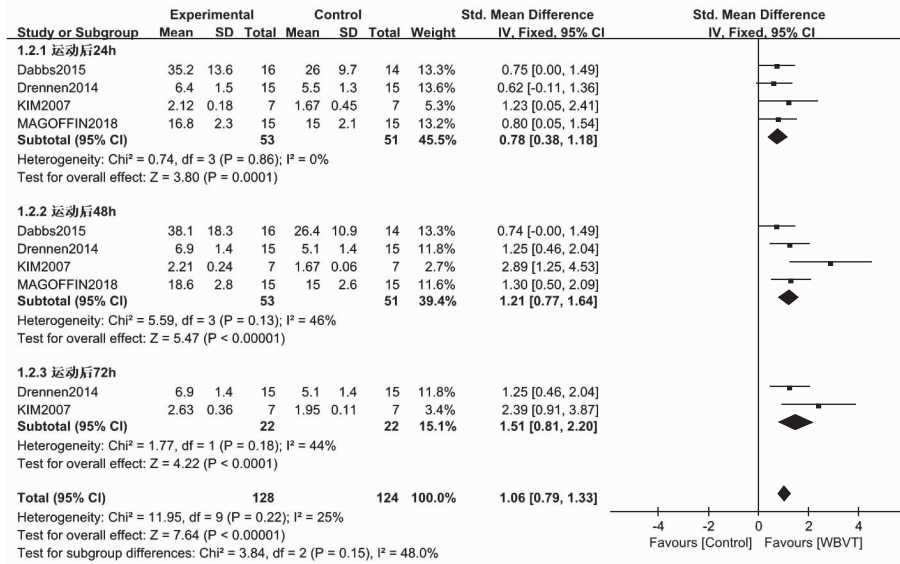


图6 WBVT对DOMS后肌肉压痛阈值影响的Meta分析

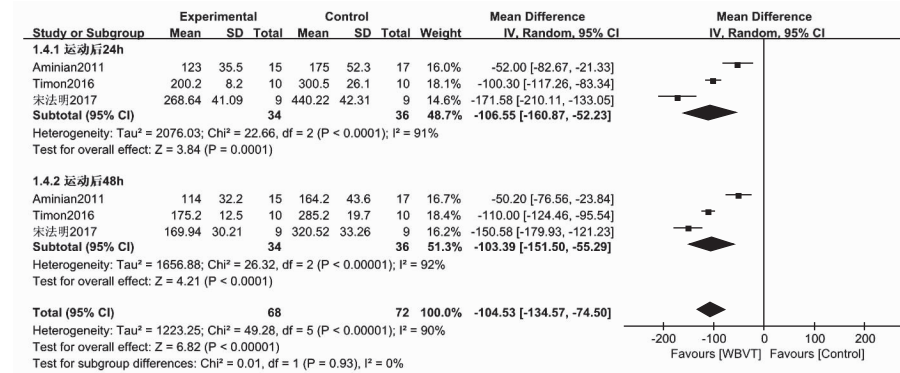


图7 WBVT对DOMS后血清CK水平影响的Meta分析

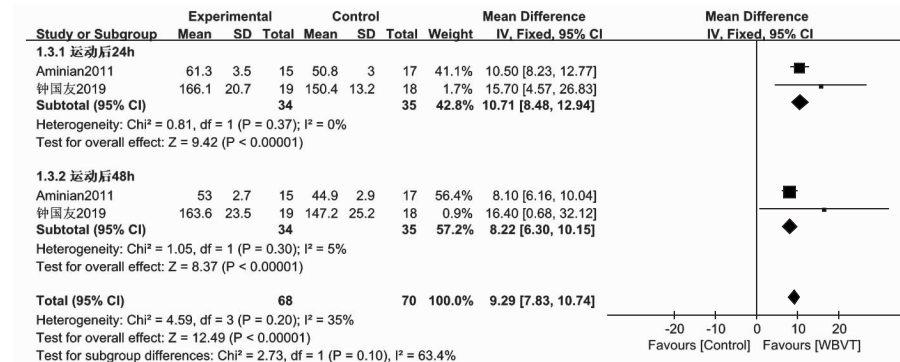


图8 WBVT对DOMS后60°等速力矩影响的Meta分析

结果显示:在运动后24h、48h, WBVT在促进肌力恢复方面均优于对照组,差异具有统计学意义[运动后24h: WMD = 10.71, 95% CI (8.48, 12.94), $P < 0.001$, $I^2 = 0\%$][48h: WMD = 8.22, 95% CI (6.30, 10.15), $P < 0.001$, $I^2 = 5\%$]

2.3.5 膝关节主动活动度 3项研究报告了WBVT对DOMS后膝关节主动活动度的影响,共80例受试者。 χ^2 检验提示各研究间的异质性较显著($I^2 = 72\%$, $P < 0.001$)。通过随机效应模型进行合并分析发现, WBVT组膝关节主动活动度与对照组相比,差异无统计学意义[WMD = 3.70, 95% CI (-0.21, 7.62), $P = 0.06$],见图9。根据评估的时间点进行亚组分析。结果显示: WBVT各时间点的膝关节主动活动度与对照组相比,差异均无统计学意义[运动后24h: WMD = 6.11, 95% CI (-3.10, 15.32), $P = 0.19$, $I^2 = 85\%$][48h: WMD = 3.32, 95% CI (-4.15, 10.79), $P = 0.38$, $I^2 = 74\%$][72h: WMD = 3.37, 95% CI (-5.62, 12.36), $P = 0.46$, $I^2 = 72\%$].

3 讨论

3.1 WBVT对DOMS后疼痛的影响 DOMS后不规则的血液供应导致肌肉缺血,继而出现副产物如乳酸和钾的积累,最终造成不同程度的酸痛,严重影响运动员的正常训练和比赛发挥^[17]。因此,减轻疼痛对于缓解DOMS至关重要。本研究结果显示, WBVT在运动后24h、48h、72h的主观疼痛程度均显著小于对照组,表明肌内效贴可有效加速缓解疼痛,与Rhea等^[18]的研究结果相似。其改善的机制可能是WBVT可加速淋巴和血液循环,使血浆中乳酸等代谢产物快速清除,肌肉疼痛现象和炎症反应得以减轻^[19]。还有学者指出规律性的振动可以抑制疼痛信号向脑的传导^[20],进而使主观疼痛得以缓解。值得注意的是,主观疼痛的各时间点均存在较高统计学异质性,其原因

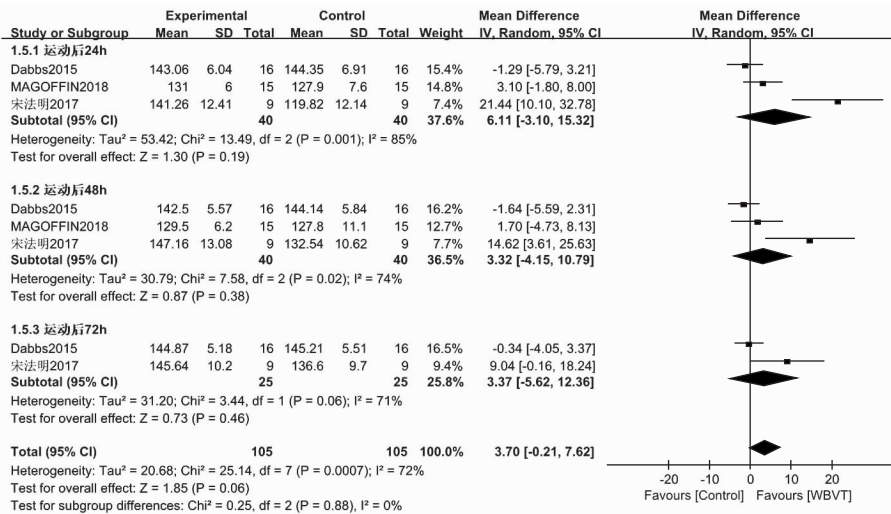


图9 WBVT对DOMS后膝关节主动活动度影响的Meta分析

因可能与纳入研究的振动参数不完全一致有关。此外,由于该指标纳入了不同单位的量表,故也可能给研究结果带来异质性,这提示此次研究结果需谨慎对待。另外,本研究通过逐一剔除文献发现,各亚组的研究结果未发生明显改变,这提示结果较为稳定。

本研究通过压痛阈值进而评估肌肉的耐受程度。Meta分析结果显示,与对照组相比,WBVT在各时间点治疗后均显著提高压痛阈值,与Bakhtiary等^[21]研究结果一致。改善的机制可能与WBVT可以抑制痛觉通路,有效降低疼痛受体的传递速度,减少脊髓节段敏感性,进而增强个体对疼痛的耐受有关^[22]。该指标各时间点虽未存在明显的统计学异质性,敏感性分析也显示研究结果较为稳定,但受纳入研究数量较少的影 响,合并结果的信度一定程度上受到削弱。因此,在未来仍需进一步探究。

3.2 WBVT对DOMS后血清CK的影响 血清CK作为一种生化标志物,被广泛用于评估离心运动后肌肉微损伤的趋势。既往研究中发现,DOMS后血液中的血清CK浓度显著升高,其原因可能与高强度离心运动会 导致肌细胞膜结构的完整性受到破坏,大量CK从肌细胞中溢出到血液 中有关^[22]。CK值显著降低是肌肉损伤后所期待的结果,本研 究结果显示,WBVT在DOMS后24h和48h的血清CK水平显著 低于对照组,这表明WBVT促进了DOMS后肌肉损伤的修复, 与Paul等学者^[23]的研究结果相似。其改善的原因可能是WBVT 募集了更多的运动单位,促进肌节Z线缩短并恢复到正常状态, 在一定程度上修复了超微结构,降低了CK的活性,减少了血 液中的CK含量并增强肌肉的张力,有效预防肌纤维的断裂^[24]。 然而此项指标纳入研究较少且存在较大统计学异质性,其异 质性来源可能与纳入研究的方法学质量和振动参

数不完全一致有关。另外敏感性分析显示研究结果不稳定,因此仍需更多高质量研究进一步探究。

3.3 WBVT对DOMS后肌力的影响 DOMS后常常伴随肌肉力量的下降,进而影响运动员的运动表现。本研究将60°等速力矩作为评估下肢功能的重要指标。Meta分析结果显示,与对照组相比,WBVT在DOMS后24h和48h的力矩值更高,提示WBVT能有效促进肌力的恢复,与Wheeler等^[5]和张丽等^[25]的研究结果相似。其原因可能与WBVT可使神经肌肉系

统兴奋性增强,进而活化更多的运动单位、增强肌肉张力有关^[26]。值得一提的是,鉴于WBVT可显著改善DOMS后的疼痛程度,因此下肢功能的改善也可能与WBVT缓解了受试者害怕因用力产生疼痛的恐惧心理有关。

3.4 WBVT对DOMS后膝关节主动活动度的影响

本研 究结果显示,WBVT各时间点的膝关节主动活动度与对照组相比,差异均无统计学意义。由森林图可知,宋法明这项研究在运动后24h和48h均为阳性结果;而其他两项研究均与无效线相交,表明为阴性结果。通过重新阅读原文发现,宋法明的研究是在造模后介入WBVT,而其余两项研究是造模前介入WBVT。有研究指出在剧烈运动前应用WBVT的主要作用是对受试者进行热身以达到测试时的最佳状态^[14];而在剧烈运动后采用WBVT是增加受损肌肉的血流量以尽快修复受损肌肉。因此,WBVT介入的时间点不同可能造成了本研究结果的差异。另外,值得注意的是,该结果有较大异质性。通过敏感性分析发现,当在运动后24h和48h两个亚组中剔除宋法明时,I²均降低至50%以下,这提示WBVT介入的时间点不同也可能是潜在的异质性来源。受纳入文献数量的限制,以上结论仍需更多高质量研究进一步证实。

3.5 局限性 本研究也存在一定局限性:①受语种的限制,仅纳入了中英文文献;②纳入文献数量和受试者样本量较小;③纳入研究的方法学质量和各指标的证 据质量均存在较大差异,可能一定程度上削弱了研究结果的信度;④各研究DOMS造模方法、振动频率、强度存在一定差异,也可能给研究结果带来一定的偏倚,因此结果需慎重解释。

综上所述,WBVT可有效缓解DOMS后的主观疼痛程度,提高肌肉压痛阈值,促进肌力恢复,改善肌

肉微损伤。另外, WBVT 使用简单、安全, 无明显副作用, 因此也可对运动员作为一种治疗和预防 DOMS 的辅助手段。由于此次研究受纳入研究少、WBVT 的参数不一致等问题的限制, 因此在今后的研究中应开展大样本、高质量的研究, 从而进一步推动 WBVT 的量化和规范化。

【参考文献】

- [1] 张凯, Romero-Moraleda B. 振动泡沫轴治疗运动后肌肉损伤[J]. 中国康复, 2019, 34(7): 377.
- [2] Fonseca LB, Brito CJ, Silva RJ, et al. Use of Cold-Water Immersion to Reduce Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness and Preserve Muscle Power in Jiu-Jitsu Athletes[J]. J Athl Train, 2016, 51(7): 540-549.
- [3] 龚迪, 王雪强, 王惠芳. 全身振动训练在内科康复中的应用进展[J]. 中国康复, 2018, 33(5): 429-432.
- [4] Jaime SJ, Maharaj A, Alvarez-Alvarado S, et al. Impact of low-intensity resistance and whole-body vibration training on aortic hemodynamics and vascular function in postmenopausal women[J]. Hypertens Res, 2019, 42(12): 1979-1988.
- [5] Wheeler AA, Jacobson BH. Effect of whole-body vibration on delayed onset muscular soreness, flexibility, and power[J]. J Strength Cond Res, 2013, 27(9): 2527-2532.
- [6] 李永杰, 扈盛. 水中运动训练对脑卒中患者下肢肢体功能和日常生活能力影响的 Meta 分析[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(10): 1209-1215.
- [7] Hislop AC, Collins NJ, Tucker K, et al. Does adding hip exercises to quadriceps exercises result in superior outcomes in pain, function and quality of life for people with knee osteoarthritis? A systematic review and meta-analysis[J]. Br J Sports Med, 2020, 54(5): 263-271.
- [8] Aminian-Far A, Hadian MR, Olyaei G, et al. Whole-body vibration and the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness[J]. J Athl Train, 2011, 46(1): 43-49.
- [9] Dabbs NC, Black CD, Garner J. Whole-Body Vibration While Squatting and Delayed-Onset Muscle Soreness in Women[J]. J Athl Train, 2015, 50(12): 1233-1239.
- [10] Cecilia Drennen. Influence of Whole-Body Vibration on Delayed Onset Muscle Soreness[D]. The University of Mississippi, 2014.
- [11] Yu-sin Kim. Effects of Whole-body Vibration on DOMS and Comparable Study with Ultrasound Therapy[D]. Korea University, 2007.
- [12] Magoffin RD, Parcell AC, Hyldahl RD, et al. Whole-Body Vibration as a Warm-up Before Exercise-Induced Muscle Damage on Symptoms of Delayed-Onset Muscle Soreness in Trained Subjects[J]. J Strength Cond Res, 2020, 34(4): 1123-1132.
- [13] Timon R, Tejero J, Brazo-Sayavera J, et al. Effects of whole-body vibration after eccentric exercise on muscle soreness and muscle strength recovery[J]. J Phys Ther Sci, 2016, 28(6): 1781-1785.
- [14] 宋法明, 刘北湘. 全身振动介入静态伸展对离心运动后延迟性肌肉酸痛的影响研究[J]. 山东体育学院学报, 2017, 33(1): 74-79.
- [15] 沈业辉. 振动训练与静态牵拉对延迟性肌肉酸痛缓解效果的比较[J]. 军事体育学报, 2017, 36(1): 48-51.
- [16] 钟国友. 振动刺激附加肌内效贴治疗运动性膝关节延迟性肌肉酸痛[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(27): 4305-4309.
- [17] Kim J, Kim J, Lee J. Effect of compression garments on delayed-onset muscle soreness and blood inflammatory markers after eccentric exercise: a randomized controlled trial[J]. J Exerc Rehabil, 2017, 13(5): 541-545.
- [18] Rhea MR, Bunker D, Marin PJ, et al. Effect of iTonic whole-body vibration on delayed-onset muscle soreness among untrained individuals[J]. J Strength Cond Res, 2009, 23(6): 1677-1682.
- [19] Gojanovic B, Feihl F, Liaudet L, et al. Whole-body vibration training elevates creatine kinase levels in sedentary subjects[J]. Swiss Med Wkly, 2011, 141(7): w13222.
- [20] Kuwahara H, Ogawa R. Using a vibration device to ease pain during facial needling and injection[J]. Eplasty, 2016, 16(2): e9.
- [21] Bakhtiary AH, Safavi-Farokhi Z, Aminian-Far A. Influence of vibration on delayed onset of muscle soreness following eccentric exercise[J]. Br J Sports Med, 2007, 41(3): 145-148.
- [22] Mavropalias G, Koeda T, Barley OR, et al. Comparison between high-and low-intensity eccentric cycling of equal mechanical work for muscle damage and the repeated bout effect[J]. Eur J Appl Physiol, 2020, 120(5): 1015-1025.
- [23] Xanthos P D, Lythgo N, Gordon B A, et al. The effect of whole-body vibration as a recovery technique on running kinematics and jumping performance following eccentric exercise to induce delayed-onset muscle soreness[J]. Sports Technology, 2013, 6(3): 112-121.
- [24] Shinohara M, Moritz CT, Pascoe MA, et al. Prolonged muscle vibration increases stretch reflex amplitude, motor unit discharge rate, and force fluctuations in a hand muscle[J]. J Appl Physiol, 2005, 99(5): 1835-1842.
- [25] 张丽, 瓮长水, 赵占波. 全身振动训练对老年人下肢肌肉力量及功能干预效果的 Meta 分析[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(10): 1222-1228.
- [26] Abbasi M, Kordi Yoosefinejad A, Poursadeghfard M, et al. Whole body vibration improves core muscle strength and endurance in ambulant individuals with multiple sclerosis: A randomized clinical trial[J]. Mult Scler Relat Disord, 2019, 32(6): 88-93.