

# 间歇训练改善大学生心肺适能效果的 Meta 分析

李振<sup>1,2</sup>, 肖涛<sup>1,2</sup>, 王晨宇<sup>1</sup>, 甄洁<sup>1,2</sup>

1. 郑州大学体育学院(校本部), 河南 450001; 2. 河南省学生体质健康促进研究中心

**【摘要】** 目的 比较不同类型间歇训练与持续训练对改善大学生心肺适能的效果, 为大学生健康促进提供干预方法的证据支持。方法 采用 Meta 分析的方法, 检索 Web of Science、PubMed、Science Direct、Scopus、the Cochrane Library 和 CNKI 等数据库中建库至 2020 年 4 月 1 日关于传统高强度间歇训练(high-intensity interval training, HIIT)、重复冲刺训练(repeated-sprint training, RST)及短跑间歇训练(sprint-interval training, SIT)干预久坐不运动大学生的随机对照实验研究文献, 由 2 名研究者独立对文献进行筛选、数据提取及偏倚风险的评估, 采用 Stata 16.0 软件依次进行传统 Meta 分析及网状 Meta 分析。结果 共纳入 21 篇文献 728 名样本; Meta 分析显示 HIIT( $SMD=0.35, 95\%CI=0.10\sim0.60, P<0.05$ ), SIT( $SMD=0.38, 95\%CI=0.05\sim0.70, P<0.05$ ) 在提高  $VO_{2max}$  指标上优于中等强度持续运动(moderate-intensity continuous training, MICT)、RST( $SMD=-0.08, 95\%CI=-0.41\sim0.25, P>0.05$ ) 对比 MICT 差异无统计学意义; HIIT( $SMD=0.40, 95\%CI=0.08\sim0.72, P<0.05$ )、SIT( $SMD=0.35, 95\%CI=0.03\sim0.67, P<0.05$ ) 提高  $VO_{2max}$  指标方面优于 RST, HIIT 与 SIT( $SMD=0.05, 95\%CI=-0.25\sim0.36, P>0.05$ ) 之间差异无统计学意义; 4 种训练方式提高  $VO_{2max}$  指标的效果大小可能性排序为 HIIT 与 SIT 高于 RST 及 MICT, 且 HIIT 高于 SIT, RST 高于 MICT。结论 高强度间歇训练改善  $VO_{2max}$  的效果整体优于 MICT, 且采用 HIIT 进行训练可能效果最好。

**【关键词】** 体育和训练; 生长和发育; 氧耗量; Meta 分析; 学生

**【中图分类号】** R 179 G 808 G 804.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2021)03-0448-06

**Interval training for cardiopulmonary fitness of college students: a network Meta-analysis/LI Zhen, XIAO Tao, WANG Chenyu, ZHEN Jie. Physical Education College of Zhengzhou University, Henan Student Physical Health promotion Research Center, Zhengzhou(450001), China**

**【Abstract】 Objective** To compare the effects of different types of high-intensity interval training and moderate-intensity steady training on improving cardiorespiratory fitness of college students, and to provide evidence supporting intervention methods for health promotion of college students. **Methods** By using the method of Meta-analysis, Web of science, PubMed, Scopus and CNKI database was searched for randomized control trails regarding high-intensity intervention (HIIT), repeated-sprint training (RST) and sprint-interval training (SIT) among sedentary college students in April 1, 2020. Two independent researchers conducted literature filtering, data extraction, risk of bias assessment, as well as traditional Meta-analysis and network Meta-analysis by using Stata software version 16.0. **Results** A total of 21 articles and 728 participants were included. Meta-analysis showed that HIIT ( $SMD=0.35, 95\%CI=0.10-0.60, P<0.05$ ) and SIT ( $SMD=0.38, 95\%CI=0.05-0.70, P<0.05$ ) were significantly better than MICT, there was no statistical difference in RST ( $SMD=-0.08, 95\%CI=-0.41-0.25, P>0.05$ ) compared with MICT; HIIT ( $SMD=0.40, 95\%CI=0.08-0.72, P<0.05$ ) and SIT ( $SMD=0.35, 95\%CI=0.03-0.67, P<0.05$ ) were significantly better than RST, there was no significant difference between HIIT and SIT( $SMD=0.05, 95\%CI=-0.25-0.36, P>0.05$ ). The ranking of the four training methods for improving the effect size of  $VO_{2max}$  index was HIIT>SIT>RST>MICT. **Conclusion** The overall effect of high intensity interval training on  $VO_{2max}$  is better than MICT, and HIIT training may be the best.

**【Keywords】** Physical education and training; Growth and development; Oxygen consumption; Meta-analysis; Students

近三十年来我国大学生体质水平呈现持续下降的局面<sup>[1]</sup>, 而体质的核心要素是心肺适能(Cardiorespiratory fitness, CRF)<sup>[2]</sup>, 最大摄氧量( $VO_{2max}$ )是评价 CRF 最直接的指标<sup>[3]</sup>。国际成人身体活动指南建

议每周通过  $\geq 150$  min 的中等强度持续运动(moderate-intensity continuous training, MICT)发展 CRF<sup>[4]</sup>, 但大学生难以达到该指导标准<sup>[5]</sup>。近期研究表明, 以高强度无氧运动为主, 低强度有氧恢复或休息为间隔的高强度间歇训练(high-intensity interval training, HIIT)同样具有改善 CRF 的作用且更省时<sup>[6]</sup>。通过运动强度、运动时长和休息时间 3 个关键影响因素可以将其分为传统高强度间歇训练、重复冲刺训练(repeated-sprint training, RST)及短跑间歇训练(sprint-interval training, SIT)<sup>[7]</sup>。目前鲜有文献将 3 种间歇方式对大

**【基金项目】** 2020 年度教育部人文社科规划基金项目(20YJA890029)

**【作者简介】** 李振(1996-), 男, 山东淄博人, 在读硕士, 主要研究方向为运动训练与健康促进。

**【通信作者】** 甄洁, E-mail: Zhenjie@zzu.edu.cn

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2021.03.031

学生 CRF 的干预效果进行直接对比研究,因此本文结合前人的实验成果,通过传统和网状 Meta 分析相结合的方式对 HIIT、SIT、RST 与 MICT 干预大学生 CRF 的效果进行系统评价,为今后大学生的运动实践、健康干预和科学锻炼方法的普及提供参考。

## 1 资料来源和方法

**1.1 方法** 研究严格按照系统综述及 Meta 分析优先报告条目 (PRISMA)<sup>[8]</sup> 的规定流程进行。根据单个研究所包含的研究对象 (P)、干预措施 (I)、对照措施 (C)、结局指标 (O) 及研究设计 (S) 5 项规范的基础上制定文献的检索、纳入、筛选与排除标准。

**1.2 文献检索** 在 Web of science、PubMed、Science-Direct、Scopus、the Cochrane Library 和 CNKI 数据库以 (“大学生”或“学生”或“青年”) 和 (“高强度间歇训练”或“短跑间歇训练”或“反复冲刺训练”或“间歇训练”或“有氧训练”或“中等强度持续训练”) 为中文主题词进行布尔逻辑检索;以 (“undergraduate” or “student” or “youth” or “colleague”) and (“high intensity interval training” or “sprint interval training” or “repeated sprint training” or “interval training” or “aerobic training” or “moderate intensity continuous training”) 为英文主题词进行布尔逻辑检索。语种限制为中文或英文,检索日期为数据库建库至 2020 年 4 月 1 日,其中中文文献限制为中文核心,同时对相关文献的参考文献进行追溯。

**1.3 纳入标准** (1) 研究对象为久坐且不经常运动的大学生;(2) 干预措施和比较干预措施为 MICT、HIIT、SIT 及 RST;(3) 结局指标为  $VO_{2max}$ ;(4) 研究设计为随机对照实验 (randomized controlled trial, RCT)。

**1.4 排除标准** (1) 重复发表的文献;(2) 综述类及二次研究文献 (Meta 分析等);(3) 研究设计非 RCT 实验;(4) 结局数据无法提取或未报道与本研究相关的指标;(5) 研究对象不是久坐不运动的大学生;(6) 研究过程中有通过药物及饮食干预;(7) 被试有其他疾病。

**1.5 文献筛选及数据提取** 由 2 名研究者分别对文献进行筛选和数据提取,最后进行交叉核对。核对一致纳入研究,核对不一致由第 3 名研究人员进入协商,讨论一致后纳入研究。提取的信息包括第一作者姓名、年份、实验组和对照组的干预措施以及结局指标和结果信息。数据提取包括干预后的实验组和对照组的均值、标准差及样本量;当实验组和对照组基线不一致时,提取实验前后的变化值合并纳入<sup>[9]</sup>。

**1.6 纳入文献偏倚风险评价** 采用 Cochrane 5.1 版系统评价手册中推荐的偏倚风险评估工具,由 2 名研究者分别独立对纳入的研究进行质量评价。评价内容涉及 7 个层面:(1) 随机序列的产生;(2) 分配隐藏;

(3) 对受试者与实验人员实施盲法;(4) 对结局评估人员实施盲法;(5) 结果数据的完整性;(6) 选择性报告;(7) 其他偏倚来源。每个层面以高偏倚风险、不确定以及低偏倚风险进行评价。若评价结果不一致,则与第 3 名研究人员讨论一致后解决。

**1.7 统计分析** 通过 Stata 16.0 软件对数据依次进行传统 Meta 分析及网状 Meta 分析。在传统 Meta 分析中连续性变量合并效应量采用均数差 (MD) 表示;结局指标均值差异较大或同一指标单位不同时,采用标准化均数差 (SMD) 表示。异质性检验采用  $Q$  检验和  $I^2$  检验,发表偏倚分析采用漏斗图和 Egger 检验。若  $P>0.10$ ,  $I^2<50\%$ , 认为存在较小异质性,则采用固定效应模型;若  $P<0.10$ ,  $I^2>50\%$ , 认为存在较大异质性,则采用随机效应模型。如异质性较大时还通过敏感性检验及 Meta 回归的方式挖掘异质性来源。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

网状 Meta 分析过程为当各干预措施存在闭环结构时,进行全局及局部不一致性检验评估直接比较结果和间接比较结果的一致程度;间接比较结果采用效应量 (ES) 及 95% 置信区间 (95% CI) 进行判读;各干预措施的可能性大小将结合效应量大小及优选概率排名曲线 (SUCRA) 值进行排序;小样本效应的估计及发表偏倚,采用校正比较漏斗图进行评价。

## 2 结果

### 2.1 纳入研究的文献基本特征及方法学质量评估

通过对数据库的初步检索共获得 7 814 篇文献,通过查重、阅读参考文献题目和摘要、阅读全文及通过对文章参考文献的追溯后共 21 篇文献纳入研究 (图 1)。

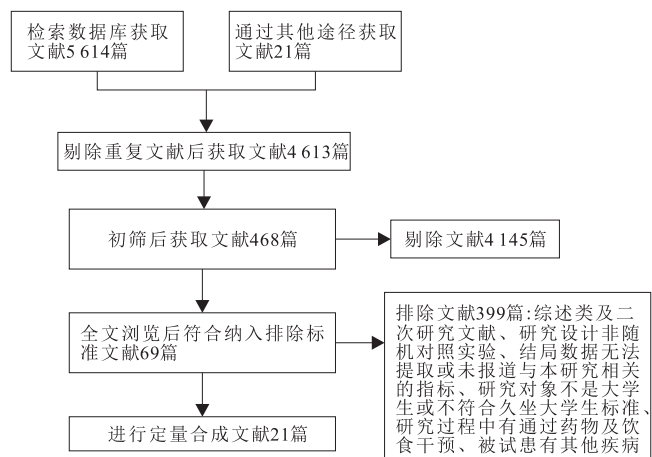


图 1 文献筛选流程

Figure 1 Flow chart of literature selection

纳入的文献中 10 篇为 HIIT 与 MICT 随机对照研究;6 篇以 RST 对比 HIIT 的随机对照研究;6 篇以 SIT 对比 MICT 的随机对照研究;5 篇为 SIT、HIIT、RST 和 MICT 相互对比研究。研究对象全部为久坐且缺乏锻炼的大学生,干预措施主要为跑步和功率自行车,共

含样本 728 人。见表 1。

表 1 纳入文献的基本特征

Table 1 Basic characteristics of the included literature

第一作者及年份	国籍	年龄/岁	干预措施			
			运动形式	干预时间/周	实验组	对照组
Buchheit <sup>[10]</sup> (2007)	挪威	24.6	跑步机	8	HIIT and RST	MICT
McKay <sup>[11]</sup> (2009)	加拿大	25	功率自行车	8	HIIT	MICT
Sijie <sup>[12]</sup> (2012)	中国	19~20	跑步	12	HIIT	MICT
王京京 <sup>[13]</sup> (2015)	中国	20.8±1.1	跑台	12	HIIT	MICT
Zhang <sup>[14]</sup> (2015)	中国	21±1	跑步机	12	HIIT	MICT
Kong <sup>[15]</sup> (2016)	中国	19.9±2.1	功率自行车	5	RST	MICT
Kong <sup>[16]</sup> (2016)	中国	21.5±4.0	跑步	5	RST	MICT
Elmer <sup>[17]</sup> (2016)	美国	21.4±1.1	跑步	8	HIIT	MICT
刘洪富 <sup>[18]</sup> (2016)	中国	-	功率自行车	12	HIIT	MICT
Nie <sup>[19]</sup> (2018)	中国	21.0±1.1	功率自行车	12	HIIT	MICT
Sun <sup>[20]</sup> (2019)	中国	21.4±1.1	功率自行车	12	HIIT and SIT	MICT
Trapp <sup>[21]</sup> (2008)	澳大利亚	20.2±2	跑步	15	RST	MICT
Harris <sup>[22]</sup> (2014)	英国	23.6±1.8	跑步	12	SIT	RST
Mazurek <sup>[23]</sup> (2016)	波兰	20.9±0.94	功率自行车	8	RST	MICT
Obradovic <sup>[24]</sup> (2016)	塞尔维亚	20.15±0.56	跑步机	4	SIT	RST
Marwa <sup>[25]</sup> (2020)	法国	18.9±1	跑步	9	SIT	MICT
Sökmen <sup>[26]</sup> (2018)	美国	24	跑步	10	SIT	MICT
Burgomaster <sup>[27]</sup> (2008)	澳大利亚	23±1	跑步	6	SIT	MICT
Nalcakan <sup>[28]</sup> (2014)	土耳其	21.7±2.2	功率自行车	7	SIT	MICT
Mazurek <sup>[29]</sup> (2014)	波兰	19.5±0.6	功率自行车	8	RST	MICT
Matsuo <sup>[30]</sup> (2014)	日本	26	跑步	8	HIIT and SIT	MICT

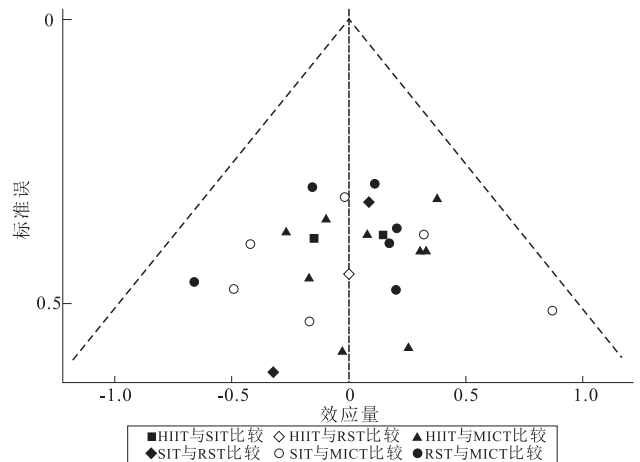
注: HIIT 为高强度间歇训练, RST 为重复冲刺训练, SIT 为短跑间歇训练, MICT 为中等强度持续运动。

2.2 传统 Meta 分析异质性及发表偏倚检测 结果显示, HIIT、SIT 及 RST 分别对比 MICT 的传统 Meta 分析异质性较低, 且均经过 Egger 发表偏倚检测后认为不存在发表偏倚风险, 通过敏感性分析及切换效应模型未发现分析结果的效应量等统计学指标有明显的变化, 由于异质性较低, 因此没有进行亚组分析及 Meta 回归。

2.3 网状 Meta 分析证据网络、一致性及发表偏倚检验 在传统 Meta 分析的基础上, 将 21 项研究的 27 对随机对照实验纳入网状 Meta 分析进行 HIIT、SIT、RST、MICT 的直接和间接比较。将比较结果依次进行全局不一致模型检验、环不一致性检验以及通过节点劈裂法进行局部不一致检验, 研究结果不一致性不显著 ( $P>0.05$ ), 因此认为直接比较结果和间接比较结果一致, 故采用一致性模型进行分析。

通过校正-比较漏斗图进行小样本效应的估计及发表偏倚检验。如图 2 所示, 网状 Meta 分析纳入的研究基本对称分布于零位线两侧, 因此认为存在小样本效应及发表偏倚的可能性较小。

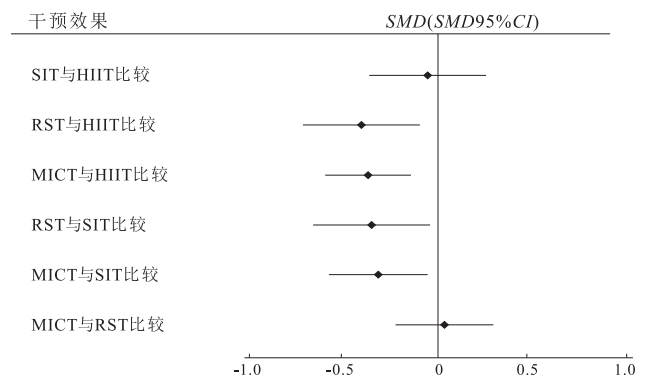
2.4 Meta 分析结果 传统 Meta 分析认为 HIIT ( $SMD=0.35$ )、SIT ( $SMD=0.38$ ) 在提高  $VO_2max$  指标上面显著优于 MICT ( $P<0.05$ ), RST ( $SMD=-0.08$ ) 对比 MICT 不存在统计学差异, 网状 Meta 分析结果与其一致; 通过间接比较认为 HIIT ( $SMD=0.40$ )、SIT ( $SMD=0.35$ ) 提高  $VO_2max$  指标方面优于 RST ( $P<0.05$ ), HIIT 与 SIT ( $SMD=0.05$ ) 之间对比差异无统计学意义。见图 3, 4。



注: HIIT 为高强度间歇训练, RST 为重复冲刺训练, SIT 为短跑间歇训练, MICT 为中等强度持续运动。

图 2 各干预措施间的校正-比较

Figure 2 Comparison-adjusted funnel plot between interventions

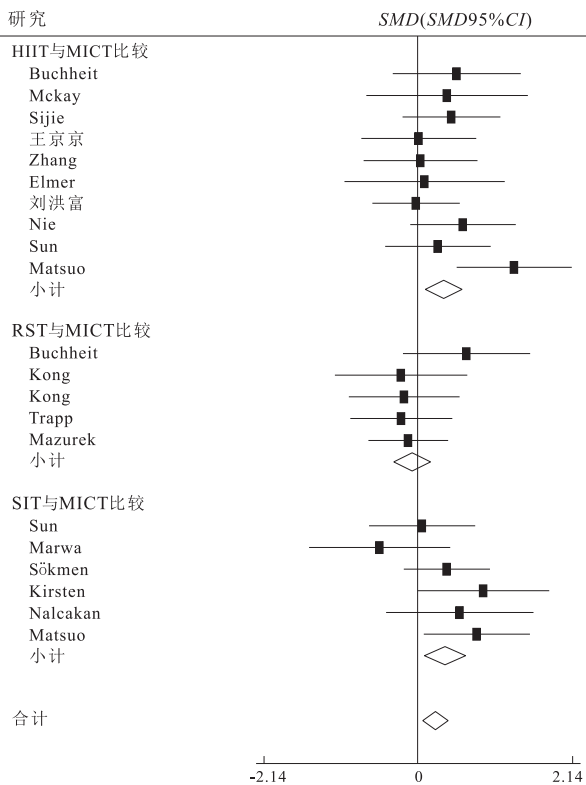


注: HIIT 为高强度间歇训练, RST 为重复冲刺训练, SIT 为短跑间歇训练, MICT 为中等强度持续运动。

图 3 间歇训练对改善大学生心肺适能的网状 Meta 分析

Figure 3 Network Meta-analysis results of forest maps





注:HIIT 为高强度间歇训练,RST 为重复冲刺训练,SIT 为短跑间歇训练,MICT 为中等强度持续运动。

图 4 间歇训练对改善大学生心肺适能的传统 Meta 分析

Figure 4 Meta-analysis results of forest maps

2.5 各干预措施有效性的可能性排序 通过 SUCRA 法结合效应量将不同干预措施的改善  $VO_2\max$  的效果进行排序,HIIT(SUCRA = 82.8) 排第 1 的概率最大,为 52.6%;第 2 位为 SIT(SUCRA = 79.9), 概率为 48.7%;第 3 位为 RST(SUCRA = 25.1), 概率为 55.7%;第 4 位为 MICT(SUCRA = 12.2), 概率为 64.0%。

### 3 讨论

流行病学研究表明,有氧运动能力低与心血管疾病、2 型糖尿病、癌症和死亡率的升高相关,通过 MICT 改善心肺适能已得到大量证据支持且被大多数人所采用<sup>[31]</sup>,但由于时间因素导致坚持下来的很少,并且大学生对这种运动方式并不感兴趣。高强度间歇训练主要被分为 HIIT(以  $>95\% VO_2\max$  的运动强度持续运动 45 s 以上,中间穿插 2~4 min 被动恢复期)、RST(持续 3~7 s 的短跑,中间穿插一般  $<60$  s 的恢复期)及 SIT(30 s 左右全力冲刺,中间穿插 2~4 min 被动恢复期)<sup>[32]</sup>。间歇训练是改善身体健康状况的一种安全可行的方法,但要根据个人特征及所陈述的目标进行调整,如果不将间歇训练进行区分,则关于其实施的可行性和有效性仍然存在很大争议<sup>[33]</sup>。针对干预大学生体质具体方法的研究欠缺的问题,本文以久坐不运动的大学生为研究对象,通过传统 Meta 分析和网状 Meta 分析相结合的方式,探讨了 3 种不同的间歇训练

类型与 MICT 对于久坐大学生心肺适能的影响。研究结果发现,3 种不同的间歇训练类型都能够取得与 MICT 相同的提高  $VO_2\max$  的效果,并且 HIIT 与 SIT 在增益效果上优于 MICT;网状 Meta 分析通过直接和间接比较发现 HIIT、SIT 的对比结果不存在显著性差异,但两者都优于 RST,结合效应量及 SUCRA 法对不同干预方式改善  $VO_2\max$  指标有效性的可能排序为 HIIT 与 SIT 高于 RST 及 MICT,且 HIIT 高于 SIT,RST 高于 MICT。

支持高强度间歇训练改善心肺适能的主要观点认为,间歇训练在锻炼过程中能够同时激活糖酵解供能系统和有氧供能系统,并且还能够能够在肌肉中储备高能量的磷酸盐进而提高工作状态<sup>[34]</sup>。相对于持续训练来说,间歇训练更能够激活氧化酶和糖酵解酶的活性,提高最大短时功率和  $VO_2\max$  水平<sup>[35]</sup>。同时间歇训练相对于持续训练在改善心脏中枢性适应(SV)的作用更大,而 SV 与  $VO_2\max$  有密切关系<sup>[36]</sup>;另外间歇训练还能够引起机体外周适应变化<sup>[6]</sup>(如肌肉线粒体数目增加及氧化能力增强),肌肉线粒体的增加可以影响动静脉氧差,而动静脉氧差的变化将进一步改善  $VO_2\max$ <sup>[37]</sup>。

本研究结果认为 SIT 也可以改善久坐不运动的大学生  $VO_2\max$  指标。SIT 一直被认为是改善无氧能力的一种训练方法<sup>[38]</sup>,其运动过程中主要依赖于无氧代谢,在一次 30 s 的 Wingate 测试中,氧化代谢仅提供了大约 15%~20% 的总能量<sup>[39]</sup>。但从 Burgomaster 等<sup>[40-41]</sup> 研究开始,SIT 作为一种提高有氧能力的手段开始流行起来。本研究认为 SIT 能够取得与 MICT 一样改善有氧能力的目的,与 Sandvei 等<sup>[42]</sup> 的研究结果一致,但通过间接比较进一步发现 SIT 与 HIIT 的效果也不存在统计学差异。SIT 的有效性可能源于无氧和有氧能量需求的结合,虽然在 30 s 的 SIT 中无氧供能占主导地位,但在重复的 Wingate 回合中,有氧供能占比逐渐增加<sup>[43]</sup>。

体育锻炼项目可行性评估是评估过程中的一个重要环节,对于体质的干预方案应促进中高强度体育锻炼及体育课参与<sup>[44]</sup>。学生的身体活动大多是通过体育课来实现的,但时间限制已被认为是在学校体育课上获得足够的身体活动的主要障碍,并且体育课的活动强度经常不足以产生健康效益,而大学生喜欢短时间的课程,并有兴趣知道他们的身体状况是否有所改善<sup>[45]</sup>。本研究中,高强度间歇训练具有克服这些障碍的潜力,以更少的时间达到改善  $VO_2\max$  的目的,并且使用 HIIT 的效果会更好。从骨骼肌代谢来讲,在 MICT 运动过程中,随着持续时间和强度的增加,乳酸将快速积累,机体将很容易疲劳;而在高强度间歇运动过程中,由于相对较短、高强度的爆发,局部代谢能力(磷酸肌酸、三磷酸腺苷和线粒体酶)能够充分激

活,而能量的损失可以在恢复期间得以恢复,即在高强度下,乳酸的积累也会较慢,疲劳的开始时间也会延长<sup>[37]</sup>。从心理层面说,高强度间歇训练更能带来运动的愉悦和享受,令人愉快的感觉可以提高对规定的运动计划的采用和坚持,针对一般人群,运动坚持和维持是确保或更大程度地增强训练效果的前提<sup>[46]</sup>。

本研究对不同类型间歇训练与持续训练对久坐不运动的大学生心肺适能的干预效果采取了传统 Meta 和网状 Meta 相结合的系统评价,首次对 HIIT、SIT、RST 与 MICT 4 种训练手段改善 VO<sub>2</sub>max 的效果进行了直接和间接比较,文献质量较高,纳入 Meta 分析结果异质性及不一致性风险较低,研究结果对于大学生健康促进的干预具有重要的指导价值。研究严格按照 PRISMA 指南进行,但仍存在一定局限性,即对于高强度间歇训练与中等强度持续训练的干预措施没有统一,因此存在发表偏倚风险,但经过检验后并没有发现明显的发表偏倚。本文的干预措施只有跑步和自行车,因此在以后的研究中,应针对多种干预措施开展研究,以建立最佳的高强度间歇训练的运动处方,从而更有效地改善大学生心肺适能。

#### 4 参考文献

[1] 卢伯春,於世海.政策分析视野中的大学生体质健康危机[J].江苏高教,2016(5):134-136.  
LU B C, YU S H. The health crisis of college students from the perspective of policy analysis[J]. Jiangsu High Educ, 2016(5):134-136.

[2] 谢敏豪,李红娟,王正珍,等.心肺耐力:体质健康的核心要素:以美国有氧中心纵向研究为例[J].北京体育大学学报,2011,34(2):1-7.  
XIE M H, LI H J, WANG Z Z et al. Cardiorespiratory fitness: a core component of health related physical fitness-introduction to the aerobics center longitudinal study[J]. J Beijing Sport Univer, 2011, 34(2):1-7.

[3] GIST N H, FEDEWA M V, DISHMAN R K, et al. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis[J]. Sports Med, 2014, 44(2):269-279.

[4] 沈文清,孙景权,严翊.跑台训练对低心肺水平大学生心肺耐力的影响[J].中国学校卫生,2017,38(11):1741-1743.  
SHEN W Q, SUN J Q, YAN X. Effect of running platform training on cardiopulmonary endurance of college students with low cardiopulmonary level[J]. Chin J Sch Health, 2017, 38(11):1741-1743.

[5] HALLAL P C, ANDERSEN L B, BULL F C, et al. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects[J]. Lancet (London, England), 2012, 380(9838):247-257.

[6] 刘瑞东,曹春梅,刘建秀,等.高强度间歇训练的应用及其适应机制[J].体育科学,2017,37(7):73-82.  
LIU R D, CAO C M, LIU J X et al. Application of high-intensity interval training and its adaption mechanism[J]. Chin Sci, 2017, 37(7):73-82.

[7] BUCHHEIT M, LAURSEN P B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle[J]. Sports Med, 2013, 43(5):313-338.

[8] ALESSANDRO L, ALTMAN D G, JENNIFER T, et al. The PRISMA

statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration [J]. J Clin Epidemiol, 2009, 62(10):e1-34.

[9] SHUSTER J J. Review: cochrane handbook for systematic reviews for interventions, version 5.1.0, published 3/2011. Julian P. T. Higgins and Sally Green, Editors [J]. Res Synth Meth, 2011, 2(2):126-130.

[10] BUCHHEIT M. The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players [J]. J Strength Cond Res, 2008, 22(2):365-374.

[11] MCKAY B R, PATERSON D H, KOWALCHUK J M. Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance [J]. J Appl Physiol (1985), 2009, 107(1):128-138.

[12] SIJIE T, HAINAI Y, FENGYING Y, et al. High intensity interval exercise training in overweight young women [J]. J Sports Med Phys Fitness, 2012, 52(3):233-262.

[13] 王京京,韩涵,张海峰.高强度间歇训练对青年肥胖女性腹部脂肪含量的影响[J].中国运动医学杂志,2015,34(1):15-20.  
WANG J J, HAN H, ZHANG H F. Effects of high-intensity interval training and continuous training on abdominal fat in obese young women [J]. Chin J Sports Med, 2015, 34(1):15-20.

[14] ZHANG H, TONG T K, QIU W, et al. Effect of high-intensity interval training protocol on abdominal fat reduction in overweight chinese women: a randomized controlled trial [J]. Kinesiology, 2015, 47(1):57-66.

[15] KONG Z, SUN S, LIU M, et al. Short-term high-intensity interval training on body composition and blood glucose in overweight and obese young women [J]. J Diabetes Res, 2016, 2016:1-9. DOI: 10.1155/2016/4073618.

[16] KONG Z, FAN X, SUN S, et al. Comparison of high-intensity interval training and moderate-to-vigorous continuous training for cardiometabolic health and exercise enjoyment in obese young women: a randomized controlled trial [J]. PLoS One, 2016, 11(7):e158589.

[17] ELMER D J, ELMER D J, LAIRD R H, et al. Inflammatory, lipid, and body composition responses to interval training or moderate aerobic training [J]. Euro J Appl Physiol, 2016, 116(3):601-609.

[18] 刘洪富,刘忠民,王常敏.高强度间歇训练对肥胖青年女性减肥效果的研究[J].山东体育学院学报,2016,32(6):95-98.  
LIU H F, LIU Z M, WANG C M. Effect of high intensity interval training on lose weight in obese young women [J]. J Shandong Sport Univer, 2016, 32(6):95-98.

[19] NIE J, ZHANG H, KONG Z, et al. Impact of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on resting and post-exercise cardiac troponin T concentration [J]. Exper Physiol, 2018, 103(3):370-380.

[20] SUN S, ZHANG H, KONG Z, et al. Twelve weeks of low volume sprint interval training improves cardio-metabolic health outcomes in overweight females [J]. J Sports Sci, 2019, 37(11):1257-1264.

[21] TRAPP E G, CHISHOLM D J, FREUND J, et al. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women [J]. Int J Obes, 2008, 32(4):684-691.

[22] HARRIS E, RAKOBOWCHUK M, BIRCH K M. Sprint interval and sprint continuous training increases circulating CD34+ cells and cardio-respiratory fitness in young healthy women [J]. PLoS One, 2014, 9(9):e108720.

[23] MAZUREK K, ZMIJEWSKI P, KRAWCZYK K, et al. High intensity interval and moderate continuous cycle training in a physical education programme improves health-related fitness in young females [J]. Biol

- Sport, 2016, 33(2):139-144.
- [24] OBRADOVIC J, VUKADINOVIC M, PANTOVIC M, et al. HIIT vs moderate intensity endurance training: impact on aerobic parameters in young adult men [J]. *Acta Kinesiol*, 2016, 10(101):35-40.
- [25] MARWA K, NEJMEDDINE O, MOHAMED S, et al. Continuous moderate-intensity but not high-intensity interval training improves immune function biomarkers in healthy young men [J]. *J Strength Cond Res*, 2020, 34(1):249-256.
- [26] SÖKMEN B, WITCHEY R L, ADAMS G M, et al. Effects of sprint interval training with active recovery vs. endurance training on aerobic and anaerobic power, muscular strength, and sprint ability [J]. *J Strength Cond Res*, 2018, 32(3):624-631.
- [27] BURGOMASTER K A, HOWARTH K R, PHILLIPS S M, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans [J]. *J Physiol*, 2008, 586(1):151-160.
- [28] NALCAKAN G R. The effects of sprint interval vs. continuous endurance training on physiological and metabolic adaptations in young healthy adults [J]. *J Human Kinetics*, 2014, 44(1):97-109.
- [29] MAZUREK K, KRAWCZYK K, ZMIJEWSKI P, et al. Effects of aerobic interval training versus continuous moderate exercise programme on aerobic and anaerobic capacity, somatic features and blood lipid profile in collegiate females [J]. *Ann Agric Environ Med*, 2014, 21(4):844-849.
- [30] MATSUO T, SAOTOME K, SEINO S, et al. Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on  $VO_2$  max and cardiac mass [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(1):42-50.
- [31] BLAIR S N. Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century [J]. *Br J Sports Med*, 2009, 43(1):1-2.
- [32] BUCHHEIT M, LAURSEN P B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle [J]. *Sports Med*, 2013, 43(10):927-954.
- [33] FOLLADOR L, ALVES R C, FERREIRA S D S, et al. Physiological, perceptual, and affective responses to six high-intensity interval training protocols [J]. *Percept Motor Skills*, 2018, 125(2):329-350.
- [34] RODAS G, VENTURA J L, CADEFEAU J A, et al. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism [J]. *Europ J Appl Physiol*, 2000, 82(5-6):480-486.
- [35] HARMER A R, MCKENNA M J, SUTTON J R, et al. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans [J]. *J Appl Physiol*, 2000, 89(5):1793-1803.
- [36] HJULSTAD B F, FREDERIC S, MEGÅRD L I, et al. Comparison of three popular exercise modalities on  $VO_2$  max in overweight and obese. [J]. *Med Sci Sports Exer*, 2016, 48(3):491-498.
- [37] TORMA F, GOMBOS Z, JOKAI M, et al. High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle [J]. *Sports Med Health Sci*, 2019, 1(1):24-32.
- [38] WHYTE L J, GILL J M R, CATHCART A J. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men [J]. *Metabolism*, 2010, 59(10):1421-1428.
- [39] OZKAYA O, COLAKOGLU M, KUZUCU E O, et al. An elliptical trainer may render the wingate all-out test more anaerobic [J]. *J Strength Cond Res*, 2014, 28(3):643-650.
- [40] BURGOMASTER K A, HUGHES S C, HEIGENHAUSER G, et al. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans [J]. *J Appl Physiol*, 2005, 98(6):1985-1990.
- [41] BURGOMASTER K A, HEIGENHAUSER G J F, GIBALA M J. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance [J]. *J Applied Physiol*, 2006, 100(6):2041-2047.
- [42] SANDVEI M, JEPPESEN P B, STOEN L, et al. Sprint interval running increases insulin sensitivity in young healthy subjects [J]. *Arch Physiol Bio*, 2012, 118(3):139-147.
- [43] PAROLIN M L, CHESLEY A, MATSOS M P, et al. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise [J]. *Am J Physiol Endocrinol Metabolism*, 1999, 277(5):e890-e900.
- [44] CONSTANTINO COLEDAM D H, FERRAIOL P F, DOS-SANTOS J W, et al. Factors associated with cardiorespiratory fitness in school students [J]. *Revist Brasil De Med Do Esport*, 2016, 22(1):21-26.
- [45] EATHER N, RILEY N, MILLER A, et al. Efficacy and feasibility of HIIT training for university students: the Uni-HIIT RCT [J]. *J Sci Med Sport*, 2019, 22(5):596-601.
- [46] NIC M, W K M, KRISTEN S, et al. Affective and enjoyment responses to high-intensity interval training in overweight-to-obese and insufficiently active adults [J]. *J Sport Exercise Psychol*, 2015, 37(2):138-149.
- 收稿日期:2020-09-25 修回日期:2021-02-02 本文编辑:顾璇
- 
- (上接第 447 页)
- [13] ZHANG H Q, GUO C F, TANG M X, et al. Prevalence of scoliosis among primary and middle school students in Mainland China: a systematic review and meta-analysis [J]. *Spine*, 2015, 40(1):41-49.
- [14] SEPEHR M J, MAHSA A, REZVAN H, et al. Screening of scoliosis in school children in Tehran: the prevalence rate of idiopathic scoliosis [J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2018, 31(4):767-774.
- [15] 董彬, 霍卓平. 儿童青少年脊柱弯曲异常的防治 [J]. *中国学校卫生*, 2008, 29(12):1163-1165.
- DONG B, HUO Z P. Prevention and treatment of abnormal spinal curvature in children and adolescents [J]. *Chin J Sch Health*, 2008, 29(12):1163-1165.
- [16] MARIA C C C, JULIA S C, MARIANA A R, et al. Prevalence of scoliosis in public elementary school students [J]. *Rev Paul Pediatr*, 2017, 35(2):191-198.
- [17] 李同泽, 宋淑华. 青少年体质健康测试中对脊柱异常筛查必要性及可行性的探讨 [J]. *体育大视野*, 2018, 8(35):228-229.
- LI T Z, SONG S H. Discussion on the necessity and feasibility of spine abnormality screening in adolescent physical health test [J]. *Sports Vision*, 2018, 8(35):228-229.
- [18] LONSTEIN J E, BJORKLUND S, WANNINGER M H, et al. Voluntary school screening for scoliosis in Minnesota [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1982, 64(4):481-488.
- [19] SABIRIN J, BAKRI R, BUANG S N, et al. School scoliosis screening programme-a systematic review [J]. *Med J Malays*, 2010, 65(4):261-267.
- 收稿日期:2020-10-29 修回日期:2020-11-11 本文编辑:王苗苗