



高强度间歇训练促进儿童青少年健康:现状·机制·可行性

刘建秀, 方 雯, 王帝之, 马新东*

(清华大学 体育部, 北京 100084)

摘要: 高强度间歇训练(HIIT)在儿童青少年中的应用是当前国际学者们关注的热点问题。通过梳理 HIIT 对儿童青少年健康影响相关研究,厘清 HIIT 在这一群体中的最新应用成果、适应机制以及应用的可行性。研究结论:1) HIIT 可显著降低儿童青少年心血管代谢风险;2) 鉴于肌肉过氧化物酶体增殖子激活受体 γ 辅激活因子 1 (PGC-1 α) 适度增加对氧化能力的积极影响, PGC-1 α 的增加可能是 HIIT 改善儿童青少年健康的适应性机制;3) 与长时间持续性训练相比, HIIT 在量-效关系方面体现出高度的经济性、乐趣性和可坚持性。因此, HIIT 可作为儿童青少年使用的有效运动模式。展望与建议:1) 未来需进一步在不常运动、超重/肥胖以及患有慢性疾病的不同儿童青少年群体中探究省时且更具吸引力的 HIIT 干预方案;2) 研究应使用统一的心血管代谢测量指标和方法以更好理解 HIIT 对儿童和青少年代谢的影响;3) HIIT 干预应将饮食和干预之外的体力活动纳入考虑来消除混淆的变量,并且考虑不同性别和激素对青春期代谢能力的影响。

关键词: 儿童; 青少年; 高强度间歇训练; 超重; 肥胖; 健康

0 前言

当前对在成年人中运用高强度间歇训练(high-intensity intermittent training, HIIT)替代连续有氧运动的相关研究较为热门(刘瑞东等,2017;张戈,2016;赵春琪,2015;祖秀明,2014;Billat et al.,2001;Eddolls et al.,2017;Gibala et al.,2008;Lee et al.,2017;Racil et al.,2016)。我国学者黎涌明(2015)将 HIIT 定义为反复多次以最大乳酸稳态的负荷或以大于等于无氧阈的负荷强度,持续几秒到几分钟的训练,且每 2 次练习之间安排不完全恢复的训练方法。HIIT 已被认为是一种可实现锻炼健康效益的高效率方法,因为时间不足是成年人缺少锻炼的主要阻碍。同时,机体对于 HIIT 的敏感性较强,因此,HIIT 在调节代谢方面能够产生更大的效益,在减重、增加能量消耗以及改善代谢状况方面都能带来较多益处(Sa et al.,2017)。

尽管愈来愈多的证据支持成年人应该多开展 HIIT 训练,但对儿童青少年的相关研究十分有限。儿童和青少年时期通常是根据年龄和社会角色进行定义,各国之间几乎没有统一的标准。根据世界卫生组织(WHO)的定义,将 0~1 岁定义为婴儿期,2~10 岁定义为儿童,其中 2~5 岁为童年早期,5~10 岁童年后期,青少年时期定义为 10~19 岁。在儿童青少年阶段进行充足的体力活动对提高身体健康具有重要作用。据估计,50%以上儿童青少年达不到

国际身体活动指南的建议,每天累计至少完成 60 min 中高强度体力活动,至少 3 天参加较高强度的体力活动推荐量,并且达到推荐量的比例随年龄增长而降低(Ng et al.,2014)。因此,儿童青少年阶段体力活动不足问题较为突出。有研究认为,短时 HIIT 对儿童青少年来说是值得推荐的(Bailey et al.,1995;Carson et al.,2014),HIIT 更具可行性,是一种可实现儿童青少年健康效益的高效率方法(Gibala,2007;Trost,2002)。对青少年而言,短时 HIIT 与耐力锻炼相比,更有吸引力且更容易形成习惯(Buchan et al.,2013;Crisp et al.,2012;Tjonna et al.,2009),让儿童青少年从事他们认为有趣的活动也有利于形成锻炼习惯并持续到其成年时期(Crisp et al.,2012)。

本文旨在总结 2000 年以来 HIIT 对儿童青少年健康影响的研究,探讨了 HIIT 对正常体重和肥胖儿童青少年健康的影响,以期厘清 HIIT 在这一群体中的最新应用成果、适应机制以及应用的可行性。

收稿日期:2018-10-09;修订日期:2019-06-10

基金项目:国家社会科学基金项目(16BTY065)

第一作者简介:刘建秀(1990-),女,在读博士研究生,主要研究方向为运动人体科学,E-mail:liujianx17@mails.tsinghua.edu.cn。

*通信作者简介:马新东(1971-),男,教授,博士研究生导师,主要研究方向为运动人体科学,E-mail:maxd@mail.tsinghua.edu.cn。

1 HIIT对儿童青少年健康影响研究进展

通过 PubMed、Web of Science、EBSCO、Medline、Elsevier Science Direct、Springer Link 和中国知网等中外数据库检索 HIIT 对青少年健康有关的影响研究,文献发表年份为 2000 年 1 月—2019 年 4 月。其中英文的检索词为:“youth”“teenager”“children”“adolescence”“adolescent”“juvenile”“youngster”“high-intensity intermittent training”“high-intensity interval training”“high-intensity training”“interval exercise”“intermittent exercise”“continuous training”“continuous exercise”“intermittent sprint”“interval sprint”“physical activity”“cardiovascular”“metabolize”“chronic disease”“overweight”“BMI”“obesity”“cholesterol”“glucose”“lipid”“body composition”“insulin”“cardiopulmonary function”“ $\dot{V}O_2\max$ ”“aerobic

capacity”和“health”等;中文的检索词为“青少年”,“儿童”,“高强度间歇训练”,“高强度运动”,“间歇训练”,“间歇冲刺”,“身体活动”,“心血管”,“代谢”,“慢性病”,“超重”,“体重指数”,“肥胖”,“胆固醇”,“血糖”,“血脂”,“体成分”,“胰岛素”,“心肺功能”,“最大摄氧量”,“有氧能力”和“健康”等。以上关键词通过布尔操作符(AND 和 OR)连接。此外,纳入研究的参考文献和引文也进行逐条筛查。

1.1 HIIT 在正常体重儿童青少年中研究

21 世纪后,学者们才开始进行 HIIT 增强儿童青少年健康状况的相关研究,主要关注 HIIT 对于心血管健康的影响(Baquet et al.,2001; Barker et al.,2014; Buchan et al., 2011)。本节梳理了关于 HIIT 对正常体重儿童青少年健康影响相关研究(表 1)。

表 1 HIIT 对正常体重儿童青少年健康影响的研究

Table 1 Studies of the Effect of HIIT on Health in Children and Adolescents with Normal Weight

被试	n	年龄/岁	研究设计	研究结果	
Cockcroft et al., 2018	儿童	11	9±0.8	HIIT 组: 20 w 强度 3 min 骑车, 90% Ppeak 强度 8×1 min 骑车, 间歇 20 w 强度 75 s 骑车; MIE 组: 90% 气体交换阈强度骑车, 时间同 HIIT; CG: 无运动。	与 CG 比, HIIT 组 IS↑ (ES=0.28)、脂肪氧化↑ (ES=0.79)。
Malik et al., 2017	青少年	54	男 14±0.6 女 14±0.5	HIIT 组: 20 w 强度 3 min 骑车, 90% Ppeak 强度 8×1 min 骑车, 间歇 20 w 强度 75 s 骑车; MIE 组: 强度为 90% 气体交换阈骑行, 时间同 HIIT。	HIIT 组: $\dot{V}O_2$ ↑。
Logan et al., 2016	久坐青少年男孩	26	16±1.0	HIIT 组: 4×20 s, 90%~100% HRmax, 10 s 休息, 每周 2 次 HIIT, 1 次力量训练, 8 周。	HIIT 组: $\dot{V}O_2\text{peak}$ ↑6%、体脂率↓4%、内脏脂肪↓10%、腰围身高比↓3%。
Thackray et al., 2016	青少年女孩	16	12±0.7	HIIR 组: 第 1 天, 5 min 强度为 60% MAS 热身, 后进行 10×1 min 100% MAS 跑步, 恢复 1 min; HIIR-ER 组: 第 1 天, 5 min 强度为 60% MAS 热身, 后进行 5×1 min 强度为 100% MAS 跑步, 恢复 1 min; CG: 无运动。	TAG↓(HIIR 组 16%, HIIR-ER 组 8%)。
Cockcroft et al., 2015	青少年男孩	9	14±0.4	HIIT 组: 3 min 热身, 以强度为 90% Ppeak 进行 8×1 min 骑车, 组间间歇 1.25 min, 3 min 恢复; MIE 组: 90% 气体交换阈的骑车, 练习时间同 HIIT; CG: 休息。	与 MIE 组, CG 相比, HIIT 组: PGL↓(-28.9% & -23.9%)、FI↓(-24.2% & -29.1%)、IS↑(11.2% & 8.4%)。
Chuensiri et al., 2015	儿童青少年男孩	35 (瘦组 18, 肥胖组 17)	10±0.2 10±0.2	肥胖和瘦组 (BMI=25±0.8 & 17±0.7): 分别进行 8×20 s, 强度为 100, 130 & 170% $\dot{V}O_2\text{peak}$ (3 个强度分 3 次进行, 间隔 3 天) 测功仪训练, 间歇 10 s。	两组: 肱动脉流量介导的舒张功能↑、踝脉搏波传导速度↓。
Sedgwick et al., 2015	青少年男孩	9	13±0.6	HIIT 组: 3×6 s 最大冲刺, 间歇 90 s, 5 min 休息后进行 10×6 s 最大冲刺, 间歇 90 s, 共 4 组, 每组间歇 3 min; CG: 无运动。	HIIT 组与 CG 相比: TAG↓(13%)。
Bond et al., 2015a	青少年	19	14±0.4	HIIT 组: 2×1 min 强度为 90% Ppeak 骑车, 间歇 75 s; MIE 组: 相同时间强度为 90% 气体交换阈训练; CG: 无运动。	HIIT 组与 CG, MIE 组相比: PGL↓、SBP↓、脂肪氧化↑。
Bond et al., 2015b	青少年	20	14±0.3	HIIT 组: 2×1 min 强度为 90% Ppeak 骑车, 间歇 75 s; MIE 组: 相同时间强度为 90% 气体交换阈训练。	HIIT 组: FMD↓、血管功能↑。
Bond et al., 2015c	青少年	20	14±0.3	HIIT 组: 8×1 min 强度为 90% Ppeak 骑车, 间歇 75 s; MIE 组: 相同时间强度为 90% 气体交换阈训练; CG: 无运动。	HIIT 组: HIIT 后 1 h FMD 和峰值反应性充血↑。
Bond et al., 2015d	青少年	13	13-14	6 组 8~10×1 min 强度为 90% Ppeak 骑车, 间歇 75 s, 共 2 周。	FMD↑, 内皮功能↑。

(续表 1)

	被试	n	年龄/岁	研究设计	研究结果
Bond et al., 2015e	青少年	20	14±0.3	HIIT组: 8×1 min强度为90% Ppeak骑车, 间歇75 s; MIE组: 相同时间强度为90%气体交换阈训练; CG: 无运动	与CG比, HIIT和MIE组TAG↓(34%&38%); 与MIE和CG相比, HIIT组SBP↓
Eather et al., 2016	青少年	96	15±0.5	HIIT组: CrossFit训练, 60 min/周, 8周; CG: 正常体育活动(60 min)和体育课(60 min), 2次/周, 8周。	WC↓、BMI↓、BMI-Z↓、柔韧性↑、跳远↑、折返跑↑。
Barker et al., 2014	青少年	10	15±0.3	HIIT组: 功率自行车2周(3次/周, 4次/组, 最后一周7次/组), 强度100% power, 每次30 s, 组间歇4 min, 间歇练习时长27 min 30 s, 练习总时长2 h 31 min。	V \square O \square max↑5.0%, 次最大运动碳水化合物消耗↓5.5%, 次最大运动脂肪消耗↑23.8%, 次最大运动呼吸交换比↓3.3。
Buchan et al., 2013	青少年	89	17±0.6	HIIT组: 折返跑, 3次/周共7周, 6次/组, 强度为20 m最大速度冲刺, 每次30 s, 间歇30 s, 包含间歇时长5 min 30 s, 练习总时长42 min; CG: 不运动。	20-MSFT↑6.3%、SBP↓4.2%、LDL↓24.1%。
Thackray et al., 2013	青少年男孩	15	11.8±0.4	HIIR组: 第1天, 5 min的强度为60% MAS热身, 后进行10×1 min的强度为100% MAS的跑步机跑步, 间歇1 min积极恢复; CG: 无运动。	与CG相比, HIIR组餐后TAG浓度↓(10.3%)。
Burns et al., 2012	青少年	10	17±0.7	HIIT组: 2×30 s的功率自行车全力冲刺, 间歇时间为4 min; CG: 无运动。	HIIT组: 脂肪氧化↑、SBP↓。
Buchan et al., 2012	青少年	41	15~17	HIIT组: 折返跑, 3次/周共7周, 6次/组, 强度为20 m最大速度冲刺, 每次30 s, 间歇30 s, 包含间歇时长5 min 30 s, 练习总时长42 min; CG: 不运动。	20-MSFT↓3.0%、SBP↑8.3%、WHR↔。
Buchan et al., 2011	青少年	57	16±0.7	HIIT组: 折返跑, 3次/周共7周, 6次/组, 强度为20 m最大速度冲刺跑, 每次30 s, 间歇30 s, 包含间歇时长5 min 30 s, 总时长42 min; MOD组: 强度70% V \square O \square max持续跑, 3次/周, 练习20 min, 总时长7 h; CG: 不运动。	20-MSFT↑8.3%、BMI↓1.4%、SBP↓5.4%、WHR↔、脂联素↓51.1%、TAG↑64.9%。
Buchan et al., 2011	青少年	57	16±0.7	HIIT组: 30 s最大冲刺(20 m折返), 30 s休息, 1、2周练习4组, 3、4周练习5组, 5、6周练习6组, 第7周6组, 休息20 s, 3次/周共7周; MOD组: 70% V \square O \square max强度耐力跑20 min, 3次/周共7周; CG: 正常活动。	HIIT组: 20 MSFT↑、灵敏性↑、垂直跳↑、10 m冲刺↑、SBP↓; MOD组: 20 MSFT↑、垂直跳↑、体脂率↓。
Buchheit et al., 2008	青少年	15	16±0.8	HIIT组以95% V \square IFT强度进行15~20 s跑, 2次/周共9周; 重复冲刺组: 全力6 s折返冲刺跑, 14~20 s休息, 2次/周共9周。	HIIT组: 副交感神经功能↑、V \square IFT↑、平均反复冲刺↑。
Tolfrey et al., 2008	青少年	8	13±0.3	MOD组: 6×10 min强度为53% peak V \square O \square , 组间休息10 min; HIIT组: 6×10 min强度为75% peak V \square O \square , 组间休息10 min; CG: 休息110 min。	与CG组相比, MOD和HIIT组: 平均TAG↓(24%和21%)
Barrett et al., 2007	青少年	19	15±0.1	HIIT组: 4×18 min 69% V \square O \square peak间歇冲刺跑; CE组: 4×15 min 59% V \square O \square peak走。	HIIT组: TAG↓26%; CE组: TAG↓14%。
Baquet et al., 2001	青少年	-	11~16	HIIT组: 2h/周体育课, 并进行10 s速度为100%~120% V \square O \square max的间歇跑, 组间10 s休息, 1 h/周共10周; CG: 3 h/周体育课, 1 h/次共10周。	HIIT组: 20m折返跑↑3.8%、立定跳远↑2.9%、7min跑距↑7.6%; CG: 无显著性提高。

注: BMI (body mass index) = 体重指数, HRmax = 最大心率, SBP (systolic blood pressure) = 收缩压, WHR (waist-to-hip ratio) = 腰臀比, WC (waist circumference) = 腰围, ES (effect size) = 效应量, V \square O \square max = 最大摄氧量, V \square O \square peak = 峰值摄氧量, 20-MSFT (20m multi-stage fitness test) = 20 m 多级健康测试, PGL (2-h postglucose load) = 2小时后葡萄糖, FI (fasting insulin) = 空腹胰岛素, LDL (low-density lipoprotein cholesterol) = 低密度脂蛋白胆固醇, TAG (triacylglycerides) = 三酰基甘油酯; FMD (flow mediated dilation) = 血管舒张功能, VIFT (Intermittent Fitness Test) = 间歇冲刺测试; MAS (maximal aerobic speed) = 最大有氧速度, HIIR (high-intensity interval running) = 高强度间歇跑步, HIIR-ER (HIIR and energy intake restriction) = HIIR+能量摄入限制, MIE (moderate-intensity exercise) = 中等强度训练, MIIT (high-intensity interval exercise) = 中强度间歇练习, MOD (moderate intermittent exercise) = 中等强度间歇练习, IS (insulin sensitivity) = 胰岛素敏感性, CE (continuous exercise) = 连续性锻炼, CG (control group) = 控制组; 下同。

在 HIIT 对正常体重儿童青少年有氧能力的影响方面, Baquet 等 (2001) 进行了一系列研究发现, HIIT 组立定跳远 (2.9%)、20 m 往返跑 (3.8%) 和 7 min 最大速度跑 (7.6%) 都有显著性提高, CG 均没有显著性差异。HIIT 组 BMI 和体脂率有明显提高, 而 CG 的 BMI 和体脂率变化较小; 7 min 最长距离跑中, 两组的有氧能力均有显著提高。该研究是最早关于 HIIT 对青少年健康状况改善影响的研究, 并间接探讨了 HIIT 对心血管风险系数的影响。

Buchan 等 (2011, 2012) 探讨了 HIIT 对正常体重青少年心血管代谢风险的影响, 研究将 57 名青少年随机分配到 HIIT 组、MIE 组和 CG。虽然两组代谢水平都有显著提高, 但 MIE 组的有氧能力 (14.6%)、体脂比 (15.1%)、FI (534.6%)、纤维蛋白原 (32.5%) 和纤溶酶原激活物抑制剂-1 浓度 (2.0%) 均有更显著的提高。HIIT 对心血管效益没有 MIE 高, 但 HIIT 组在 7 周内, 仅需要用 MIE 训练时间的 15% 就能显著降低心血管风险, 其中舒张压 (diastolic blood pressure, DBP)、有氧能力有显著改善。HIIT 组在整个干预期最多只需要用 63 min 锻炼, 然而 MIE 组需要持续做 420 min 有氧运动, 提示 HIIT 的时间高效性。Buchan 等 (2013) 发现, 7 周 HIIT 干预能够显著改善青少年的垂直跳远成绩、10 m 短跑速度和心肺适能。总体来看, 这一系列研究表明, HIIT 对健康个体的心血管代谢有增强效果。Logan (2016) 的研究探讨了 8 周 HIIT 对 26 名 16 岁低活动量的男性青少年心脏代谢健康方面影响, 研究发现, $V\dot{O}_{2peak}$ (6%)、体脂率 (4%)、内脏脂肪量 (10%) 和腰围身高比 (3%) 均有明显改善。Malik 等 (2017) 检查了 54 名 12~15 岁儿童在 HIIT 期间的急性心肺呼吸和感知反应, 研究发现, HIIT 在大多数青少年中引起最大的心肺呼吸反应, 并且, HIIT 比持续锻炼更令人愉快, 因此该研究建议, 使用 HIIT 方案进行锻炼对于促进青少年健康更有意义。

Cockcroft 等 (2015) 研究了 HIIT 对青少年葡萄糖耐受性、IS、静息脂肪氧化的急性影响, 研究发现, HIIT 组与 CG、MIE 组相比, 葡萄糖分别下降 28.9%、23.9%, 胰岛素分别下降 24.2%、29.1%, IS 分别提高了 11.2%、8.4%, 但与 MIE 相比, HIIT 后脂肪氧化有增加的趋势。因此该研究认为, HIIT 可作为一种改善青少年健康的有效锻炼手段。另一项研究探讨了 HIIT 和 MIE 对 7~10 岁的男性儿童葡萄糖耐受性、IS 和脂肪氧化的急性影响, 研究发现, 与 CG 相比, HIIT 组的 IS (9.7%) 和脂肪氧化 (38.9%) 有所改善 (Cockcroft et al., 2018)。在一次 HIIT 和 MIE 的急性干预后, 改善 IS 和葡萄糖耐量的空间可能有限, 然而, 在 HIIT 后脂肪氧化作用增强, 而 MIE 没有显著影响。

在 HIIT 对正常体重青少年底物利用率和血压的影响方面, Burns 等 (2012) 发现, 在 HIIT 后氧气消耗量的显著提高, 且在运动 30~60 min 后脂肪氧化率也有所提高 (图

1); 与对照组相比, 运动即刻 SBP 升高, 运动后 90 min 降低, DBP 无显著变化 (图 2), 该研究认为, 对青少年而言 HIIT 可以提高脂肪氧化率。该研究不足支出在于受试者在进行 HIIT 后和安静状态下相比存在代谢差异, 研究没有对比 HIIT 和稳态有氧运动的代谢差异, 且 HIIT 对于 SBP 的影响是即时的, 不能证明对于个体健康有益。

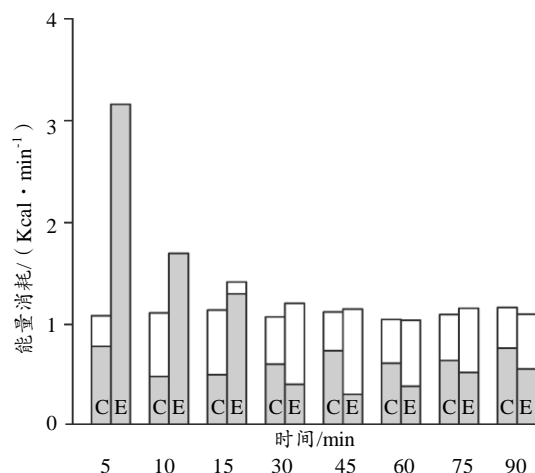


图 1 实验组和对照组能量消耗趋势 (Burns,2012)

Figure 1. Trend of Energy Consumption in Experimental and Control Group

注: E, 实验组; C, 对照组; 灰色, 碳水化合物消耗; 白色, 脂肪氧化消耗, *, $P < 0.05$ 。

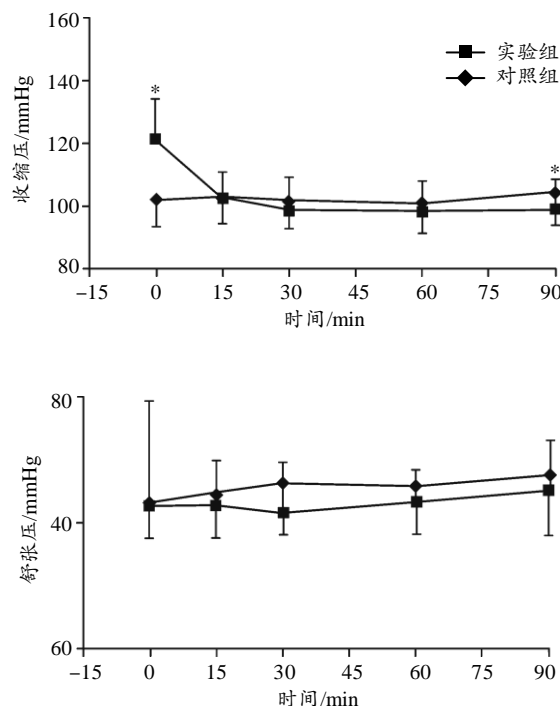


图 2 实验组和对照组舒张压和收缩压趋势图 (Burns,2012)

Figure 2. Trend of Diastolic Blood Pressure and Systolic Blood Pressure in Experimental and Control Group

基于 HIIT 可增强青少年脂肪氧化率的结论, Barker 等 (2014) 探讨了 HIIT 对 14~16 岁正常体重的男性青少年健康影响。在 2 周 HIIT 干预内完成 6 组 \times 30 s, 4 min 间歇

的“全力”自行车骑行。受试者进行 $V\dot{O}_2\text{max}$ 测试, 且在次最大强度运动的干预实验前后进行呼气分析, 同时对受试者进行饮食上常量营养元素摄入分析, 以及基线水平和后续的血压分析。研究发现, 2 周 HIIT 改善了 $V\dot{O}_2\text{max}$ (+5%)、脂肪氧化率 (+23.8%)、碳水化合物氧化率 (-18.1%) 和 RER (-3.3%), 但在此次研究中没有发现 HIIT 对血压的影响。尽管代谢状况可以通过有氧能力获取, 但对于理解 HIIT 对代谢状况的影响效果和生理过程, 直接对血浆血糖, 炎症和脂类标记物采样可以提供更有价值的信息。

餐后血液中 TAG 升高可能和动脉硬化发展有关, 因此有研究调查了 HIIT 对正常体重青少年餐后 TAG 的影响。例如, Barrett 等 (2007) 对男性青少年的研究发现, HIIT 组 (4×18 min 强度为 69% $V\dot{O}_2\text{peak}$ 的间歇冲刺跑) 和 CE 组 (4×15 min 的强度为 59% $V\dot{O}_2\text{peak}$ 跑步机走步) 均显著降低了血浆甘油三酯浓度 (HIIT 26%、CE 14%)。Tolfrey 等 (2008) 比较了 HIIT 对 8 名 13 岁正常体重的健康男性青少年餐后血浆 TAG 代谢的影响, 研究发现, 60 min 的 MIE 和 HIIT 均可降低餐后 TAG 浓度。Thackray 等 (2013) 发现, HIIT 训练稀释了 12.5% 的餐后血浆 TAG 浓度, 且 IS 的增大和血浆胰岛素的减小导致了骨骼肌脂蛋白脂肪酶活性的急性增大, 然而, 此次研究的不足是缺乏 HIIT 和中等强度锻炼之间的对比。Sedgwick 等 (2015) 调查了 HIIT 对 9 名男性青少年内皮功能和 TAG 浓度的影响, 与对照组相比, HIIT 对餐后内皮功能和 TAG 产生了有益的影响。Bond 等 (2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e) 对正常体重青少年 HIIT 的健康效益进行了系列研究, 研究发现, HIIT 组的葡萄糖、SBP、TAG 指标显著下降, 脂肪氧化显著提高, 且 FMD 和内皮功能显著改善。Thackray 等 (2016) 检测了 HIIT 和

HIIT-ER 对女性青少年 TAG 的影响, 研究发现, HIIT 和 HIIT-ER 均可显著降低餐后 TAG。未来的研究应进一步关注能量摄入限制和不同高强度间歇形式对于青少年 TAG 的急性影响和持续性效应。

综上, 研究结果表明, HIIT 后有氧能力、体脂率、脂肪氧化程度、内脏脂肪量、腰围身高比有明显改善, 与 MIE 相比, HIIT 在改善 IS、呼吸交换率、碳水化合物氧化率增加等方面更具有优势, 此外, 与 CG 相比, HIIT 对于血浆甘油三酯浓度的降低和内皮功能的影响显著。但也有研究指出, 餐后 60 min 中等强度运动和 HIIT 均可对血浆 TAG 代谢产生积极影响。目前, HIIT 对于血管舒张和收缩影响尚不统一, 总体来看, 在比较 HIIT 和连续训练干预后心血管代谢风险因素变化的研究中, 不同锻炼方式所用的总时长存在较大差异, 对青少年而言, HIIT 可达到和连续训练相当甚至更好的心血管代谢健康效益, 且 HIIT 所用的时间远小于连续训练。

未来应更加关注已有研究中不确定结果的指标, 多数研究对于正常体重的健康青少年干预的时间太短, 建议开展更长时间的干预以获取更充分的证据。通常情况下, 不常活动的青少年和活跃分子相比, HIIT 能更显著的提高其他心血管代谢水平。将来研究还应该着眼于探索 HIIT 对不活跃群体的影响。对于能量摄入限制和不同高强度间歇形式对于青少年体脂和健康的急性影响和持续性效应等方面需要继续关注。

1.2 HIIT 在肥胖儿童青少年中的研究

肥胖人群在儿童期和成年期罹患糖尿病、高血压、冠状动脉疾病、心肺疾病和中风等代谢疾病的风险显著增加。多种 HIIT 方案已被证明可以改善超重和肥胖儿童青少年的健康水平。本节梳理了关于 HIIT 对超重和肥胖儿童青少年健康影响的相关研究 (表 2)。

表 2 HIIT 对超重和肥胖儿童青少年健康影响的研究

Table 2 Studies of the Effect of HIIT on Health in Overweight and Obese Children and Adolescents

	被试	n	年龄/岁	研究设计	研究结果
Dias et al., 2018	肥胖儿童青少年	62 (HIIT 组 17, MICT 组 24, 营养组 21)	7~16	HIIT 组: 4×4 min 强度为 85%~95% HRmax, 间歇 3 min 强度为 50%~70% HRmax, 3 次/周共 12 周+营养建议; MICT 组: 44 min 强度为 60%~70% HRmax, 3 次/周共 12 周+营养建议; 营养组: 无运动。	HIIT 组与 MICT、营养组相比, 相对 $V\dot{O}_2\text{peak}$ ↑ (+3.6、+5.4)。
Lazzer et al., 2017	肥胖青少年	30	15~17	HIIT 组: 6×4 0s 强度为 100% $V\dot{O}_2\text{max}$ 走步, 间歇 5 min 低强度为 40% $V\dot{O}_2\text{max}$ 走步; HI 组: 70% $V\dot{O}_2\text{max}$ 走步; LI 组: 40% $V\dot{O}_2\text{max}$ 走步。	3 组体重和体脂 ↓、LI ↓ 幅度更大; HI、HIIT 组 $V\dot{O}_2\text{peak}$ 和脂肪氧化率 ↑ 幅度大。
Lee et al., 2017	肥胖青少年	12	15±1.5	HIIT 组: 12 组 (10×60 s), 强度为 90% HRmax 自行车冲刺, 间歇 90 s, 30 min/组, 3 组/周。	$V\dot{O}_2\text{peak}$ ↑、 $V\dot{O}_2\text{peak}$ 测试持续时间 ↑、休息时 SBP ↓
Racil, et al., 2016	肥胖青少年女孩	47	14±1.2	HIIT 组: 强度为 100% MAS; MIIT 组: 强度为 80% MAS, 间歇 15 s, 间歇形式为 50% MAS 练习, 3 次/周。	BMI ↓、WC ↓、HR ↓、SBP/DBP ↓、FG ↓、FI、IR ↓、瘦素 ↓、 $V\dot{O}_2\text{max}$ ↑、RPE ↓。
Chuensiri, et al., 2015	青少年男	35 (瘦组 18,	10±0.2	肥胖和瘦组 (BMI=25±0.8、17±0.7): 8×20 s 强度为 100%、130% 和 170% $V\dot{O}_2\text{peak}$ (3 个强度分别 3	两组: 肱动脉流量介导的舒张功能 ↑, 踝脉搏波传导

肥胖组 17)		次, 间隔3天) 自行车测功仪, 间歇10s。		速度↓。	
(续表 2)					
被试	n	年龄/岁	研究设计	研究结果	
Murphy,et al., 2014	肥胖青少年	13	14±2.0	HIIT组: 30 min 10×1 min 80%~90% HRmax跑, 间歇2 min强度为60% HRmax跑; MIE组: 30 min强度为65% HRmax有氧。均3~4次/周, 共4周。	HIIT、MIE组: V \square O ₂ max↑、HIIT: 瘦体重↑。
Lau et al., 2015	超重儿童青少年	48	10±0.9	HIIT组: 12×15 s 速度为120% MAS跑, 间歇15s, 6 min; LIIE组: 16×15 s 速度为100% MAS跑, 间歇15 s, 8 min, 两组均3次/周共6周; CG: 无运动。	HIIT与CG、LIIE组相比: 皮脂厚度↓; HIIT组与CG相比: 间歇耐力↑。
赵春琪,2015	超重青少年	39	16~18	HIIT组: 每周5次的1 min往返运球, 后采用约2~3 min休息。每次训练准备活动5 min, 拉伸放松5 min, 总时间约为30 min, 共8周。	安静脉搏和SBP↓、肺活量↑。
Starkoff,et al., 2015	肥胖青少年	27	15±1.5	HIIT组: 5 min强度为50%~55%热身后进行10×2 min强度为90%~95%骑行, 间歇1 min 55%恢复, 共30 min, 3次/周, 6周; MIE组: 5 min强度为50%~55%热身后进行30 min 65%~70% 骑行, 3次/周, 6周。	ET-1 ↔。
Starkoff,et al., 2014	肥胖青少年	27	15±1.5	HIIT组: 5 min强度为50%~55%热身, 后进行10×2 min强度为90%~95% 骑行, 间歇1 min 55% APMHR 恢复30 min, 3次/周, 6周; MIE组: 5 min强度为50%~55%热身, 后进行30 min 65%~70% 骑行, 3次/周, 共6周。	HIIT组: V \square O ₂ max↑。
Farah,et al., 2014	肥胖青少年	43	13~18	两组在跑步机上进行上3次/周, 共6个月等热量消耗练习; HIT组: 以通气阈强度练习; LIT组: 以通气阈20%速度练习。	HIT与LIT组的SBP、DBP、平均血压均↓; HIT组与LIT组相比: WC、HR和HRV有所改善。
Boer,et al., 2014	智力障碍肥胖青少年	54	17±3.0	HIIT组: 通气阈强度的3组块10 min练习, 一、三组块为10×(15 s冲刺, 45 s休息), 第二组块为10 min 连续训练, 2次/周, 15周; CT组: 3个组块10 min连续训练; GC: 不进行锻炼监控。	HIIT与CT相比: 体脂比、SBP、LDL、FI、V \square O ₂ peak、Ppeak和VT均改善。
祖秀明, 2014	肥胖儿童青少年	60	ET 组 10±1.3; HIIT 组 10±0.5	HIIT组: 60 s强度为90%~95% HRmax冲刺, 穿插一个1 min达50% HRmax的运动, 重复3~6次; ET组: 30~60 min强度为80% HRmax的连续运动。	HIIT组: BMI↓、SBP↓、DBP↓、血糖↓、胰岛素↓、IR↓、LDL↓; ET组: BMI↓、SBP↓、血糖↓、IR↓、LDL↓; HIIT组血糖、胰岛素、IR 低于ET组。
Racil et al., 2013	肥胖青少年女孩	34	16±0.3	HIIT 组: 12周折返跑, 4次/组, 3次/周, 100%~110% MAS, 练习30 s后恢复30 s, 间歇时长为20 min, 总时长88 min; CG: 无运动。	V \square O ₂ max↑7.6%、 BMI↓13.8%、体脂↓7.8%、 WC↓3.6%、HOMA-IR↓29.5%、FI↓27.2%。
Koubaa,et al., 2013	肥胖青少年男孩	29	13±0.8	HIIT 组: 共12周跑步, 3次/周, 80% V \square O ₂ max, 练习2 min, 间歇1 min, 总时长72 min; CT 组: 60%~70% HRmax持续跑, 3次/周, 总时长18 h。	V \square O ₂ max↑10.9%、 BMI↓2.6、DBP↓3.4、 SBP↓2.2、WC↓1.9。
De Araujo,et al., 2012	肥胖儿童青少年	30	8~12	HIIT 组: 3~6组60s 100%峰值速度冲刺练习, 组间间隔为3 min 50%峰值速度的恢复, 第1~3周为3组, 每3周提升1组, 2次/周, 12周; ET 组: 进行30~60 min 80% HRmax 的连续练习, 2次/周, 第1~3周训练为30 min, 每3周提高10 min 训练量, 12周。	HIIT、ET 组: 绝对V \square O ₂ peak↑(19.0%、26.0%)、 相对V \square O ₂ peak↑(14.6%、13.1%); 胰岛素血症↓(30.5%、29.4%)、HOMA-IR↓(37.0%、42.8%)、 BMI↓(5.0%、3.0%)。
Ingul,et al., 2010	肥胖青少年	10	15±1.2	HIIT: 肥胖青少年有氧间歇训练: 4×4 min 90% HRmax, 2次/周, 13周; CG: 普通青少年仅参与测试。	HIIT 组与 CG 相比: V \square O ₂ max↑8.6%、射血分数↑、脂肪含量↓2.0%。
Tjonna,et al., 2009	超重和肥胖青少年	54	14±0.3	HIIT: 跑台练习, 4次, 2次/周, 强度为90~95% HRmax, 每次练习4 min, 3 min 恢复, 包含间歇的练习时长为25 min, 练习总时长3h 20 min; CG: 无运动。	V \square O ₂ max↑9.3%、 DBP↓7.8%、SBP↓7.3%、 WC↓0.4%、FG↓2.0%、 PGL↓11.6%、HbA1c↓2.4%、 HOMA↑56.8%、 FI↓29.1%、PGL↓27.3%。

注: RPE (rating of perceived exertion 30 min after the graded exercise test) =主观用力疲劳指数, HOMA (homeostasis model assessment) =体内平衡模型评估, HOMA-IR (homeostasis model assessment of insulin resistance) =胰岛素抵抗的稳态模型评估, FG (fasting glucose) =空腹血糖, ET-1 (endothelin-1) =内皮素, APMHR (age predicted maximal heart rate) =年龄预测最大心率, ET (endurance training) =耐力训练,

HIT=高强度有氧训练, LIT=低强度有氧训练, LIIE (light-intensity interval exercise) =低强度间歇练习, MICT (Moderate-intensity countous training) =中等强度持续训练。

在 HIIT 对肥胖青少年的心血管代谢影响方面, Tjonna 等 (2009) 最早对超重和肥胖青少年进行了研究, 将青少年随机分配到 HIIT 组或多处理干预组, 在干预实验后的 3 个月和 12 个月进行随访, 多处理组干预内容包括会见医生、心理师和临床营养师等。研究显示, 在实验干预后的 3 个月和 12 个月, HIIT 组 $V\dot{O}_2\max$ 、平均动脉压、血管内皮功能改善比多处理干预组高, 且 HIIT 组的健康效益还能维持在 12 个月后仍比 CG 要好, 这意味着儿童青少年坚持进行这些运动的健康效益比多处理组的干预效果好, 且改善具有持续效应。此后, Ingul 等 (2010) 研究了 HIIT 对 15 岁肥胖青少年心肺功能的影响, 发现肥胖青少年 $V\dot{O}_2\max$ 比瘦的孩子低 41.4%, 但 HIIT 干预后 $V\dot{O}_2\max$ 显著提高 8.6%、脂肪含量降低 2.0%, 并提高了肥胖青少年的射血分数, 但与瘦孩子相比较低。该认为, HIIT 几乎可以恢复肥胖青少年受损的心脏收缩和舒张功能, 这些结果可能会对肥胖青少年治疗方案制定有意义。在比较 HIIT 与 ET 对肥胖儿童青少年心肺功能的效果方面, De Araujo 等 (2012) 发现, 两者绝对 (ET: 26.0%、HIIT: 19.0%) 和相对 $V\dot{O}_2\text{peak}$ (ET: 13.1%/HIIT: 14.6%) 在干预后两组均显著升高, 此外, 最大分级心肺试验时的峰值速度 (ET: 16.9%/HIIT: 13.4%) 在两组均显著改善, BMI 均显著下降 (ET: 3.0%/HIIT: 5.0%), 研究认为, HIIT 与 ET 在改善肥胖儿童青少年心肺功能方面具有相同的锻炼效果。国内学者祖秀明 (2014) 对 8~12 岁肥胖儿童青少年进行了 12 周 HIIT 和 ET 干预发现, HIIT 组 SBP、DBP 均显著低于干预前, 呼吸机能得到显著改善。由于剧烈运动中肺通气量的增加主要依靠呼吸频率的提高来实现, 同时机体为适应代谢的需求, 通气机能会发生适应性改善。

高强度训练与中等和低强度持续训练以及营养组等多组比较方面, 有研究比较了 HIT (强度为通气阈) 和 LIT (强度低于 20%通气阈值) 对 43 名肥胖青少年 BP、HR 和心率变异性 (HRV) 的影响, 在干预 6 个月后, 两组 SBP、DBP、平均 BP 均有相似程度下降 ($P<0.05$), 而 WC、HR 和 HRV 仅在 HIT 组有明显改善 ($P<0.05$), 研究认为, 与 LIT 相比 HIT 对肥胖青少年的腹部肥胖和心血管健康有额外的益处, 因为它增强了心脏的副交感神经和自主调节 (Farah et al., 2014)。Murphy 等 (2014) 对 13 名肥胖青少年进行 4 周 HIIT 研究发现, HIIT 组和 MIE 组的 $V\dot{O}_2\max$ 均有显著提升, 且 HIIT 组的瘦体重有显著提高。Starkoff 等 (2015) 评估了 14 岁肥胖青少年 (分为 MOD 和 HIIT 组) 6 周不同强度的锻炼计划后的 $V\dot{O}_2\max$ 变化, 研究发现, 6 周 HIIT 使青少年 $V\dot{O}_2\max$ 显著提高。Lau 等 (2015) 通过 6 周不同强度的间歇训练对超重儿童进行研究, 将 48 名超重儿童随机分为对照组、LIIE 组

和 HIIT 组, 6 周后, HIIT、LIIE 组和对照组相比, 皮脂厚度 (小腿和肱三头肌) 显著减少 ($P<0.05$), HIIT 组间歇有氧耐力明显改善 ($P<0.05$) 提示, HIIT 是改善超重儿童身体成分和有氧耐力的一种高效的干预措施。Chuensiri 等 (2015) 认为, HIIT 可作为改善肥胖儿童血管功能的一种可行的运动方式。Lazzer 等 (2017) 通过适度能量限制、营养教育、心理咨询和 3 种不同运动训练 (低强度组: 40% $V\dot{O}_2\max$; 高强度组: 70% $V\dot{O}_2\max$; HIIT 组) 对 15~17 岁肥胖青少年的身体组成、能量消耗和脂肪氧化率的影响进行研究, 发现 3 组的体重和体脂均有显著下降, 低强度组下降幅度更大; 高强度组和 HIIT 组的 $V\dot{O}_2\text{peak}$ 和脂肪氧化率提高幅度更大。

在肥胖儿童和青少年心血管代谢标志物和风险因子等方面, 学者们展开一系列的多组比较研究。Dias (2018) 对肥胖儿童的 12 周干预发现, HIIT、MICT 组和营养组相比, $V\dot{O}_2$ 相对峰值显著升高, 但干预对内脏及皮下脂肪组织、全身成分及心脏代谢生物标志物均无显著影响, 认为, 与 MICT 和营养干预相比, HIIT 干预能有效提高心肺功能, HIIT 可作为有效的健康策略来提高青少年身体健康状况。Koubaa 等 (2013) 研究了 12 周 HIIT 和 CT 对男性肥胖青少年代谢风险因子的影响, 研究发现, 两组受试者体脂都有显著减小, 与 HIIT 相比, CT 组能更显著的减少脂肪量 (101%) 和 WC (4.1%), 且 CT 组对血脂情况改善更好。HIIT 带来的最大改善效益是有氧能力的改善, 同时, HIIT 训练干预后观察到 TAG 的显著下降。Racil (2013) 研究了 HIIT 和 MIIT 对青少年肥胖女性的心血管代谢风险标志物的影响。该研究的不同之处在于高强度和中强度的间歇训练方式在两个干预组中的实验参数一致, 只有锻炼回合数不同。HIIT 组首先完成了 2 个训练, 包括 6 回合 30 s, 强度在 100%最大有氧速度下的冲刺跑, 每回合间有 50%最大速度的运动恢复。在 2 次训练间有 4 min 休息。MIIT 组遵循同样的运动结构, 区别在于冲刺跑速度为 70%最大速度, 训练每周进行 3 次, 共 12 周, 此研究中包含了 1 个不运动组。受试者完成 4 天的饮食记录, 随后建立每日能量摄入和营养组分表。在 2 个运动组内, BMI-z 分数、有氧能力和心血管代谢危险标志物都有显著改善。和时长相当的 MIIT 相比, HIIT 可为血浆低密度脂蛋白胆固醇 (plasma low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C) (4.9%) 和总胆固醇 (total cholesterol) (3.5%) 带来更好的效益, 使用 HOMA-IR 发现, 还有额外 13.9% IS 增大。在 HIIT 后, 空腹胰岛素水平显著低于 MIIT 组 (11.4%), 提示 IS 随着运动强度的增大而增大。IS 增大或许能通过减小血浆胰岛素浓度调节血浆中 TAG 的减小程度, 这会增大脂肪用作能量基质概率。激素对胰岛素的复杂效应关系是

调节能量储备和利用的关键机制, IS 的提高也许会影响运动强度增大引起的体脂率的降低。因此, 该研究鼓励未来应进一步着眼于优化 HIIT 方式对健康效益的影响。

从能量摄入和消耗的角度来看, 如果不控制干预阶段总能量消耗和摄入, 将很难界定何种训练方法更利于降脂。多数研究使用饮食报告和食物日记等控制能量摄入, 但仍有研究没有考虑饮食因素。此外, 以往研究表明, 当运动强度 $\geq 85\% V\dot{O}_{2max}$ 时, 脂肪几乎不再参与供能, 由糖分解供能。鉴于 HIIT 的强度往往 $\geq 85\% V\dot{O}_{2max}$, 故能量代谢物质来源大多为糖, 而很难消耗脂肪。因此, HIIT 能有效降低脂肪的机制, 可能并不在于 HIIT 提高了训练过程中的脂肪消耗, 而在于 HIIT 提高了在日常生活和其他体力活动中的身体氧化脂肪的能力。

综上所述, 多数研究认为, 与其他干预相比, HIIT 能够显著改善肥胖儿童和青少年的体脂、心肺功能、心脏泵血功能以及血液指标, 也有研究认为在健康水平改善上, HIIT 与中等强度持续训练无显著性差异。但也有研究发现, 低强度有氧训练比 HIIT 和高强度训练对于体重和体脂下降幅度更大。因此, HIIT 在肥胖儿童和青少年中可以作为一种替代方案来提高他们的健康水平, 但在不同的干预方案下, 健康指标结果不完全一致, 需进一步探索研究。

2 HIIT 的生理机制

在 HIIT 研究中使用的最常见模型是 Wingate 测试, 青少年受试者通常进行 4~6 次 30 s 全力冲刺, 间隔 4 min, 在持续 20 min 的训练期间进行共 2~3 min 剧烈运动。2 周内进行 6 次共 15 min 的全力训练, 骨骼肌的氧化能力增加, 线粒体酶的最大活性和(或)蛋白质含量增加 (Gibala et al.,2006)。基于 Wingate 测试的 HIIT 与根据当前公共卫生指南设计的传统 ET, 均能诱导骨骼肌和心血管标志物的改善, 但每周训练量 (HIIT 组降低 90%) 和持续时间 (HIIT 组降低 67%) 存在较大差异 (Burgomaster et al.,2008; Rakobowchuk et al.,2008), HIIT 具有很高的时间效率。在进行数周 HIIT 干预后, 除了能增加人体骨骼肌氧化能力和静息时的糖原含量外, 还能够降低糖原利用率, 减少练习期间乳酸产生量, 改善外周血管功能, 增加 $V\dot{O}_{2max}$, 这表明, HIIT 能够有效改善人体代谢和耐力水平。(Burgomaster et al.,2008; Gibala et al.,2006; Rakobowchuk et al.,2008)。

基于 Wingate 测试的 HIIT 要求极高, 对儿童和青少年来说可能不够安全, 且吸引力较差。因此, 有研究者试图设计一种更实用的低训练量 HIIT 模型, 该模型具有时间效率同时适用于不同人群, 包括有慢性代谢疾病风险的人群。为了实现这一目标, 降低了练习强度, 增加了持续时间并缩短了休息间隔。新的 HIIT 模型由 10×60 s 的回合组成, 其恒定练习强度为 90% HRmax, 间歇 60 s 恢复。该

方案在 20 min 的训练期间仅进行 10 min 的运动, 因此仍然高效。重要的是, 这种节省时间的 HIIT 模型在诱导快速骨骼肌氧化方面同样有效, 类似于之前基于 Wingate 测试的 HIIT 和较高训练量的 ET (Little et al.,2011)。

不少研究探讨了 HIIT 对骨骼肌代谢适应的分子机制。考虑到 HIIT 在增加线粒体方面的潜力, 有研究检验了 HIIT 对过氧化物酶体增殖子激活受体 γ 辅激活因子 1 (peroxisome proliferator-activated receptor γ coactivator-1, PGC-1 α) 活化的影响, 这一蛋白酶能够调节肌肉中线粒体的氧化, 而有证据表明, 运动强度是影响人体骨骼肌 PGC-1 α 活化的关键因素 (Wu et al.,1999)。在这方面, 急性 HIIT 能在运动后 3 h 增加数倍 PGC-1 α mRNA (Gibala et al.,2009; Little et al.,2011), 这与连续性运动后观察到的 PGC-1 α mRNA 表达的急剧增加相当 (Egan et al.,2010)。HIIT 已被证明可激活 5'-腺苷一磷酸激活蛋白激酶 (Adenosine 5'-monophosphate-activated protein kinase, AMPK) 和 p38 促分裂原活化蛋白激酶 (p38 mitogen-activated protein kinase, MAPK), 这两种运动反应性信号激酶都与 PGC-1 α 的直接磷酸化和活化有关, 使得共同激活转录因子增加线粒体基因转录, 最终导致更多线粒体蛋白的积累以驱动线粒体生物合成活动 (图 3) (Little et al.,2011)。

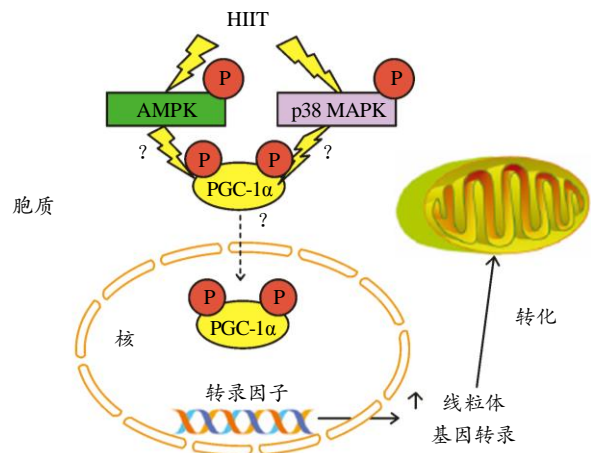


图 3 HIIT 诱导的线粒体生物发生中涉及的潜在细胞内信号传导机制 (Little,2011)

Figure 3. Potential Intracellular Signaling Mechanisms Involved in HIIT-induced Mitochondrial Biogenesis

目前尚未阐明激活 PGC-1 α 和线粒体生物合成以响应 HIIT 的上游信号, 但可能与运动后肌肉 ATP: ADP/AMP 比率的强烈变化有关 (Chen et al.,2000)。HIIT 后, 升高的 PGC-1 蛋白水平也伴随线粒体含量的增加。6 周 HIIT 干预能够使得青少年人群的 PGC-1 蛋白质含量增加 100% (Burgomaster et al.,2008), 2 周 10×1 min 的 HIIT 导致 PGC-1 蛋白含量增加 25% (Little et al.,2011)。

以上结果表明, PGC-1 α 可能参与 HIIT 对机体代谢适应的调节, 鉴于肌肉 PGC-1 α 适度增加对氧化能力的积极

影响, HIIT 后 PGC-1 α 增加可能突出显示这种类型运动潜在且广泛的健康益处。

3 HIIT 的可行性

人们的生活方式越来越趋向于静坐少动, 大多数儿童青少年达不到体力活动指南的推荐量。从内在角度来说, 一项好的锻炼干预方法实施, 除了在减脂、减重和减少心血管代谢风险等健康效益的科学性之外, 还必须考虑可行性。对于儿童青少年而言, 影响他们参与体力活动的一个重要因素是对锻炼的乐趣感, 与长时间的持续性训练相比, 短时 HIIT 的形式更易于儿童青少年坚持锻炼。

目前已有研究探讨了 HIIT 在儿童青少年中的可行性, 大多数以体力活动享受量表 (Physical Activity Enjoyment Scale, PACES) 测量参与者获得的乐趣感, 乐趣感更强意味着儿童青少年更容易接受和坚持。有研究表明, HIIT 具备更强的乐趣感和可行性 (Tjonna et al., 2009; Wisloff et al., 2007)。Little 等 (2011) 采用 9 分 Likert 量表测试受试者乐趣感, 结果显示, HIIT 的乐趣感等级评定更高。在干预实验前, 受试者认为持续训练会更有趣, 而 2 周体能锻炼后, HIIT 在 3 种运动形式中被评为最具乐趣感, 完成的主动性也最强。与其研究结果一致的是 Bartlett 等 (2011) 开展的一个随机交叉设计研究, 将 8 名健康活跃的儿童分配到 HIIT 组或 MIE 组, HIIT 组完成 6 回合 90% $V\dot{O}_2\text{max}$ 状态下的 3 min 跑, MIE 组完成 70% $V\dot{O}_2\text{max}$ 状态下的 50 min 跑, 7 天后两组成员交换运动方式, 在运动结束即刻用 PACES 测量参与者获得的乐趣感。研究结果显示, 与 MIE 组相比, HIIT 组乐趣感更强 ($P=0.004$, 图 4A), RPE 更大 (图 4B)。

Starkoff 等 (2014) 对肥胖青少年在 HIIT、MOD 乐趣感方面的研究发现, HIIT 让青少年通过高强度的训练, 对自身的运动能力获得信心, 增加了参与体育锻炼的乐趣。一系列研究发现, HIIT 要比其他训练更能引起青少年的兴趣和享受 (Bond et al., 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2017)。Malik 等人的研究发现, HIIT 后更大的享受是由于训练效果的回报、锻炼过程中的兴奋性和成功感的提高造成的, 这可能是促进青少年参与更多锻炼以促进健康效益的一种积极策略 (Malik et al., 2017), 因此将 HIIT 这一锻炼形式应用在儿童青少年这一群体中的可行性较高。

虽然大量的研究表明, HIIT 这一锻炼形式被认为趣味性更强, 可行性更高, 但在连续中强度运动中加入冲刺跑的研究中, Crisp 等人发现并非所有人的 PACES 随运动强度增大显著提高 (Crisp et al., 2012)。该研究将 8~12 岁的受试者分配到轻到中强度的连续锻炼中, 在 40~50% $V\dot{O}_2\text{max}$ 状态下骑行, 或者在同样的强度下每 2 min 完成 4s 的冲刺跑。虽然该方法中包括间断的冲刺跑, 但运动总时间长于其他的 HIIT 运动。结果发现, 除了超重以外的所

有其他人, 都更享受间歇运动形式而不是连续锻炼。对于超重群体的乐趣性较低, 原因可能是冲刺跑的方式不同于其他 HIIT, 其中包含了更长时间的有氧运动。有趣的是, Giguere 等人对 11 名青少年进行了研究, 将乐趣性和锻炼主动性从 1~7 (低~高) 进行等级评定, 没有观察到 HIIT 和持续训练之间有显著差异 (Giguere et al., 2012)。同样, Cockcroft 的研究发现, 尽管 HIIT 会引起更大的生理和知觉压力, 但 14 岁的青春期男孩对 HIIT 和 MOD 两组训练的乐趣性没有差异, 表现出相似的快乐水平 (Cockcroft et al., 2015)。然而, Cockcroft 后续对 8 岁左右的正常体重儿童研究却发现 (Cockcroft et al., 2018), HIIT 要比 MOD 更具有乐趣性, 因此, 支持将 HIIT 作为这个年龄段的一种可行和有效的锻炼形式。

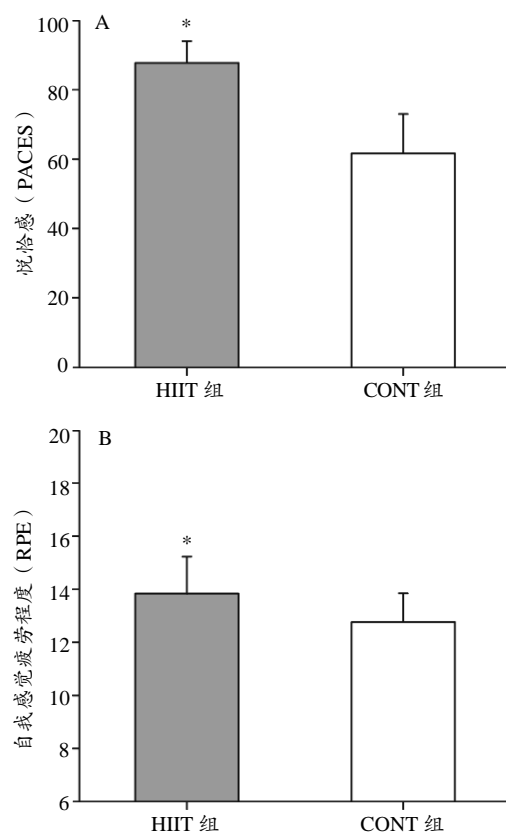


图 4 HIIT 和 CONT 组的愉悦感 (A) 和自我感觉疲劳程度 (B) 对比图 (Bartlett, 2011)

Figure 4. PACES and RPE between HIIT and Moderate-intensity Continuous Training

根据自我决定理论 (Self-determination theory), 感知享受是一种自主的动机形式, 这种动机形式与持续的健康促进行为 (如运动) 是正相关的 (Deci et al., 1991)。虽然定期耐力活动对青少年有氧表现和健康状况有益, 但许多青年在参加这种性质的活动时很难坚持并很少有兴趣。鉴于旨在增加青少年参与和坚持的体育活动干预措施尚未成功, 似乎有必要探索新的训练方式替代持续性训练, 以确定是否有更有效的方法来改善青少年的健康, 因此 Buchan

认为 HIIT 可能是一种有效的健康改善策略 (Buchan et al., 2011)。

综上所述, HIIT 在青少年可行性的评价中有很明显的优势, HIIT 具备更强的趣味性, 因此儿童青少年也更容易坚持这一锻炼形式, 因此让他们参与 HIIT 锻炼的可行性较高。儿童青少年在 HIIT 期间表现出更多的乐趣, 这可能归因于 HIIT 的间歇性更加类似于儿童自发性的玩耍。但也有部分研究结果不一致, 可能是因为不同研究中 HIIT 的锻炼方案有差异, 且不同年龄阶段的儿童青少年有所差异。总体而言, 青少年在参与锻炼时倾向于享乐主义激励机制, 通过使用 HIIT 方式来提高运动中获取的有趣度或许能鼓舞青少年锻炼的内在动力。

4 结论

1) HIIT 可显著降低儿童和青少年心血管代谢风险; 2) 鉴于肌肉 PGC-1 α 适度增加对氧化能力的积极影响, HIIT 后 PGC-1 α 的增加可能是 HIIT 改善儿童和青少年健康的适应性机制; 3) 与长时间持续性训练相比, HIIT 在量-效关系方面体现出高度的经济性、趣味性和训练的可持续性, 因此, 可作为儿童和青少年使用的有效运动模式。

5 展望与建议

1) 未来需进一步在不常运动、超重/肥胖及患有慢性疾病的不同儿童青少年群体中探究省时且更具吸引力的 HIIT 健康干预方案; 2) 后续研究应使用统一的心血管代谢测量指标和方法以更好理解 HIIT 对儿童和青少年代谢的影响; 3) 实验干预应将饮食和干预实验之外的体力活动纳入考虑来消除混淆的变量, 以及考虑性别差异和激素对青少年青春期代谢能力的影响。

参考文献:

刘瑞东, 曹春梅, 刘建秀, 等, 2017. 高强度间歇训练的应用及其适应机制[J]. 体育科学, 37(7):73-82.
黎黎明, 2015. 高强度间歇训练对不同训练人群的应用效果[J]. 体育科学, 35(8):59-75.
张戈, 2016. 高强度间歇训练: 运动量和锻炼效果研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 35(2):184-188.
赵春琪, 2015. 间歇训练对超重青少年健康体适能的影响[J]. 贵州体育科技, (2):55-57.
祖秀明, 2014. 耐力训练与高强度间歇训练对肥胖儿童健康相关指标的影响[J]. 西南国防医药, 24(4):408-411.
BAILEY R C, OLSON J, PEPPER S L, et al., 1995. The level and tempo of childrens physical activities: An observational study[J]. Med Sci Sports Exerc, 27(7): 1033-1041.
BAQUET G, BERTHOIN S, GERBEAUX M, et al., 2001. High-intensity aerobic training during a 10 week one-hour physical education cycle: Effects on physical fitness of adolescents aged 11 to 16[J]. Int J Sports Med, 22(4):295-300.

BARKER A R, DAY J, SMITH A, et al., 2014. The influence of 2 weeks of low-volume high-intensity interval training on health outcomes in adolescent boys[J]. J Sports Sci, 32(8):757-765.
BARRETT L A, MORRIS J G, STENSEL D J, et al., 2007. Exercise and postprandial plasma triacylglycerol concentrations in healthy adolescent boys[J]. Med Sci Sports Exerc, 39(1):116-122.
BARTLETT J D, CLOSE G L, MACLAREN D, et al., 2011. High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: Implications for exercise adherence[J]. J Sports Sci, 29(6):547-553.
BILLAT L V, 2001. Interval training for performance: A scientific and empirical practice - Special recommendations for middle- and long-distance running, part I: Aerobic interval training[J]. Sports Med, 31(1):13-31.
BOER P, MEEUS M, TERBLANCHE E, et al., 2014. The influence of sprint interval training on body composition, physical and metabolic fitness in adolescents and young adults with intellectual disability: A randomized controlled trial[J]. Clin Rehabil, 28(3):221-231.
BOND B, COCKCROFT E J, WILLIAMS C A, et al., 2015a. Two weeks of high-intensity interval training improves novel but not traditional cardiovascular disease risk factors in adolescents[J]. Am J Physiol-Heart C, 309(6):H1039-H1047.
BOND B, GATES P E, JACKMAN S R, et al., 2015b. Exercise intensity and the protection from postprandial vascular dysfunction in adolescents[J]. Am J Physiol-Heart C, 308(11):H1443-H1450.
BOND B, HIND S, WILLIAMS C A, et al., 2015c. The acute effect of exercise intensity on vascular function in adolescents[J]. Med Sci Sports Exerc, 47(12):2628-2635.
BOND B, WESTON K, WILLIAMS C, et al., 2017. Perspectives on high-intensity interval exercise for health promotion in children and adolescents[J]. Open Access J Sports Med, 8:243-265.
BOND B, WILLIAMS C A, ISIC C, et al., 2015d. Exercise intensity and postprandial health outcomes in adolescents[J]. Eur J Appl Physiol, 115(5):927-936.
BOND B, WILLIAMS C A, JACKMAN S R, et al., 2015e. Accumulating exercise and postprandial health in adolescents[J]. Metabolism, 64(9):1068-1076.
BUCHAN D S, OLLIS S, THOMAS N E, et al., 2011. Physical activity interventions: Effects of duration and intensity[J]. Scand J Med Sci Sports, 21(6):e341-e350.
BUCHAN D S, OLLIS S, YOUNG J D, et al., 2013. High intensity interval running enhances measures of physical fitness but not metabolic measures of cardiovascular disease risk in healthy adolescents[J]. BMC Public Health, 13 (1):498.
BUCHAN D S, OLLIS S, YOUNG J D, et al., 2011. The effects of time and intensity of exercise on novel and established markers of CVD in adolescent youth[J]. Am J Hum Biol, 23(4):517-526.
BUCHAN D S, YOUNG J D, SIMPSON A D, et al., 2012. The effects of a novel high intensity exercise intervention on established markers of cardiovascular disease and health in Scottish adolescent youth[J]. J Public Health Res, 1(2):155-157.
BUCHHEIT M, MILLET G P, PARISY A, et al., 2008. Supramaximal

- training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents[J]. *Med Sci Sports Exer*, 40(2):362-371.
- BURGMASER K A, HOWARTH K R, PHILLIPS S M, et al., 2008. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans[J]. *J Physiol-London*, 586(1):151-160.
- BURNS S F, OO H H, ANH T, 2012. Effect of sprint interval exercise on postexercise metabolism and blood pressure in adolescents[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 22(1):47-54.
- CARSON V, RINALDI R L, TORRANCE B, et al., 2014. Vigorous physical activity and longitudinal associations with cardiometabolic risk factors in youth[J]. *Int J Obesity*, 38(1):16-21.
- CHEN Z P, MCCONELL G K, MICHELL B J, et al., 2000. AMPK signaling in contracting human skeletal muscle: Acetyl-CoA carboxylase and NO synthase phosphorylation[J]. *Am J Physiol-Endoc M*, 279(5):E1202-E1206.
- CHUENSIRI N, TANAKA H, SUKSOM D, 2015. The acute effects of supramaximal high-intensity intermittent exercise on vascular function in lean vs. obese prepubescent boys[J]. *Pediatr Exerc Sci*, 27(4):503-509.
- COCKCROFT E J, WILLIAMS C A, JACKMAN S R, et al., 2018. A single bout of high-intensity interval exercise and work-matched moderate-intensity exercise has minimal effect on glucose tolerance and insulin sensitivity in 7- to 10-year-old boys[J]. *J sports sci*, 36(2):149-155.
- COCKCROFT E J, WILLIAMS C A, TOMLINSON O W, et al., 2015. High intensity interval exercise is an effective alternative to moderate intensity exercise for improving glucose tolerance and insulin sensitivity in adolescent boys[J]. *J Sci Med Sport*, 18(6):720-724.
- CRISP N A, FOURNIER P A, LICARI M K, et al., 2012. Adding sprints to continuous exercise at the intensity that maximises fat oxidation: Implications for acute energy balance and enjoyment[J]. *Metabolism*, 61(9):1280-1288.
- DE ARAUJO A, ROSCHEL H, PICANCO A R, et al., 2012. Similar health benefits of endurance and high-intensity interval training in obese children[J]. *PLoS One*, 7(8).
- DECI E L, RYAN R M, 1991. A motivational approach to self: Integration in personality[J]. *Nebraska Symposium on Motivation*, 38:237-288.
- DIAS K A, INGUL C B, TJØNNA A E, et al., 2018. Effect of high-intensity interval training on fitness, fat mass and cardiometabolic biomarkers in children with obesity: A randomised controlled trial[J]. *Sports Med*, 48(3):733-746.
- EATHER N, MORGAN P J, LUBANS D R, 2016. Improving health-related fitness in adolescents: The CrossFit Teens (TM) randomised controlled trial[J]. *J Sports Sci*, 34(3):209-223.
- EDDOLLS W, MCNARRY M A, STRATTON G, et al., 2017. High-intensity interval training interventions in children and adolescents: A systematic review[J]. *Sports Med*, 47(11):2363-2374.
- EGAN B, CARSON B P, GARCIA-ROVES P M, et al., 2010. Exercise intensity-dependent regulation of peroxisome proliferator-activated receptor. coactivator-1 alpha mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle[J]. *J Physiol-London*, 588(10):1779-1790.
- FARAH B Q, RITTI-DIAS R M, BALAGOPAL P B, et al., 2014. Does exercise intensity affect blood pressure and heart rate in obese adolescents? A 6-month multidisciplinary randomized intervention study[J]. *Pediatr Obes*, 9(2):111-120.
- GIBALA M J, 2007. High-intensity interval training: A time-efficient strategy for health promotion? [J]. *Curr Sports Med Rep*, 6(4):211-213.
- GIBALA M J, LITTLE J P, van ESSEN M, et al., 2006. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance[J]. *J Physiol-London*, 575(3):901-911.
- GIBALA M J, MCGEE S L, 2008. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? [J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 36(2):58-63.
- GIBALA M J, MCGEE S L, GARNHAM A P, et al., 2009. Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 alpha in human skeletal muscle[J]. *J Appl Physiol*, 106(3):929-934.
- GIGUERE V, GREEN A E, LATIMER A E, et al., 2012. High-intensity intervals are associated with relatively positive emotional responses and elevated predictors of behaviour change[J]. *J Gen Intern Med*, 272:324-325.
- INGUL C B, TJØNNA A E, STOLEN T O, et al., 2010. Impaired cardiac function among obese adolescents[J]. *Arch Pediatr Adol Med*, 164(9):852-859.
- KOUBAA H T L M, 2013. Effect of intermittent and continuous training on body composition cardiorespiratory fitness and lipid profile in obese adolescents[J]. *Isr J Pharmacy*, 3(2):31-37.
- LAU P, WONG D P, NGO J K, et al., 2015. Effects of high-intensity intermittent running exercise in overweight children[J]. *Eur J Sport Sci*, 15(2):182-190.
- LAZZER S, TRINGALI G, CACCAVALE M, et al., 2017. Effects of high-intensity interval training on physical capacities and substrate oxidation rate in obese adolescents[J]. *J Endocrinol Invest*, 40(2):217-226.
- LEE S, SPECTOR J, REILLY S, 2017. High-intensity interval training programme for obese youth (HIP4YOUTH): A pilot feasibility study[J]. *J Sports Sci*, 35(18):1794-1798.
- LITTLE J P, GILLEN J B, PERCIVAL M E, et al., 2011. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes[J]. *J Appl Physiol*, 111(6):1554-1560.
- LITTLE J P, SAFDAR A, BISHOP D, et al., 2011. An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle[J]. *Am J Physiol-Regul Integr Compa*, 300(6):R1303-R1310.
- LOGAN G R M, HARRIS N, DUNCAN S, et al., 2016. Low-active male adolescents[J]. *Med Sci Sports Exer*, 48(3):481-490.
- MALIK A A, WILLIAMS C A, BOND B, et al., 2017. Acute cardiorespiratory, perceptual and enjoyment responses to high-

- intensity interval exercise in adolescents[J]. *Eur J Sport Sci*,17(10):1335-1342.
- MURPHY A, KIST C, GIER A J, et al., 2014. The feasibility of high-intensity interval exercise in obese adolescents[J]. *Clin Pediatr*,54(1):87-90.
- NG M, FLEMING T, ROBINSON M, et al., 2014. Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980 - 2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013[J]. *Lancet*,384(9945):766-781.
- RACIL G, BEN OUNIS O, HAMMOUDA O, et al., 2013. Effects of high vs. moderate exercise intensity during interval training on lipids and adiponectin levels in obese young females[J]. *Eur J Appl Physiol*,113(10):2531-2540.
- RACIL G, COQUART J B, ELMONTASSAR W, et al., 2016. Greater effects of high- compared with moderate-intensity interval training on cardio-metabolic variables, blood leptin concentration and ratings of perceived exertion in obese adolescent females[J]. *Biol Sport*, 33(2):145-152.
- RAKOBOWCHUK M, TANGUAY S, BURGOMASTER K A, et al., 2008. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans[J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*,295(1):R236-R242.
- RICHTER L M, DAELMANS B, LOMBARDI J, et al., 2017. Investing in the foundation of sustainable development: Pathways to scale up for early childhood development[J]. *Lancet*,389(10064):103-118.
- SA G D, NEVES V D, FRAGA S, et al., 2017. High-intensity interval training has beneficial effects on cardiac remodeling through local renin-angiotensin system modulation in mice fed high-fat or high-fructose diets[J]. *Life Sci*,189:8-17.
- SEDGWICK M J, MORRIS J G, NEVILL M E, et al., 2015. Effect of repeated sprints on postprandial endothelial function and triacylglycerol concentrations in adolescent boys[J]. *J Sports Sci*, 33(8):806-816.
- STARKOFF B E, ENELI I U, BONNY A E, et al., 2015. Endothelin-1 and exercise intensity in sedentary adolescents with obesity[J]. *Int J Kinesiol Sports Sci*,3(1):1-8.
- STARKOFF B E, ENELI I U, BONNY A E, et al., 2014. Estimated aerobic capacity changes in adolescents with obesity following high intensity interval exercise[J]. *Int J Kinesiol Sports Sci*,2(3):1-8.
- THACKRAY A E, BARRETT L A, TOLFREY K, 2013. Acute high-intensity interval running reduces postprandial lipemia in boys[J]. *Med Sci Sports Exer*,45(7):1277-1284.
- THACKRAY A E, BARRETT L A, TOLFREY K, 2016. High-intensity running and energy restriction reduce postprandial lipemia in girls[J]. *Med Sci Sports Exer*,48(3):402-411.
- TJONNA A E, STOLEN T O, BYE A, et al., 2009. Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents[J]. *Clin Sci*, 116(3-4):317-326.
- TOLFREY K, DOGGETT A, BOYD C, et al., 2008. Postprandial triacylglycerol in adolescent boys: A case for moderate exercise[J]. *Med Sci Sports Exer*,40(6):1049-1056.
- TROST S G, OWEN N, BAUMAN A E, et al., 2002. Correlates of adults' participation in physical activity: Review and update[J]. *Med Sci Sports Exer*,34(12):1996-2001.
- WISLOFF U, STOYLEN A, LOENNECHEN J P, et al., 2007. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study[J]. *Circulation*,115(24):3086-3094.
- WU Z D, PUIGSERVER P, ANDERSSON U, et al., 1999. Mechanisms controlling mitochondrial biogenesis and respiration through the thermogenic coactivator PGC-1[J]. *Cell*,98(1):115-124.

HIIT Promotes the Health of Children and Adolescents: Research Status, Mechanism and Feasibility

LIU Jianxiu, FANG Wen, WANG Dizhi, MA Xindong*

Department of Sports Science and Physical Education, Tsinghua University, Beijing, 10084, China

Abstract: The application of high-intensity interval training (HIIT) in children and adolescents is a hot research topic among international scholars. The current study aims to clarify the latest application results, mechanisms and feasibility of HIIT in promoting health in children and adolescents, which can provide reference and enlightenment to improve the health status of children and adolescents in China as well. Conclusions: (1) HIIT can significantly reduce the risk of cardiovascular metabolic in children and adolescents; (2) The increased PGC-1 α in muscle has a positive effect on oxidative capacity, thus the HIIT-induced PGC-1 α may be an adaptive mechanism for HIIT to improve the health status of children and adolescents; (3) Compared with long-time continuous training, HIIT shows high economical efficiency, fun and persistence, it can be used as an effective exercise type in children and adolescents. Prospects and suggestions: (1) It is necessary to explore time-saving and more attractive HIIT protocols in children and adolescents with sedentary lifestyle, overweight/obesity and chronic diseases; (2) The uniform cardiovascular metabolic measurements and methods should be used in order to better understanding the effects of HIIT on metabolisms in children and adolescents; (3) Besides HIIT intervention and diets, the physical activity level should be included to eliminate confusing variables, and the effects of gender and hormones on metabolic capacities should be considered as well.

Keywords: *children; adolescents; HIIT; overweight; obesity; health*