

·运动人体科学·

## 持续和累积运动对有和无运动习惯女大学生 餐后血甘油三酯的影响

朱寒笑

(深圳大学 体育学院, 广东 深圳 518061)

**摘 要:** 了解不同运动模式(累积或持续)以及有和无运动习惯对餐后血甘油三酯(TAG)的影响, 为餐后血脂干预提供适宜运动方案。选取有和无运动习惯女大学生各 15 人, 年龄(20.2±1.2)岁, 按照随机顺序进行 3 种测试(静息对照、持续运动、累积运动), 每种测试间隔 5~7 d。运动后给予一餐高脂饮食, 然后监测餐后血 TAG 的动态变化(0~5 h)。持续运动和累积运动均为 65% VO<sub>2</sub>max 强度的跑台运动, 持续运动为一次性完成(30 min), 累积运动分 5 次完成(每次 6 min, 间隔 2 h)。结果发现: 与静息对照相比, 累积运动和持续运动均能降低餐后血 TAG( $P < 0.05$ ), 且累积运动优于持续运动( $P < 0.05$ )。静息对照、持续运动、累积运动测试的次日晨空腹血 TAG 浓度均依次降低( $P < 0.05$ )。累积运动和持续运动导致的餐后血 TAG 下降效应, 在无和有运动习惯组之间的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。研究认为, 累积运动较等运动量的一次性持续运动会导致更显著的餐后血 TAG 降低效应, 而运动降低餐后血 TAG 的效应主要受急性运动影响, 与是否具有运动习惯无关。

**关键词:** 运动生物化学; 餐后甘油三酯; 累积运动; 持续运动; 运动习惯

中图分类号: G804.7 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2022)05-0139-06

### Effects of continuous and accumulated exercise on postprandial triacylglycerol of female college students with and without exercise habits

ZHU Hanxiao

(School of Physical Education, Shenzhen University, Shenzhen 518061, China)

**Abstract:** This study aimed to investigate the differences of ppTAG reduction induced by acute exercise of different modes (continuous/accumulated) in young people with or without exercise habits, so as to provide experimental evidence for ppTAG management. 30 female college students aged (20.2 ± 1.2) years with or without exercise habits respectively were recruited. Three tests in random order (sedentary control, continuous exercise, and accumulated exercise) were carried out, and the interval of each test is 5 to 7 days. Then a high fat meal were provided and ppTAG were monitored during 5 hours after the meal. Both continuous exercise and accumulated exercise were carried out on treadmill with 65% VO<sub>2</sub>max exercise intensity, and continuous exercise lasting for 30 minutes for one bout, but accumulated exercise was completed in 5 bouts, 6 minutes each bout, with an interval of 2 hours. The results showed that: compared with sedentary control, both continuous exercise and accumulated exercise could significantly reduce ppTAG ( $P < 0.05$ ), and accumulated exercise was stronger than continuous exercise ( $P < 0.05$ ). The fasting TAG in the next morning for three groups decreased in turn ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in ppTAG reduction induced by continuous exercise or accumulated exercise between the habitual exercisers and non-habitual exercisers ( $P > 0.05$ ). It can be concluded that accumulated exercise has a more

收稿日期: 2022-02-21

基金项目: 科技基础性工作专项“中国人运动能量消耗标准研究”(2013FY114700)。

作者简介: 朱寒笑(1969-), 女, 教授, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 运动与健康促进。E-mail: zhuhx118@163.com

significant effect on reducing ppTAG than one bout continuous exercise with equal exercise volume, and the effect of reducing ppTAG after exercise may be an acute response to exercise which is not related with exercise habits.

**Keywords:** sports biochemistry; postprandial triacylglycerol; accumulated exercise; continuous exercise; exercise habits

血脂异常可加速全身动脉粥样硬化,引发冠心病、心梗和中风等严重危及生命的心脑血管疾病。高甘油三酯血症是血脂异常的最常见表型,且危害广泛。血液中过多的甘油三酯(Triacylglycerol, TAG)可异位沉积于心、肝、肾等器官内,导致动脉粥样硬化和脂肪肝等多种疾病。目前,临床血脂检测主要是在空腹状态下进行。但研究表明,餐后血 TAG 较空腹血 TAG 更能独立地预测心血管病风险<sup>[1]</sup>。而且,人类约 3/4 的时间是处于餐后状态。因此,必需加强对餐后血 TAG 的监测及其影响因素的研究。鉴于血脂异常对机体的严重危害,低脂低热量饮食被广泛倡导。但是,高脂类食物的嗅觉与味觉刺激,以及大脑奖赏机制的存在,使得低脂低热量饮食不易长期坚持。因此,人们时常要面对健康认知约束与高脂膳食诱惑之间的心理冲突。然而,餐前的运动行为可降低餐后血 TAG 反应的研究发现让人们看到了摆脱这种窘境希望。研究证实运动可以降低随后一餐或次日一餐的餐后血 TAG 上升幅度<sup>[2-3]</sup>。然而,运动这一效应及其机制仍有许多问题尚未明晰。

久坐已成为当代社会的主要生活方式,也是多种健康问题的共同危险因素。研究发现人们的运动行为多在一天中的某一时段一次性完成,如果其他时间为静坐少动,仍不能排除久坐的风险<sup>[4]</sup>。因此,基于打破久坐生活方式学者提出累积运动,即分布在一天当中的多次短时运动。人体和动物实验均证明,累积运动与等运动量的持续运动相比,对多种健康问题具有等效或更优的干预效果<sup>[5-6]</sup>。但是与经典的单次持续性有氧运动相比,累积运动降低餐后血 TAG 的效果如何仍需进一步研究,尤其是缺乏基于现实日常生活时间安排的实验证据。鉴于此,本研究选取有运动习惯和无运动习惯的女大学生各 15 名,进行不同模式急性运动(持续运动或累积运动),随后进食高脂餐并观察餐后血 TAG 的动态变化,以探讨持续运动和累积运动在降低餐后血 TAG 上的效果差异,以及运动降低餐后血 TAG 的效应是否受有或无运动习惯的影响,为有效降低餐后血 TAG 提供运动方案的实验依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究对象与分组

招募有和无运动习惯的女大学生各 15 人。纳入标准:(1)无服用影响血脂的药物;(2)无诊断的心血管疾

病和其他慢性病;(3)生活作息规律,饮食无禁忌,无吸烟饮酒等嗜好;(4)月经周期正常。具有运动习惯的判别标准:中等强度运动 150 min/周,或大强度运动 75 min/周,或等量的中等和大强度运动组合;不满足上述标准,且以静坐少动为主要生活方式判定为无运动习惯者。全部受试者签订知情同意书,受试者的基本情况见表 1。

表 1 受试者分组及基本情况( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/人	年龄/岁	身高/cm	体质量/kg
无运动习惯	15	19.9±1.2	160.5±4.7	66.1±4.9
有运动习惯	15	20.4±1.3	159.0±5.9	61.4±6.3 <sup>1)</sup>
总情况	30	20.2±1.2	159.8±5.3	63.8±4.7

1)与无运动习惯组比较,  $P < 0.05$

### 1.2 实验流程

全部受试者按照随机顺序进行 3 次 1 日的急性测试(静息对照、持续运动、累积运动)。受试者于测试当日 09:00 到达实验室,24:00 离开。在测试日内,除规定运动外其余时间均以静坐方式从事工作、学习或娱乐。午餐(12:30-13:00)和晚餐(18:30-19:00)均在实验室进食(平均进餐时间(17.2±2.3)min)。分别于 18:30、19:30、20:30、21:30、22:30 和 23:30 点采血,并测试血 TAG 和总酮体(TKB)。次日晨(08:00)采集空腹血测血脂 4 项。静息对照测试日,受试者 09:00-24:00 主要以坐姿从事办公、学习或娱乐;持续运动测试日,下午 17:30-18:00 进行 1 次 30 min 的持续性跑台运动。累积运动测试日,受试者分别于 09:50、11:50、13:50、15:50 和 17:50 开始进行跑台运动(共 5 次),每次 6 min。各测试日的间隔为 5~7 d。

### 1.3 运动方案

持续运动和累积运动均以跑台作为运动工具,坡度 0°。具体方案见表 2。

表 2 持续运动和累积运动的方案<sup>1)</sup>

运动形式	强度	持续时间/min	重复次数	间隔时间/h
持续运动	65% VO <sub>2</sub> max	30	1	
累积运动	65% VO <sub>2</sub> max	6	5	2

1)热身和整理活动强度为 40% VO<sub>2</sub>max 对应的跑速,热身与整理活动的运动量在累积运动和持续运动间保持一致

#### 1.4 饮食方案

为观察到更显著的餐后血 TAG 反应以及运动对其的影响,受试者在测试日进食一餐高脂餐。为消除不同测试日(静息对照、持续运动、累积运动)饮食因素对研究结果的影响,实施控制餐设计。

高脂餐:测试当日的晚餐食用高脂餐,包括白米饭、香菇炒菜心、炸鸡柳、煎带鱼、汤(油豆泡、胡萝卜、西洋菜)、奶油(用于调节膳食中的脂肪含量)。根据受试者的体质量计算高脂餐供应量,即每 kg 体质量提供 1.20 g 碳水化合物、0.60 g 脂肪、0.45 g 蛋白质、50 kJ 能量。总能量中,能量 45%来自脂肪,40%来自碳水化合物,15%来自蛋白质。

控制餐:根据实验前连续 2 日膳食调查的结果(运动员及大众膳食营养分析与管理信息系统,国家体育总局运动医学研究所),配置各餐次的控制餐。测试前日的

三餐和测试日的早餐和午餐均食用控制餐,并且对应餐次的饮食在各测试日(静息对照、累积运动、持续运动)保持一致(种类、重量、进食量和进餐时间)。本实验提供的控制餐日平均能量供应为 $(8\ 255 \pm 1\ 034)$ kJ,其中碳水化合物、脂肪和蛋白质的供能比分别为 $(57 \pm 14.3)\%$ 、 $(28 \pm 9.7)\%$ 和 $(15 \pm 5.1)\%$ 。

#### 1.5 测试指标

1)最大摄氧量。

正式实验开始前测试受试者的最大摄氧量( $VO_{2max}$ ),以便确定 65%  $VO_{2max}$  强度所对应的跑台速度。最大摄氧量采用直接测试法,跑台递增运动负荷方案(见表 3)。以摄氧量动态变化曲线、心率、呼吸商和主观疲劳感觉综合判定最大摄氧量测试的终点。室内温度控制在 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,湿度控制在 50%~60%。

表 3 最大摄氧量测试方案

速度/( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )	坡度/%	时间/min	速度/( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )	坡度/%	时间/min	速度/( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ )	坡度/%	时间/min
6	0	2	10	0	2	11	6	1
7	0	2	11	0	2	11	8	1
8	0	2	11	2	1	11	10	1
9	0	2	11	4	1			

2)体脂百分比。

采用电阻抗法(Inbody 570, Inbody)测定体脂百分比。起床后不要饮水与进食,排净大小便,摘除身上金属物品,着单衣裤进行电阻抗法测试。

3)血样采集与血脂检测。

采用肘静脉留置插管法采集测试日血样。分别于晚餐前和开始晚餐后的 5 h 内,每隔 1 h 采血 1 次,以测量餐后血甘油三酯(TAG)和总酮体(TKB)。每次采血前,受试者静坐休息 10 min。各时点第一次抽取的 3 mL 血弃去。每次采集血样后,用 10 mL 非肝素化生理盐水冲洗插管。次日晨血脂四项检测采用清晨空腹血。采集的血样室温下静置 1 h,  $4^\circ\text{C}$ 以 3 000 r/min 离心 10 min,提取血清,EP 管分装,  $-80^\circ\text{C}$ 下储存备检。

血清 TAG 检测采用单试剂 GPO-PAP 法(南京建成生物工程研究所)、血清总酮体(Total ketone body, TKB)检测采用 ELISA 法(江莱生物,上海)。

为探讨急性运动对餐后一段时间内血 TAG 的整体影响,本研究以餐后 0~5 h 的血 TAG 积分浓度作为分析指标(即血 TAG 浓度随时间变化曲线下的面积—AUC, Area Under Curve)。同时,为排除各测试日餐前血 TAG(0 h 时刻值)存在的差异,以及 8 周运动干预前

和运动干预后血 TAG 基础值出现的差异,本研究采用以下公式计算增量 TAG。并绘制其时间变化曲线,计算曲线下面积,作为“增量 TAG<sub>AUC</sub>”。

增量 TAG=静息对照测试日各时点 TAG 值-静息对照测试日 0 h 时点 TAG 值-运动测试日各时点 TAG 值-运动测试日 0 h 时点 TAG 值。

#### 1.6 干扰因素控制

1)膳食控制。

3 个测试日(包括测试前日)的对应餐次食用相同的控制餐,以排除饮食因素对研究结果的影响。同时,测试日和测试前 2 日内避免刺激性饮料与食物以及高脂饮食。第 1 个测试日,受试者自由饮用纯净水(记录饮水时间和饮水量),后续测试日的饮水安排据此进行。本研究的受试者测试当日(15 h)平均饮水量为 $(1\ 282 \pm 373)$  mL。

2)身体活动量监测。

测试前 3 日内避免大负荷的身体活动。测试日除规定的运动外,其余时间均以静坐方式从事工作、学习或娱乐,利用 Actigraph 三轴加速度传感器监测身体活动量。

3)月经周期监测。

由于在月经周期的黄体期餐后血 TAG 反应低于卵泡期<sup>7)</sup>。因此,为排除月经周期的影响,本研究的全部急性运动测试均安排在月经周期的卵泡期进行。

### 1.7 数据处理

数据以  $\bar{x} \pm s$  表示,采用 SPSS 20.0 统计软件包进行数据分析;采用 Shapiro-Wilk 法检验数据分布的正态性;用梯形面积法计算血 TAG 和 TKB 浓度-时间曲线下的总面积(AUC)。各参数值经静息对照以及餐前时点(0 h)校正后,使用相同方法计算“增量 AUC”值。有运动习惯组与无运动习惯组之间的基础指标(身高、体质量、BMI、体脂百分比、腰臀比、血脂四项、最大摄氧量)比较采用独立样本 *t* 检验。有运动习惯组与无

运动习惯组之间的 TAG<sub>AUC</sub> 值比较采用协方差分析法,以基础指标作为协变量。不同运动模式(持续或累积)之间的增量 TAG<sub>AUC</sub> 和增量 TKB<sub>AUC</sub> 比较均采用配对样本 *t* 检验。静息对照、持续运动和累积运动的次日晨空腹血 TAG 比较采用单因素方差分析法。显著性水平取  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 有和无运动习惯组的基础指标比较

如表 4 所示,有运动习惯组的体质量、BMI、体脂百分比、TC 和 LDL-C 均低于无运动习惯组( $P < 0.05$  或  $P < 0.01$ );而最大摄氧量高于无运动习惯组( $P < 0.05$ )。

表 4 有运动习惯组与无运动习惯组的基础指标( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/人	体质量/kg	BMI	腰臀百分比/%	体脂比/%	VO <sub>2</sub> max/ (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )
无运动习惯	15	66.10±4.90	25.70±1.50	0.86±0.07	31.50±2.60	39.70±2.40
有运动习惯	15	61.40±6.30 <sup>1)</sup>	23.80±1.30 <sup>2)</sup>	0.82±0.06	27.90±2.80 <sup>1)</sup>	42.90±3.20 <sup>1)</sup>
组别	n/人	c(TAG)/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	c(TC)/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	c(LDL-C)/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	c(HDL-C)/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	
无运动习惯	15	1.72±0.90	5.24±0.80	1.91±0.60	0.86±0.30	
有运动习惯	15	1.13±0.90	4.65±1.30 <sup>1)</sup>	1.16±0.26 <sup>2)</sup>	0.86±0.40	

1)与无运动习惯组比较,  $P < 0.05$ ; 2)与无运动习惯组比较,  $P > 0.05$

### 2.2 有无运动习惯对急性运动后的餐后血 TAG 影响

由于体成分和血脂的部分指标在有运动习惯组和无运动习惯组之间存在差异,因此采用协方差分析法进行有和无运动习惯对急性运动后的餐后血 TAG 组间比较。如表 5 所示,累积运动与持续运动相比,在

无运动习惯组“增量 TAG<sub>AUC</sub>”增高( $P < 0.05$ );在有运动习惯组,两种运动模式间的差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。在静息对照、持续运动和累积运动测试中,“TAG<sub>AUC</sub>”或“增量 TAG<sub>AUC</sub>”在无运动习惯组与有运动习惯组之间的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。

表 5 餐后 0~5 h 血 TAG 积分浓度( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/人	静息对照试验(TAG <sub>AUC</sub> )	持续运动测试(增量 TAG <sub>AUC</sub> )	累积运动测试(增量 TAG <sub>AUC</sub> )
无运动习惯	15	3.25±1.24	0.63±0.42	0.98±0.48 <sup>1)</sup>
有运动习惯	15	3.18±1.51	0.72±0.45	1.02±0.59

1)与持续运动测试比较,  $P < 0.05$

### 2.3 不同模式急性运动对餐后血 TAG 的影响

鉴于急性运动对餐后血 TAG 的影响在有和无运动习惯组之间的差异无统计学意义,将两组受试者的数据合并后再进行不同运动模式之间的比较。图 1 所示为静息对照和不同模式急性运动后再进食高脂餐,餐后 5 h 内血 TAG 浓度的动态变化。计算动态曲线下面积 TAG<sub>AUC</sub>,以持续运动和累积运动的 TAG<sub>AUC</sub> 分别减去安静对照的 TAG<sub>AUC</sub> 值得到“增量 TAG<sub>AUC</sub>”,进行两种运动状态下的比较,可发现累积运动降低餐后血 TAG 的效果( $0.81 \pm 0.23$ )强于持续运动( $0.52 \pm 0.24$ ),且组间差异具有统计学显著意义( $P < 0.05$ )。

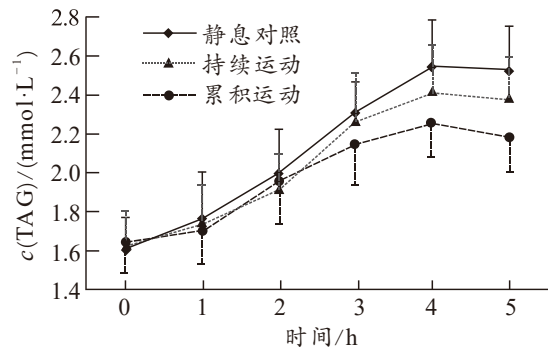


图 1 测试当日餐后血 TAG 浓度动态变化 ( $n=30$ )

如图2所示,次日晨空腹血TAG的浓度表现为:静息对照测试>持续运动测试>累积运动测试,且各测试间两两比较的差异均具有统计学显著意义( $P<0.05$ )。

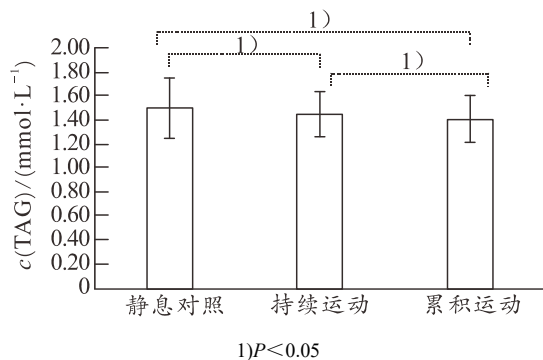


图2 次日晨血TAG浓度 (n=30)

餐后0~5 h血清总酮体的积分浓度(总酮体<sub>AUC</sub>)比较结果显示:累积运动( $0.29 \pm 0.14$ )mmol·L<sup>-1</sup>和持续运动( $0.25 \pm 0.10$ )mmol·L<sup>-1</sup>均高于静息对照( $0.19 \pm 0.11$ )mmol·L<sup>-1</sup>,且差异具有统计学显著意义( $P<0.05$ ),但两种运动模式间的差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

### 3 讨论

研究结果已证实,升高的非空腹血TAG是心血管疾病和全因死亡的危险因素之一<sup>[8]</sup>,较空腹血TAG更能独立地预测心脑血管病风险<sup>[1]</sup>,因此加强餐后血TAG的管理对于机体健康具有重要的意义。虽然充足的证据已经表明,急性运动可以降低餐后血TAG的浓度,但是两者之间的量效关系受多种因素影响,如运动模式、运动项目、运动强度、运动持续时间、运动频率,以及运动者的健康与机能状态等<sup>[2-3]</sup>。因此,本研究以有和无运动习惯的女大学生为研究对象,通过实施不同模式急性运动(持续或累积),验证急性运动可降低餐后血TAG水平,并发现累积运动作用效应强于等运动量的持续性运动。同时,与无运动习惯者相比,长期规律性运动未见额外增强急性运动降低餐后血TAG的效应。可以推测,本研究观察到的餐后血TAG降低效应在不同运动模式间的差异以及不受运动习惯有无的影响,可为有效干预餐后血脂提供运动方案参考,并对心血管疾病的风险防控产生积极影响。

在本研究中,有运动习惯的女大学生较无运动习惯者具有较高的VO<sub>2max</sub>和较低的体质量、BMI、体脂百分比、TC和LDL-C浓度,说明长期规律性的运动健身可提高有氧工作能力、降低体质量和体脂含量、改善血脂。这些发现是有和无运动习惯人群存在的普遍现象,但在探讨有和无运动习惯的人群在急性运动

降低餐后血TAG能力上是否存在差异时,上述指标在两类人群之间的差异会影响常规分析结果,因此本研究通过协方差分析考虑了初始指标在组间的差异。

一次性运动可降低餐后血TAG,长期运动是否会提高这种能力,这也是餐后血脂管理需要关注的问题。因此,本研究比较了急性运动诱导餐后血TAG下降在有和无运动习惯个体之间的差异。研究发现,在静息对照测试日,两组受试者在餐后血TAG浓度均明显增加且两组之间没有差异,说明进食可导致餐后血TAG浓度升高,且上升幅度(与餐前的差值)在有和无运动习惯者之间没有差异。提示,经常运动健身的个体并不能削弱餐后血TAG浓度的上升反应。当排除无和有运动习惯组在血TAG浓度基础值之间的差异,以及同一受试者在不同测试日的餐前血TAG浓度值差异后,对比无和有运动习惯组急性运动诱导的餐后血TAG浓度下降效应,发现两组间并没有差异(无和有运动习惯组持续运动分别为( $0.63 \pm 0.42$ )( $0.72 \pm 0.45$ )mmol/L,累积运动分别为( $0.98 \pm 0.48$ )( $1.02 \pm 0.59$ )mmol/L。这说明,急性运动诱导餐后血TAG浓度降低的效应程度不受有无运动习惯的影响。因此,经常运动健身者也不能忽视餐后血TAG的管理。上述发现也可从既往研究中得到佐证,有学者研究发现,体育活动对餐后血脂的影响是一种急性现象,在一次运动后60 h内就会消失。因此,建议经常运动健身者在食用高脂餐前也需进行一次急性运动。

本研究发现进餐后血TAG逐渐上升,在开始进餐后的4 h达到峰值,然后回落。与静息对照相比,等运动量的持续运动和累积运动均可降低餐后血TAG浓度( $P<0.05$ ),其中累积运动的效应强于持续运动( $P<0.05$ ),并且上述差异可持续到次日晨(运动后的14 h),仍然表现为血TAG浓度静息对照>持续运动>累积运动,该结果与Masashi<sup>[9]</sup>的研究存在差异。

虽然研究运动诱导餐后血TAG浓度降低的机制并不是本研究的主要目的,但从餐后血清总酮体的动态变化初步探讨了机制。研究发现,与急性运动后降低的餐后血TAG浓度,以及累积运动的该作用效果优于持续运动相对应,急性运动后的餐后0~5 h内,餐后血清总酮体浓度在累积运动测试日和持续运动测试日明显高于静息对照测试日,累积运动测试日尤为显著( $P<0.05$ )。目前,对于急性运动诱导餐后血TAG浓度降低的机制主要有两种认识<sup>[10]</sup>:一是肌肉中的脂蛋白脂酶(LPL)活性和或浓度增加,导致肌肉消耗利用的血TAG增多;二是肝脏的VLDL-TAG分泌率下降,导致血TAG的内源性生成减少。有研究发现,LPL的活性在运动后8 h才能达到峰值<sup>[11]</sup>。本研究监测的是运

动后 5 h 内的血清 TAG, 因此可推测在这段时间内, 肌肉消耗利用血 TAG 可能并不是餐后血 TAG 下降的主要原因。本研究中, 两种模式急性运动均可导致餐后血总酮体水平的增加, 说明运动后脂类物质在肝脏中主要是被氧化而不是被酯化, 因此可推测新合成的 VLDL-TAG 降低导致血 TAG 的内源性生成减少, 这可能是本研究中餐后血 TAG 下降的主要原因。但是, 本研究并未发现餐后血总酮体水平在持续运动和累积运动之间具有差异( $P>0.05$ ), 而餐后血 TAG 下降幅度在累积运动却高于持续运动( $P<0.05$ ), 提示餐后血 TAG 的肌源性清除增多和肝源性生成减少。在本研究中运动诱导的餐后血 TAG 下降中应该共同发挥了作用, 且两种作用在持续运动和累积运动中占据的比重可能不同, 其中累积运动可能会诱导更多的血 TAG 肌源性清除, 但本研究未能进行肌肉活检以检测 LPL 活性, 因此这一推论需要后续研究来证实。

本研究充分考虑上学或上班时间特征来制订运动方案, 使运动时间安排更符合日常生活和工作日程, 因此提高了研究成果的实践转化价值。同时, 对影响因素进行充分控制(如饮食、身体活动量、月经周期等), 使研究结果更加准确。本研究在探讨不同模式急性运动对餐后血 TAG 影响的同时, 也探讨了运动降低餐后血 TAG 的效应在有和无运动习惯者之间的差异, 明确血脂管理中的相关实践问题。但本研究也存在不足, 在机制分析方面只从血 TAG 来源方面做了初步探讨, 未能涉及血 TAG 的去路问题。对于餐后血脂的动态监测由于受睡眠的影响只涵盖了 5 h, 未能进行更长时间的动态监测, 而用次日晨的测试值弥补一定不足。

综上所述, 本研究对于餐后血脂管理具有重要的指导意义。要降低餐后血 TAG 过高给机体带来的危害需要在餐前进行运动, 尤其是针对高脂餐的情况, 这一建议对于有和无运动习惯者同样适用。在选择运动模式时, 推荐对餐后血 TAG 降低效果更佳的累积运动。同时, 累积运动模式更易于纳入日常生活和工作日程, 而且累积运动对于久坐、缺乏运动习惯、运动能力有限, 以及不能进行长时间持续运动的个体更为适宜。累积运动较等运动量的一次性持续运动会导致更显著的餐后血 TAG 降低效应。运动降低餐后血 TAG 的效应主要受急性运动的影响, 而与是否有运动习惯无关。

#### 参考文献:

[1] KEIRNS B H, SCIARRILLO C M, KOEMEL N A,

et al. Fasting, non-fasting and postprandial triglycerides for screening cardiometabolic risk[J]. *J Nutr Sci*, 2021, 10: e75.

[2] MARAKI M I, SIDOSSIS L S. The latest on the effect of prior exercise on postprandial lipaemia[J]. *Sports Med*, 2013, 43(6): 463-481.

[3] MIYASHITA M, BURNS S F, STENSEL D J. An update on accumulating exercise and post-prandial lipaemia: translating theory into practice[J]. *J Prev Med Public Health*, 2013, 46(S1): S3-11.

[4] HWANG C L, CHEN S H, CHOU C H, et al. The physiological benefits of sitting less and moving more: Opportunities for future research[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2021, 13: S0033-0620(21)00003-7.

[5] MURPHY M H, LAHART I, CARLIN A, et al. The effects of continuous compared to accumulated exercise on health: A meta-analytic review[J]. *Sports Med*, 2019, 49(10): 1585-1607.

[6] 范锦勤, 张丽美, 张亚松, 等. 累积运动对肥胖大鼠内脏脂肪组织巨噬细胞极化的影响[J]. *体育学刊*, 2018, 25(2): 135-144.

[7] GILL J M, MALKOVA D, HARDMAN A E. Reproducibility of an oral fat tolerance test is influenced by phase of menstrual cycle[J]. *Horm Metab Res*, 2005, 37(5): 336-341.

[8] NORDESTGAARD B G, BENN M, SCHNOHR P, et al. Nonfasting triglycerides and risk of myocardial infarction, ischemic heart disease, and death in men and women. *JAMA*, 2007, 298(3): 299-308.

[9] MASASHI M, BURNS S F, STENSEL D J. Exercise and postprandial lipemia: Effect of continuous compared with intermittent activity patterns[J]. *Am J Clin Nutr*, 2006, 83: 24-29.

[10] TEEMAN C S, KURTI S P, CULL B J, et al. Postprandial lipemic and inflammatory responses to high-fat meals: a review of the roles of acute and chronic exercise[J]. *Nutr Metab (Lond)*. 2016, 13:80.

[11] SEIP R L, SEMENKOVICH C F. Skeletal muscle lipoprotein lipase: molecular regulation and physiological effects in relation to exercise[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 1998, 26: 191-218.