

基于GC-MS技术探索参与单次抗阻运动的肥胖男大学生血浆脂质代谢物的变化特征

曾 洁

重庆医药高等专科学校基础部, 重庆

收稿日期: 2025年8月11日; 录用日期: 2025年9月12日; 发布日期: 2025年9月30日

摘 要

目的: 本研究基于代谢组学气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术, 研究肥胖男大学生在单次抗阻运动后血浆脂质代谢物的变化特征, 为抗阻运动的减脂作用提供实证依据, 并为科学安排减脂运动提供参考。方法: 对招募筛选出的13名非体育专业肥胖男大学生进行一次30 min的低强度、高频结合短间歇的抗阻运动, 分别于运动前、运动后即刻、运动后60 min和运动后24 h时静脉采血, 采集的血液经离心、去蛋白等处理后进行GC-MS代谢组学检测分析。采用MassHunter workstation Quantitative Analysis (v10.0.707.0)、SPSS 25.0等软件和KEGG数据库对数据进行处理与分析, 找出与脂质代谢相关的差异代谢物。结果: 通过单次抗阻运动后, 肥胖男大学生参与脂质代谢的差异代谢物有6个。运动后即刻与运动前相比, 棕榈酸和亚油酸显著减少($P < 0.05$)。运动后60 min与运动前相比, 羟基乙酸显著减少($P < 0.05$)。运动后24 h与运动前相比, 以及运动后60 min与运动后即刻相比, 所有参与脂质代谢的代谢物均无显著性差异($P > 0.05$)。运动后24 h与运动后即刻相比, 棕榈酸、亚油酸、甘油、山萘酸和胆固醇显著增加($P < 0.05$)。运动后24 h与运动后60 min相比, 棕榈酸、亚油酸、山萘酸和胆固醇显著增加($P < 0.05$)。结论: 肥胖男大学生干预前后不同时间点血浆脂质差异代谢物表现出的变化趋势表明, 单次30 min的低强度、高频结合短间歇的抗阻运动可以即刻加速肥胖人群的棕榈酸、亚油酸等脂质代谢物的减少, 从而有24 h的短时减脂效益。因此, 建议拟采用抗阻运动进行减脂的普通高校肥胖学生, 可以坚持长期采用低强度每日一次的抗阻方案以帮助减脂。

关键词

抗阻运动, 肥胖男大学生, 血浆脂质代谢底物, 减脂

Exploring the Change Characteristics of Plasma Lipid Metabolites in Obese Male College Students Participating in a Single Session of Resistance Exercise Based on GC-MS Technology

文章引用: 曾洁. 基于 GC-MS 技术探索参与单次抗阻运动的肥胖男大学生血浆脂质代谢物的变化特征[J]. 体育科学进展, 2025, 13(5): 595-604. DOI: 10.12677/aps.2025.135082

Jie Zeng

Department of Basic Sciences, Chongqing Medical and Pharmaceutical College, Chongqing

Received: August 11, 2025; accepted: September 12, 2025; published: September 30, 2025

Abstract

Objective: Based on the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technique in metabonomics, the purpose of this study was to explore the changes in plasma lipid metabolites in obese male college students after one bout of resistance exercise. To provide empirical basis for fat-reducing, and provide reference for scientific arrangement of fat-reducing exercise. **Methods:** Thirteen obese male students who are not majoring in physical education were subjected to a 30-minute low-intensity, high-frequency combined with short-intermittent resistance exercise. Blood was taken from elbow vein before exercise, immediately after exercise, 60 minutes after exercise and 24 hours after exercise. After centrifugation and deproteinization, the collected blood was analyzed by GC-MS metabonomics. The data were processed and analyzed by MassHunter workstation Quantitative Analysis (v10.0.707.0), SPSS software, and KEGG databases. The differential metabolites which mainly contributed to lipid metabolism were found. **Results:** There were 6 metabolic markers for obese male college students to participate in lipid metabolism after one bout of resistance exercise. Compared with before exercise, palmitic acid and linoleic acid decreased significantly immediately after exercise ($P < 0.05$). Glycolic acid decreased significantly 60 minutes after exercise ($P < 0.05$). All metabolites involved in lipid metabolism had no significant difference 24h after exercise ($P > 0.05$). Compared with immediately after exercise, all metabolites involved in lipid metabolism had no significant difference 60 minutes after exercise ($P > 0.05$). Palmitic acid, linoleic acid, glycerol, behenic acid and cholesterol increased significantly 24 hours after exercise ($P < 0.05$). Compared with 60 minutes after exercise, palmitic acid, linoleic acid, behenic acid and cholesterol increased significantly 24 hours after exercise ($P < 0.05$). **Conclusions:** The changes of plasma lipid metabolites of obese male college students at different time points before and after exercise indicate that one bout of 30-minutes, low-intensity and high-repetition combined with short-term resistance exercise can accelerate the lipid metabolism in obese people, and achieve excess oxygen after exercise consumption increases, thereby reducing body fat accumulation, achieving the short-term fat loss benefit of maintaining 24 hours. Therefore, it is recommended that college obese students who plan to use resistance exercises to reduce fat can stick to a low-intensity once a day or medium to high intensity once every other day to achieve long-term fat reduction effects.

Keywords

Resistance Exercise, Obese Male College Students, Plasma Lipid Metabolism, Fat Reduction

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

目前肥胖已成为 21 世纪全球最大的公共卫生问题,并将肥胖列为代谢性疾病之一,同时肥胖会引发一系列身体、心理健康和社会问题,如脂肪堆积,体重增加,易出现胆固醇和脂肪酸过高现象,血脂、血压也过高,免疫力低,抵抗力较差,引起高血压、脂肪肝、糖尿病、冠心病等疾病。在我国,肥胖的增

长趋势也日益明显,据《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》结果显示,城乡各年龄组居民超重肥胖率继续上升,18 岁及以上居民超重率和肥胖率分别为 34.3%和 16.4%。成年男性平均 BMI 为 24.1 kg/m²,高于成年女性平均 BMI 23.6 kg/m²。其中大学生群体的体质问题突出,伴随着速度、耐力、柔韧、力量等身体素质的逐年下降,以及肥胖率的上升。以体脂率(BF%)作为评判标准,对我国大学生抽样调查显示,男大学生 BF% > 20%的发生率为 5.64%,女大学生 BF% > 30%的发生率为 3.17% [1]。

减脂是指合理降低体重,减少脂肪,降低体脂率,增加去脂体重,使身体成分趋于合理化,从而塑造良好的身体形态,使身体达到健康的状态,因此减脂是更加健康的一种减肥方式[2]。抗阻运动(resistance exercise, RE)是一种身体活动的形式,通过对抗外部重量或自身体重进行动态或者静态收缩的主动运动[3],长期以来被作为增长肌肉力量、体积、耐力和维持去脂体重的有效办法[4][5]。研究表示 RE 可使肌肉量增加从而提高基础代谢率、促进能量消耗和减少身体脂肪堆积,可以达到一定的减脂效果[6][7]。因此,为弥补有氧运动对肌肉的消耗,需要通过 RE 这种发展肌肉力量和肌肉耐力最为有效的方法对肥胖人群进行减脂。

血液代谢组学是对血液在给定时间和条件下所有小分子代谢物质的定性定量分析,从而定量描述生物内源性代谢物质的整体及其对内因和外因变化应答规律的科学。血液代谢组学在运动医学上的运用主要表现在监控体育运动员生理状态、肌肉代谢情况、身体活动行为以及营养摄入控制等,将该方法与体育锻炼的专业用途相结合,为日常运动训练、体育赛事等实际应用提供理论基础,可以更好地了解人体中运动和营养干预导致身体生理状态的改变,同时还能预防不同代谢性疾病以及康复,为人体健康提供了一个强大的分析平台[8]。其中气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术因其具有高分离能力、高分辨率、高灵敏度以及高通量,相对较为经济等优点,成为血液代谢组学分析平台中最为常见的技术手段之一[9]。

鉴于此,本研究基于代谢组学 GC-MS 技术,结合多元分析方法,将 RE 作为干预方式,探索单次 RE 前后肥胖男大学生血浆中与脂质代谢相关的代谢物变化情况,以探究 RE 在改变肥胖人群血浆中脂质代谢的特征和作用,从血液代谢组学的生理生化指标角度为 RE 能够减脂提供实证依据,并为科学安排减脂运动提供参考。

2. 材料与方法

2.1. 研究对象

以单次 RE 对肥胖男大学生血液代谢底物的变化特征作为研究对象。将“男性体脂率(BF%) > 20%”作为我国常用的肥胖判定临界点[10],通过 G-Power 计算得出本实验所需最低样本量为 10 人,最终招募并筛选出非体育专业的肥胖男大学生共 13 名,基本情况为:年龄 21.08 ± 2.10 岁、身高 172.62 ± 4.31 cm、体重 72.87 ± 10.53 kg, BF%均>20%,且属于单纯性肥胖。身体无活动障碍,无其它代谢性疾病和高血压等心血管疾病,未服用有明显影响代谢作用的营养品或药物,近三个月内无规律性运动和系统 RE 经历[11]。

2.2. 研究方法

2.2.1. 实验指标及仪器

采用 Inbody 身体成分测试仪(型号: ef-265B)测量受试者 BF%。最大力量评估及 RE 干预中所使用的哑铃、杠铃等均为美国进口 Life Fitness 力健设备。采集的血液经过 Eppendorf 高速台式冷冻离心机离心后取血浆作为样本。血液代谢组学采用 GC-MS 技术,通过 Agilent 公司的 8890B-5977B 气相色谱质谱联用仪(Agilent, USA)对采集的血浆样本进行处理。

2.2.2. 实验设计与运动方案

由于代谢组学研究对血样的要求较高,为避免饮食对实验数据的影响,本研究采用空腹运动、空腹采血的方式。实验前一周采用卧推、深蹲对上下肢进行最大力量(1 RM)评估,以便找到正式实验时的运动强度。实验前一天,对受试者统一提供餐食并控制运动量。实验当天于清晨 8 时空腹进行第一次肘静脉采血,标记为 E1;采血后立即进行 30 min RE,在运动后的即刻(运动结束 1 min 内)、60 min 和 24 h 分别采血,均为空腹,并标记为 E2、E3、E4。运动方案为单次 30 min 的低强度(15 RM)、高频(15 次或 30 s)短间歇(30 s)的 RE [12],包括哑铃弓箭步下蹲、负重深蹲、站位负重提踵、哑铃肱二头肌弯举、哑铃侧平举、哑铃过顶臂屈伸、卷腹、背肌起落、平板支撑等 8 个动作,覆盖上下肢及核心各肌群(如图 1 所示)。



Figure 1. Specific movements of the exercise program

图 1. 运动方案具体动作

2.2.3. 血液样本的采集与处理

每次采集肘静脉血 5 mL, 分别置于含抗凝剂的 BD EDTA 血常规管内, 在 4℃ 经 3000 r/min 离心 10 min 后, 取上层血浆 1 mL 置于冻存管内作为代谢组学样本, 储存于 -80℃ 冰箱保存待处理。样本处理时, 取 100 μ L 样本加入 300 μ L 的蛋白沉淀剂甲醇 - 乙腈(2:1, v/v, 含 5% 的内标 L-2-氯 - 苯丙氨酸), 涡旋震荡 30 s。冰水浴中超声提取 30 min, -20℃ 下静置 30 min。13,000 rcf 离心 15 min (4℃), 取 300 μ L 上清液入衍生化小瓶中挥干。向玻璃衍生小瓶中加入 80 μ L 的甲氧胺盐酸吡啶溶液(15 mg/mL), 涡旋震荡 2 min 后, 于震荡培养箱中 37℃ 肟化反应 90 min。取出后再加入 80 μ L 的 BSTFA (含 1% TMCS) 衍生试剂, 涡旋震荡 2 min 后于 70℃ 反应 60 min。取出样本, 室温放置 30 min, 进行 GC-MS 代谢组学分析。

2.2.4. 数理统计

GC-MS 的原始数据经 MassHunter workstation Quantitative Analysis (v10.0.707.0) 软件, 进行去冗余和峰合并等操作, 得到归一化后的数据矩阵。采用无监督主成分分析(PCA)观察样本之间的总体分布以及各组之间的离散度, 然后采用有监督正交偏最小二乘分析(OPLS-DA)来更好地区分组间代谢谱的总体差

异。采用单因素重复测量方差分析找出组间差异代谢物，满足 $P < 0.05$ 。然后利用 KEGG 数据库 (<http://www.genome.jp/kegg/>)筛选出与脂质代谢相关的差异代谢物，并获取代谢途径。

3. 结果

3.1. 数据质控

对原始样本检测出的代谢物进行数据归一化、标准化的预处理后，得到 108 个代谢物。本研究 PCA 得分图(图 2)结果显示 QC 聚合度高，说明 QC 重复性良好，分析系统稳定。同时得出运动后即刻(E2)的样本点与运动前(E1)的样本点距离最远，则两组差异最大，运动后 60 min (E3)和运动后 24 h (E4)的样本点逐渐靠近运动前(E1)，说明样本间差异越来越小。

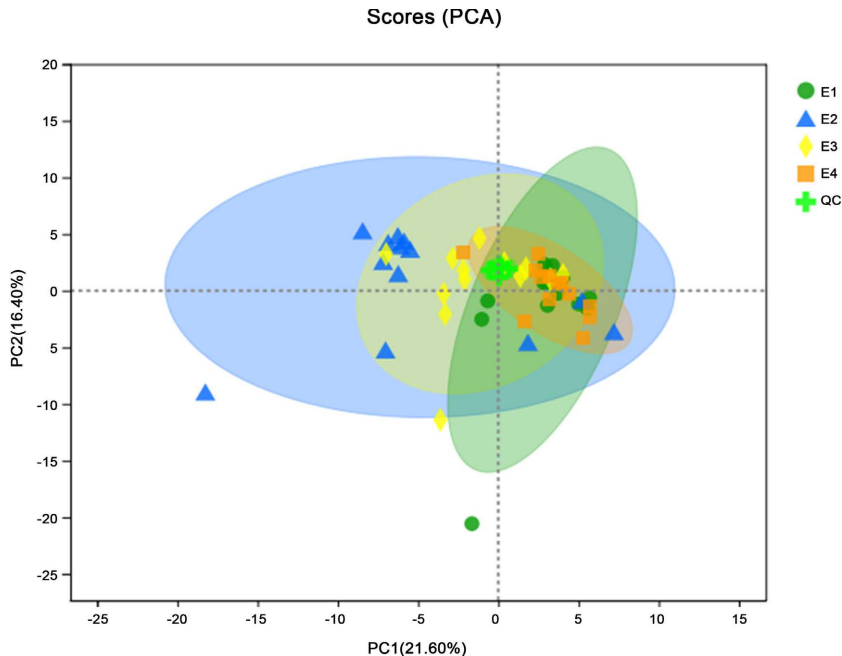


Figure 2. The PCA score plot
图 2. PCA 得分图

OPLS-DA 置换检验中当所有 R^2 值均在横坐标原始点 1 左侧，表明所建的模型的解释能力具有较高的可靠性；当所有 Q^2 值均在横坐标原始点 1 左侧，且 Q^2 值的回归线与纵轴相交数值小于 0，表明所建的模型的预测能力具有较高的可靠性。由图 3 可看出受试者在 RE 前后各时间点所建的模型的解释能力和预测能力均具有较高的可靠性。

3.2. 参与脂质代谢的差异代谢物变化情况

如表 1 和图 4 所示，参与脂质代谢的差异代谢物有 6 个。

运动后即刻(E2)相比运动前(E1)，棕榈酸和亚油酸显著减少；运动后 60 min (E3)相比运动前(E1)，羟基乙酸显著减少；运动后 24 h (E4)相比运动前(E1)，所有参与脂质代谢的代谢物均无显著性差异。

运动后 60 min (E3)相比运动后即刻(E2)，所有参与脂质代谢的代谢物均无显著性差异；运动后 24 h (E4)相比运动后即刻(E2)，棕榈酸、亚油酸、甘油、山萘酸和胆固醇显著增加；运动后 24 h (E4)相比运动后 60 min (E3)，棕榈酸、亚油酸、山萘酸和胆固醇显著增加。

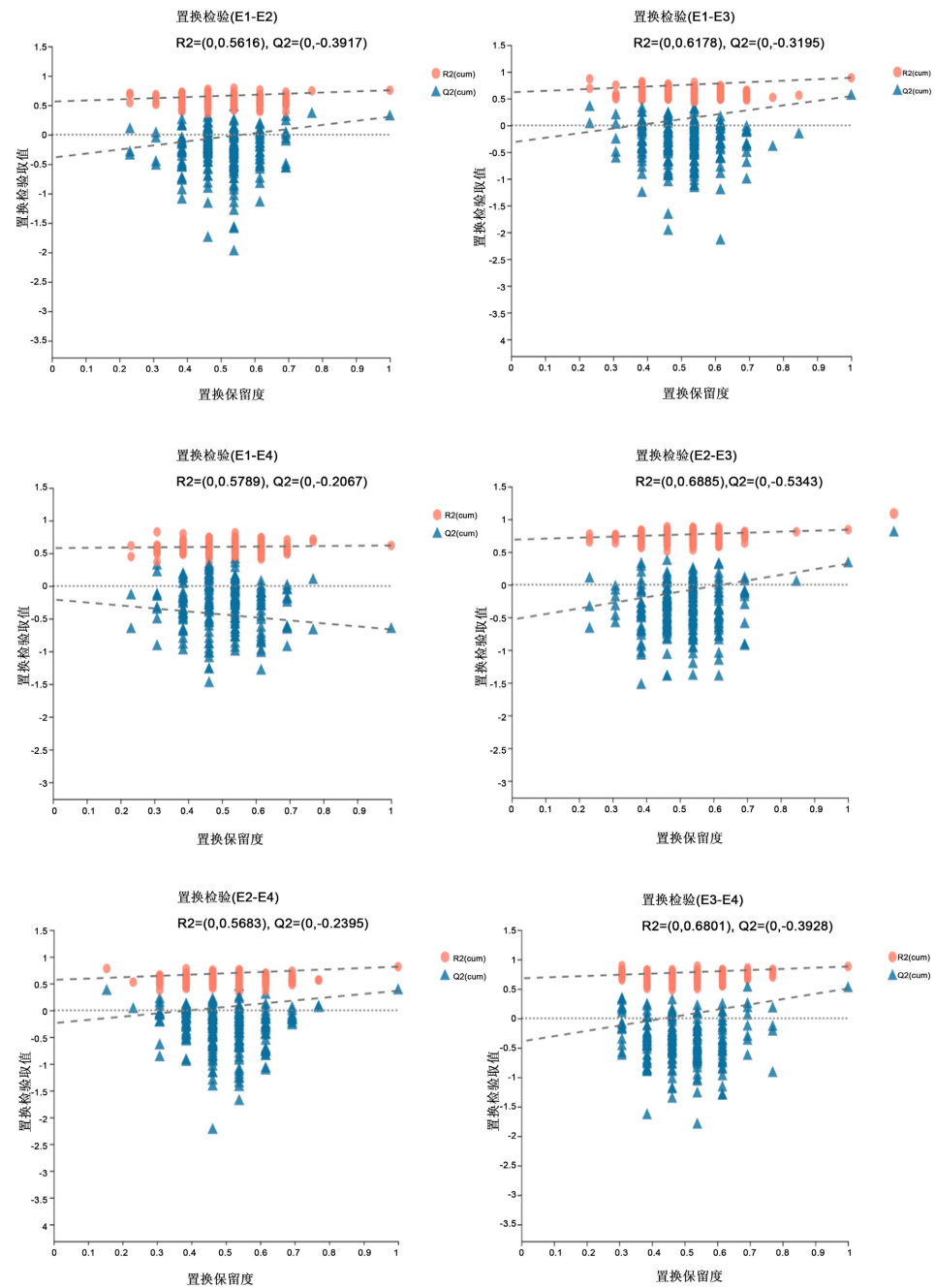


Figure 3. OPLS-DA permutation test between the groups
图 3. 各组间 OPLS-DA 置换检验

Table 1. Changes of differential metabolites involved in lipid metabolism
表 1. 参与脂质代谢的差异代谢物变化情况

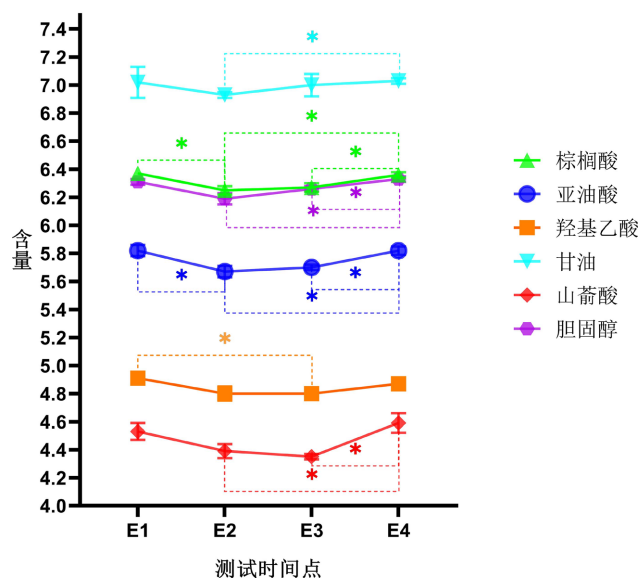
代谢物名称	E1 (X ± SD)	E2 (X ± SD)	E3 (X ± SD)	E4 (X ± SD)	F 值	P 值	变化
棕榈酸	6.37 ± 0.03	6.25 ± 0.03				0.037*	↓*
	6.37 ± 0.03		6.27 ± 0.03		6.056	0.174	↓
	6.37 ± 0.03			6.36 ± 0.02		1.000	↓

续表

		6.25 ± 0.03	6.27 ± 0.03		1.000	↑
		6.25 ± 0.03		6.36 ± 0.02	0.035*	↑*
			6.27 ± 0.03	6.36 ± 0.02	0.031*	↑*
	5.82 ± 0.04	5.67 ± 0.04			0.032*	↓*
	5.82 ± 0.04		5.70 ± 0.02		0.100	↓
亚油酸	5.82 ± 0.04			5.82 ± 0.03	1.000	↓
		5.67 ± 0.04	5.70 ± 0.02		1.000	↑
		5.67 ± 0.04		5.82 ± 0.03	0.005*	↑*
			5.70 ± 0.02	5.82 ± 0.03	0.007*	↑*
	4.91 ± 0.03	4.80 ± 0.05			0.202	↓
	4.91 ± 0.03		4.80 ± 0.03		0.049*	↓*
羟基乙酸	4.91 ± 0.03			4.87 ± 0.02	1.000	↓
		4.80 ± 0.05	4.80 ± 0.03		1.000	↓
		4.80 ± 0.05		4.87 ± 0.02	1.000	↑
			4.80 ± 0.03	4.87 ± 0.02	0.562	↑
	7.02 ± 0.11	6.93 ± 0.02			0.139	↓
	7.02 ± 0.11		7.00 ± 0.08		1.000	↓
甘油	7.02 ± 0.11			7.03 ± 0.02	1.000	↑
		6.93 ± 0.02	7.00 ± 0.08		0.211	↑
		6.93 ± 0.02		7.03 ± 0.02	0.001*	↑*
			7.00 ± 0.08	7.03 ± 0.02	1.000	↑
	4.53 ± 0.06	4.39 ± 0.05			0.093	↓
	4.53 ± 0.06		4.35 ± 0.02		0.058	↓
山萘酸	4.53 ± 0.06			4.59 ± 0.07	1.000	↑
		4.39 ± 0.05	4.35 ± 0.02		1.000	↓
		4.39 ± 0.05		4.59 ± 0.07	0.043*	↑*
			4.35 ± 0.02	4.59 ± 0.07	0.034*	↑*
	6.31 ± 0.02	6.19 ± 0.04			0.053	↓
	6.31 ± 0.02		6.26 ± 0.02		0.122	↓
胆固醇	6.31 ± 0.02			6.33 ± 0.02	1.000	↑
		6.19 ± 0.04	6.26 ± 0.02		0.769	↑
		6.19 ± 0.04		6.33 ± 0.02	0.017*	↑*
			6.26 ± 0.02	6.33 ± 0.02	0.027*	↑*

注: E1: 运动前; E2: 运动后即刻; E3: 运动后 60 min; E4: 运动后 24 h; *: 有显著性差异。

参与脂质代谢的差异代谢物变化趋势



注: E1: 运动前; E2: 运动后即刻; E3: 运动后 60 min; E4: 运动后 24 h。

Figure 4. Variation trends of differential metabolites involved in lipid metabolism

图 4. 参与脂质代谢的差异代谢物变化趋势

4. 讨论

本研究从血液代谢的角度出发,采用 GC-MS 代谢组学方法研究单次 RE 对肥胖男大学生血浆中脂质代谢的影响。通过血浆代谢图谱的建立和内源性代谢物的鉴定,本研究在运动前与运动后不同时刻共发现 6 种与脂质代谢相关的差异代谢物。通过对这些差异代谢物变化状况的分析可发现肥胖人群在 RE 干预下的代谢特征,从而为该类人群科学安排减脂运动方案提供依据参考。

脂质中包括由 1 分子甘油和 3 分子脂肪酸形成的脂肪,还有胆固醇、磷脂以及其他脂类。当脂肪被动员后,会在脂肪酶催化下分解为甘油和脂肪酸,再各自氧化生成二氧化碳、水和大量 ATP,从而实现脂肪的氧化分解代谢。

甘油是脂肪动员分解后的第一产物,磷酸化和脱氢后,甘油转化为磷酸丙糖,随即进入糖的无氧酵解代谢被进一步降解为丙酮酸,丙酮酸进入三羧酸(TCA)循环进一步氧化,最后 1 分子甘油被完全分解生成 22 分子 ATP [13]。在运动过程中,由脂肪分解产生的甘油基本上会释放到血液中,并立即通过血液循环传输到肝脏和其他组织进行新陈代谢。在氧气充足的情况下,甘油在 TCA 循环中被完全氧化,而在氧气供应不足的情况下生成乳酸[14]。本研究结果发现 RE 后即刻和 60 min,血浆中的甘油含量无显著变化。这可能是由于运动产生的甘油并未过多停留于血液中便被运输至肝等组织进行了氧化分解代谢;另一种可能性是运动后期甘油通过糖异生转化为葡萄糖,这占甘油总代谢的四分之三甚至以上,并且 2 分子甘油可以转化为 1 分子葡萄糖[15]。综合以上两种原因可能导致了脂肪分解的甘油不但没有增加,反而在运动后即刻有减少但并不显著。但也有可能本研究的运动方案采用的为低强度,使运动时更多以糖的氧化分解供能,而动用脂肪供能的比例较小,从而使运动后即刻脂肪分解产生的甘油相比运动前无显著性变化。然而甘油在运动后逐渐增加,并在运动后 24 h 显著多于运动后即刻。这可能是由于甘油的合成速率跟氧环境有较大关系,在运动停止后即刻到 24 h 之间,实验对象处于静息氧充足的状态,使甘油的合成速率逐渐增加。同时本结果也验证了抗阻运动可以在运动后 24 h 的恢复期中仍能使机体的脂肪持续性地分解生成甘油,加速了机体的脂肪分解。

脂肪酸也是脂肪动员分解后的第一产物,脂肪分解代谢释放的 ATP 主要来源于脂肪酸的分解代谢。运动时脂肪酸通过血液中运输进入骨骼肌细胞后活化成脂酰辅酶 A (脂酰 CoA),再进入线粒体进行 β -氧化作用生成乙酰 CoA,最后进入 TCA 循环被彻底氧化生成二氧化碳和水,并释放大量的 ATP。脂肪酸氧化分解释放的 ATP 较多,1 分子硬脂酸可净合成 146 分子 ATP,1 分子软脂酸可合成 129 分子 ATP [13]。在本研究结果中,棕榈酸、亚油酸和山萘酸均属于脂肪酸。其中棕榈酸为软脂酸,主要靠机体自身的 1 个分子的乙酰 CoA 和 7 个分子的丙二酰 CoA 经过 7 次重复的转移,缩合,氢化,脱水和再氢化反应后合成;也可通过棕榈油、牛油、乳酪、肉类等食物摄取。亚油酸为硬脂酸,在人体内不能自行合成,必须从红花籽油、核桃油、芝麻油等植物油中摄取,是人体的必需脂肪酸。过高的脂肪酸会影响胰岛素分泌,干扰胰岛素信号系统的传导,导致人体的脂毒性,这些不良因素都易引发脂代谢紊乱、肥胖、胰岛素抵抗、2 型糖尿病和高血压等代谢性疾病[16]。本研究结果显示运动后即刻,血液中的棕榈酸和亚油酸相比运动前显著减少,这可能和上述甘油变化趋势的原因相似。运动时,脂肪酸持续地从脂肪组织中分解释放入血,开始会使血浆脂肪酸浓度逐渐升高,与此同时骨骼肌细胞和线粒体摄取和利用脂肪酸的量也相应增多[17],加上本研究采用的是 RE,对肌肉的动用较大,骨骼肌消耗并使用了更多的脂肪酸,并且血浆脂肪酸的浓度随着肌肉使用率的增加而降低,使运动后即刻在血浆中的棕榈酸和亚油酸含量显著减少。研究发现运动后 24 h,血液中的棕榈酸、亚油酸和山萘酸等脂肪酸均显著增加,显著多于运动后即刻和 60 min,也可能是 RE 的原因使恢复期仍能加速机体的脂肪分解生成脂肪酸。

胆固醇是人体必需的脂类物质,但过量会导致血管堵塞、心脑血管疾病等健康风险,尤其是其中的低密度脂蛋白(“坏胆固醇”)是动脉粥样硬化、冠心病、脑卒中等疾病的主要诱因,需通过饮食、运动及药物等方式控制[18]。已有研究证明长期进行 RE 可以减少久坐健康型糖尿病患者的胆固醇[19]。本研究结果显示,肥胖男大学生在 RE 后即刻,血浆中的胆固醇出现减少的变化趋势,但与运动前相比减少不显著。这是因为在运动之初,血液中的胆固醇水平开始会因肌肉的启动和肌肉中脂肪酶活性的增强而急剧上升,随后增加的胆固醇又被氧化以提供能量供肌肉运动使用,消耗体内的热量的同时血液中胆固醇含量也随之减少。另外,由于全身血液循环因运动而加快,从而加速了新陈代谢,增加了脂肪的利用率,从而减少了胆固醇在血管中的积聚[20]。然而在运动后 24 h,血液中胆固醇含量回升,显著多于运动后即刻和 60 min,这可能是由于 RE 使机体仍能分解脂肪得到脂肪酸,脂肪酸在 β -氧化作用生成乙酰 CoA 后,与 ATP 和辅酶 II 合成了胆固醇。

综合上述结果分析,建议肥胖人群进行长期的抗阻运动,加速脂肪分解,并进一步氧化代谢脂肪并释放 ATP,从而促进能量消耗和,减少身体脂肪堆积,改善肥胖和预防其他代谢性疾病。

5. 结论

肥胖男大学生在单次 30 min 低强度、高频短间歇的 RE 后即刻和 60 min 时的血浆中脂质代谢物基本表现为减少的趋势,表明单次 RE 后 60 min 内能帮助肥胖人群代谢脂质,从而减少身体脂肪堆积,达到短时减脂的效果。但在运动后 24 h 代谢物均恢复至运动前静息水平,说明仅一次 30 min 低强度、高频短间歇的 RE 尚不能达到长期的促进脂质代谢效益。因此仍需进一步研究,探索是否可通过加大运动强度或增加运动频率,使 RE 能保持长期促进脂质代谢的减脂方案。本研究建议,肥胖人群在安排运动计划时可加入 RE,以帮助脂质的代谢,可达到短期减脂目的。

参考文献

- [1] 陈玉娟,成亮,胡雯雯,等.大学生隐性肥胖现状及其影响因素分析[J].石家庄学院学报,2019,21(3):83-87+128.
- [2] 梁成军.减肥方法及其效果研究综述[J].中国体育科技,2008,44(2):91-94.

- [3] 周瑞霞. 抗阻运动对机体代谢的影响[J]. 山东体育科技, 2011, 33(4): 21-24.
- [4] Feigenbaum, M.S. and Pollock, M.L. (1999) Prescription of Resistance Training for Health and Disease. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **31**, 38-45. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00008>
- [5] Vezina, J. (2011) Energy Expenditure of Resistance Training Activities in Young Men. Arizona State University.
- [6] Häkkinen, K., Kraemer, W.J., Newton, R.U. and Alen, M. (2010) Changes in Electromyographic Activity, Muscle Fibre and Force Production Characteristics during Heavy Resistance/power Strength Training in Middle-Aged and Older Men and Women. *Acta Physiologica Scandinavica*, **171**, 51-62. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201x.2001.00781.x>
- [7] Scaglioni, G., Ferri, A., Minetti, A.E., Martin, A., Van Hoecke, J., Capodaglio, P., *et al.* (2002) Plantar Flexor Activation Capacity and H Reflex in Older Adults: Adaptations to Strength Training. *Journal of Applied Physiology*, **92**, 2292-2302. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00367.2001>
- [8] 李佳. 急性大强度运动前后人体血液代谢组学特征的研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2017.
- [9] Krieger, J.W. (2010) Single Vs. Multiple Sets of Resistance Exercise for Muscle Hypertrophy: A Meta-Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **24**, 1150-1159. <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181d4d436>
- [10] 王瑞元. 运动生理学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2002: 151.
- [11] 李冲. 大学生抗阻运动能量消耗研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2017.
- [12] Brad, S. (2013) The Max Muscle Plan. Human Kinetics.
- [13] 吴菊花, 鞠丽丽. 脂肪分解代谢与运动训练[J]. 中国体育教练员, 2015, 23(3): 19-20.
- [14] 熊正英, 周文清, 王新军. 甘油与运动能力关系的研究进展[J]. 四川体育科学, 2008(4): 22-24.
- [15] 查锡良. 生物化学[M]. 第7版. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [16] 庞蕊. 健身干预对超重及肥胖成年人血清鸢尾素、脂联素及游离脂肪酸的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉体育学院, 2018.
- [17] 陈兵. 脂肪酸与耐力运动[J]. 世界最新医学信息文摘, 2004(6): 1400-1402.
- [18] 郑海农, 林益芳. “坏胆固醇”能有效降低心脑血管病的发病风险——“正确认识胆固醇”的科学声明在北京发布[J]. 心脑血管病防治, 2016, 16(6): 482.
- [19] Bittel, A.J., Bittel, D.C., Mittendorfer, B., Patterson, B.W., Okunade, A.L., Yoshino, J., *et al.* (2019) A Single Bout of Resistance Exercise Improves Postprandial Lipid Metabolism in Overweight/obese Men with Prediabetes. *Diabetologia*, **63**, 611-623. <https://doi.org/10.1007/s00125-019-05070-x>
- [20] 张旭, 赵英永, 等. 基于代谢组学研究有氧运动对高脂血症的治疗作用及其生物化学作用机制[J]. 北京体育大学学报, 2015, 38(12): 78-82.