·基础科研论著·

奶茶摄入诱导幼龄小鼠糖脂代谢紊乱的研究

李帆[1]，杨可欣[2]，张旭童[2]，陈凌波[2]，刘春豪[2]，徐鹏程[2]，胡浩[1]，孙晓明[1]

西安交通大学 1. 基础医学院基础医学实验教学中心，陕西 西安 710061；2. 宗濂书院 2019 级侯宗濂实验班

摘 要：目的 探究奶茶摄入对幼龄小鼠糖脂代谢的影响，为幼龄个体代谢紊乱的防治研究提供参考。**方法** 20 只雄性 ICR 小鼠随机分为对照组与奶茶组，每组各 10 只。对照组小鼠正常饮水，奶茶组小鼠每天自由摄取奶茶和水各 12h。2 周后检测小鼠血糖、血脂变化，并检测不同组织中过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子 1-α(PGC-1α)的蛋白水平。**结果** 与对照组相比，奶茶组小鼠体重在第 2 周出现了明显上升($t=2.402$，$P<0.05$)，空腹血糖水平增高但差异无统计学意义($P>0.05$)，糖耐量明显受损($P<0.05$)；总胆固醇(T-CHO)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)显著升高($t=3.253$、5.490，$P<0.05$)；相关性分析显示体重与血糖之间呈显著正相关($R^2=0.71$，$P<0.05$)；奶茶组与对照组相比，肝脏、骨骼肌和白色脂肪组织中 PGC-1α 的表达均被明显抑制($P<0.05$)。**结论** 奶茶摄入可诱导幼鼠糖脂代谢紊乱，可能与肝脏、骨骼肌和白色脂肪组织中 PGC-1α 的表达抑制有关。

关键词： 奶茶；葡萄糖代谢；脂质代谢；过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活因子 1-α

中图分类号：R151 **文献标识码：**A **文章编号：**1008-6579(2024)09-0974-06 doi:10.11852/zgetbjzz2023-0941

Effect of milk tea consumption on glucose and lipid metabolism in young mice

LI Fan[1], YANG Kexin[2], ZHANG Xutong[2], CHEN Lingbo[2], LIU Chunhao[2], XU Pengcheng[2], HU Hao[1], SUN Xiaoming[1]

1. Basic Medical Experiment Teaching Center, School of Basic Medical Sciences, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 2. Grade 2019 Houzonglian Medical Class, Xi'an Jiaotong University

Corresponding author: SUN Xiaoming, E-mail: sunxiaoming@xjtu.edu.cn

Abstract: Objective To investigate the effect of milk tea consumption on glucose and lipid metabolism in young mice, so as to provide reference for the prevention and treatment of metabolic disorders in young individuals. **Methods** Twenty male ICR mice were randomly divided into the control group and milk tea group, with 10 mice in each group. Mice in the control group drank water normally, while mice in the milk tea group were given both water and milk tea for 12 hours each day. After 2 weeks, the blood glucose and lipids of mice were detected. The protein levels of peroxisome proliferator-activated receptor-γ coactivator-1α (PGC-1α) in different tissues were detected. **Results** Compared with the control group, the body weight of mice in the milk tea group increased significantly at the end of the second week ($t=2.402$, $P<0.05$), the fasting blood glucose level increased but there was no significant difference ($P>0.05$), the glucose tolerance was significantly impaired ($P<0.05$), and total cholesterol (T-CHO) and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) levels significantly increased ($t=3.253$, 5.490, $P<0.05$). Correlation analysis showed that there was a significant positive correlation between body weight and blood glucose ($R^2=0.71$, $P<0.05$). The expression levels of PGC-1α in liver, skeletal muscle and white adipose tissues of milk tea group were obviously inhibited ($P<0.05$). **Conclusion** The consumption of milk tea can induce glucose and lipid metabolism dysfunction in young mice, which may be related to the inhibition of PGC-1α expression in liver, skeletal muscle and white adipose tissues.

Keywords: milk tea; glucose metabolism; lipid metabolism; PGC-1α

糖脂代谢紊乱是肥胖人群，特别是合并糖尿病、高脂血症等代谢相关疾病人群的重要病理特征[1-3]。过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 共激活剂 1-α(peroxisome proliferator-activated receptor-γ coactivator-1α，PGC-1α)是类固醇受体和核受体的转录共激活剂，通过协调参与葡萄糖和脂肪酸代谢的多种基因表达发挥重要作用。PGC-1α 的表达水平受到能量供应的控制，在高脂饮食或肥胖环境下表达水平下降。PGC-1α 表达被抑制是代谢疾病发生的重要原因之一，因此被认为是治疗Ⅱ型糖尿病、肥胖、心肌病或其他代谢紊乱疾病的潜在治疗靶点[4-6]。

奶茶作为一种含糖饮品，深受大众人群的喜爱，

作者简介：李帆(1993-)，硕士学位，主要研究方向为心血管及代谢相关疾病。

通信作者：孙晓明，E-mail：sunxiaoming@xjtu.edu.cn

特别青少年群体中，已经成为奶茶消费的主要人群[7-8]。奶茶的主要成分为糖（蔗糖、果糖）、脂肪和少量的蛋白质[9]。目前，市面出售的奶茶种类繁多，成分复杂，奶茶摄入对健康的影响已经成为人们关注的焦点，特别是奶茶对幼龄个体的影响，研究甚少。奶茶摄入是否会抑制幼龄个体不同器官组织中 PGC-1α 的表达，进而诱导糖脂代谢紊乱，这一点仍不清楚。因此，本研究通过给予幼龄小鼠奶茶干预，探究奶茶摄入对幼龄小鼠糖脂代谢及相关分子表达的影响，具有重要的现实意义。

1　材料和方法

1.1　*实验动物*　20 只 3～4 周龄雄性 ICR 小鼠购于西安交通大学医学部实验动物中心，实验已获得西安交通大学医学部生物医学伦理委员会审批（No. XJTUAE2023-2118）。实验动物随机分为对照组和奶茶组，每组各 10 只。

1.2　*方法*

1.2.1　奶茶干预　奶茶每日购于西安市某品牌奶茶店。奶茶主要成分为糖、脂肪、蛋白质，糖含糖量为 3g/100mL，总能量为 90kCal/100mL，奶茶摄取时间为 12h（早 8:00 至晚 8:00），期间小鼠自由摄取，12h 后更换普通自来水，至次日上午 8 点。每天统计小鼠奶茶摄入量，持续 14d。

1.2.2　血糖检测　空腹血糖检测：小鼠禁食 12h（晚 8:00 至次日早 8:00），剪去小鼠尾尖 1～2mm，挤出第一滴血液弃去，再挤出 1～3μL 血液，通过试纸条测定血糖水平。糖耐量实验：小鼠禁食 12h（晚 8:00 至次日早 8:00），剪去小鼠尾尖 1～2mm，挤出第一滴血液弃去，再挤出 1～3μL 血液，测定基础血糖值后，腹腔注射 2.5%的葡萄糖溶液（2.5g/kg），分别于腹腔注射葡萄糖溶液后 15、30、60 和 120min 测定不同时间点血糖水平。实验中血糖检测试剂盒批号为 23A16111、23A17161、23A18108，血糖仪型号为三诺 GA-3 型血糖仪，血糖试纸与仪器厂家均为三诺生物传感股份有限公司（中国）。

1.2.3　血脂检测　收集小鼠血清，按照商品试剂盒步骤，分别在酶标仪 500nm 波长下检测 TG 反应物吸光值，在 510nm 波长下检测 T-CHO 反应物吸光值，在 546nm 波长下检测 LDL-C 和 HDL-C 反应物吸光值，计算各指标的血清水平（以上指标检测试剂盒批号：20221211）。血脂检测试剂盒厂家为南京建成生物工程研究所（中国），酶标仪型号为 Multiskan FC，厂家为赛默飞世尔（上海）仪器有限公司。

1.2.4　Western Blot 检测　取小鼠肝脏、骨骼肌以及白色脂肪组织，分别提取蛋白裂解液，蛋白样品在 8%SDS-PAGE 胶中分离，300mA 转膜 2h，将蛋白转至 PVDF 膜，用 1%脱脂牛奶封闭 1h 后孵育 PGC-1α（批号：10026494，美国 Proteintech 公司）与 GAPDH 抗体（批号：0602BR，美国 CMCTAG 生物科技有限公司），4℃过夜孵育后继续孵育二抗，最后进行 ECL 化学发光，并采用 Image J 软件进行灰度分析。

1.3　*统计学方法*　统计学分析采用 GraphPad Prism 6.0 统计学软件。实验数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示，两组间比较采用 t 检验。进行相关性分析时，将每只小鼠最后一周的空腹血糖水平与其对应的血脂指标（TG、T-CHO、LDL-C、HDL-C）数值、体重、PGC-1α 表达进行匹配分析，绘制血糖-血脂指标散点图、血糖-体重散点图和血糖-PGC-1α 表达散点图，采用 Pearson 相关性分析方法进行相关性分析。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　果

2.1　*小鼠奶茶摄入量及体重变化*　奶茶组小鼠每天（12h）平均奶茶摄入量显著高于对照组小鼠每天（12h）平均摄水量，差异有统计学意义（$P<0.05$）。在经过两周的奶茶干预后，奶茶组小鼠的体重在第 2 周出现了明显变化，显著高于对照组小鼠体重，差异有统计学意义（$P<0.05$）。见表 1。

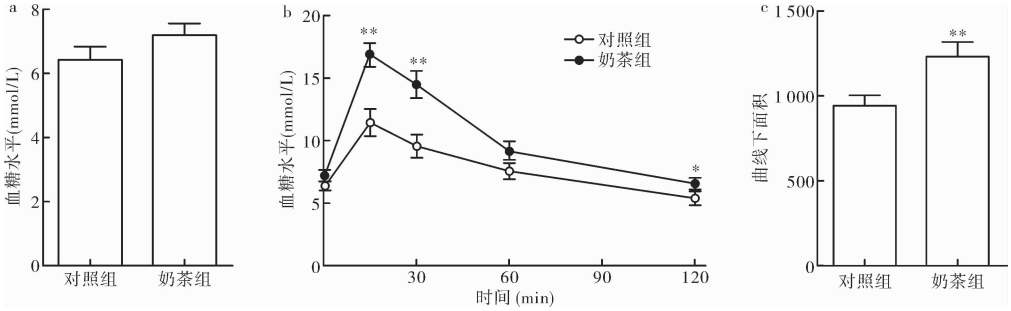
表 1　对照组和奶茶组小鼠奶茶摄入量和体重变化比较（$\bar{x}\pm s$）

Tab. 1　Comparison of changes of milk tea consumption and body weight in mice between control group and milk tea group（$\bar{x}\pm s$）

分组	动物数量（只）	奶茶/水摄入量（mL/12h）	体重（g）		
			0 周	1 周	2 周
对照组	10	4.2±0.5	16.1±0.3	24.2±0.4	27.9±0.7
奶茶组	10	8.4±1.2	16.2±0.3	24.9±0.6	30.5±0.8
t 值		3.406	0.045	0.959	2.402
P 值		0.002	0.965	0.350	0.027

2.2　*奶茶摄入对小鼠血糖的影响*　2 周后小鼠空腹血糖测定结果显示，尽管奶茶组与对照组小鼠空腹血糖差异无统计学意义（$t=1.431$，$P>0.05$），但奶茶组小鼠空腹血糖平均水平为（7.2±0.3）mmol/L，仍有高于对照组小鼠空腹血糖平均水平[（6.4±0.4）mmol/L]的趋势。见图 1a。葡萄糖耐量测试结果显示，腹腔注射葡萄糖后，两组小鼠的血糖迅速升高，并且在 15min 时达到峰值，但奶茶组小鼠的血糖水平升高幅度显著大于对照组[对照组：（11.4±

1.1) mmol/L，奶茶组：(16.9±1.0) mmol/L，t=3.624，P<0.01]。在 120min 时，尽管两组小鼠血糖水平基本回到了起始水平，但奶茶组血糖仍略高于对照组[对照组：(5.4±0.2) mmol/L，奶茶组：(6.6±0.5) mmol/L，t=2.281，P<0.05]。见图 1b。葡萄糖耐量实验曲线下面积计算也证实奶茶组小鼠的葡萄糖耐量弱于对照组小鼠(t=3.021，P<0.05)。见图 1c。



注：a 图为小鼠空腹血糖水平，b 图为葡萄糖耐量实验，c 图为 b 图的曲线下面积定量分析。* 与对照组相比，P<0.05，** 与对照组相比，P<0.01，n=10。

图 1 小鼠空腹血糖变化与葡萄糖耐量实验结果

Fig. 1 Changes of fasting blood glucose and result of glucose tolerance in mice

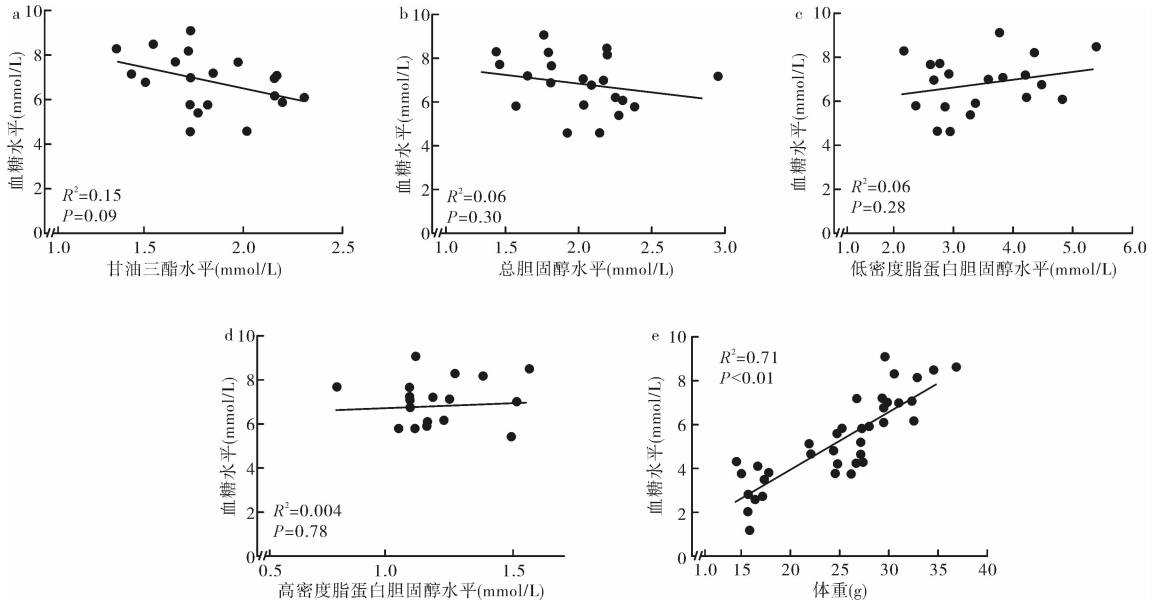
2.3 奶茶摄入对小鼠血脂的影响 2 周后血脂四项检测结果显示，奶茶组小鼠的 TG 和 HDL-C 变化不明显，但 T-CHO 和 LDL-C 的水平显著高于对照组。奶茶组小鼠的 T-CHO 和 LDL-C 水平比对照组小鼠分别高出了 23.2%和 49.5%，差异有统计学意义(P<0.05)。见表 2。

2.4 小鼠血糖与血脂、体重的相关性分析 结果显示，血脂与血糖间无显著关联性。见图 2a～d。而随着小鼠体重的增加，血糖水平呈不断升高趋势，两者间存在显著相关性(P<0.05)。见图 2e。

表 2 对照组与奶茶组小鼠血脂水平比较(mmol/L，$\bar{x}\pm s$)

Tab. 2 Comparison of blood lipid level in mice between control group and milk tea group(mmol/L，$\bar{x}\pm s$)

分组	动物只数	TG	T-CHO	LDL-C	HDL-C
对照组	10	1.85±0.08	1.81±0.09	2.80±0.12	1.15±0.05
奶茶组	10	1.82±0.09	2.23±0.09	4.16±0.22	1.26±0.05
t 值		0.387	3.253	5.490	1.364
P 值		0.704	0.004	<0.001	0.189

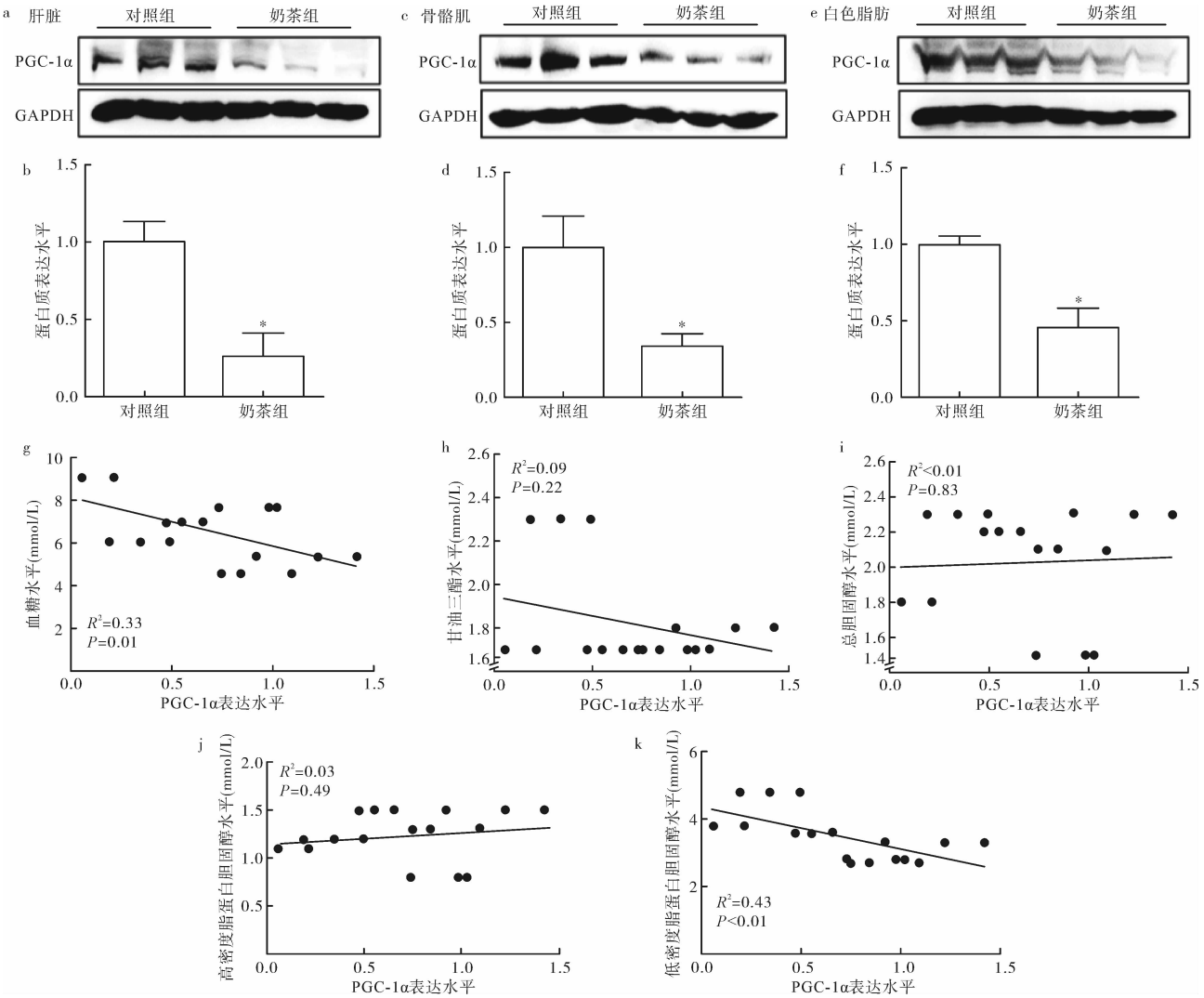


注：a～d 图分别为第 2 周 TG、T-CHO、LDL-C、HDL-C 与血糖之间的相关性分析，n=20；e 图为第 0 周、第 1 周、第 2 周小鼠体重与血糖之间的相关性分析，n=60。P<0.05 为有相关性。

图 2 血糖与血脂、体重的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of blood glucose with blood lipids and body weight

2.5　奶茶摄入抑制小鼠 PGC-1α 表达　为了探究小鼠糖脂代谢变化的原因，对小鼠肝脏、骨骼肌以及白色脂肪组织中的 PGC-1α 蛋白水平进行检测，结果显示，在奶茶组小鼠的肝脏（图 3a～b）、骨骼肌（图 3c～d）以及白色脂肪（图 3e～f）中，PGC-1α 的蛋白水平均被抑制。PGC-1α 的表达水平与对照组相比差异有统计学意义（$P<0.05$）。对小鼠各组织中 PGC-1α 表达与血糖、血脂水平进行相关分析，结果显示，PGC-1α 表达与血糖、LDL-C 水平呈显著负相关，PGC-1α 表达水平越高，血糖水平和 LDL-C 水平相对越低；而在血脂指标中，PGC-1α 表达与 TG、T-CHO、HDL-C 水平无相关性。见图 3g～k。



注：a、c 和 e 图分别为小鼠肝脏、骨骼肌和白色脂肪组织中 PGC-1α 的 Western Blot 结果，b、d 和 f 图分别为 a、c 和 e 图的统计图（$n=3$），g～k 图分别为小鼠各组织中 PGC-1α 表达水平与对应血糖、血脂水平的相关性分析（$n=18$），* 与对照组相比，$P<0.05$。

图 3　奶茶摄入抑制小鼠肝脏、骨骼肌和白色脂肪中 PGC-1α 的水平

Fig. 3　Milk tea consumption inhibited PGC-1α levels in liver, skeletal muscle, and white fat of mice

3　讨　论

近年来，儿童、青少年肥胖问题日益严峻，已成为社会健康问题的重要关注点[10-12]。在一份针对青少年群体饮用奶茶的现状调查报告中显示，有 58% 的受访者表示每周奶茶摄入量超过 1 000mL，9.33% 的受访者每天摄入量可达到 500mL。调查还显示奶茶摄入对身体的影响主要集中在体重增加和失眠等方面[7]。本研究结果显示，小鼠的奶茶摄入量远高于正常饮水量，提示小鼠对奶茶的偏好明显高于普通饮用水。此外，2 周的奶茶摄入已经使得小鼠体重出现了明显的增长，这与受访人群体重增加的调查结果一致。目前市售奶茶营养不均衡，且能量较高。有研究对 122 种奶茶的营养成分进行了分析，结果显示，每 100g 奶茶样本中的能量中位数为 310kJ，能量来源主要是奶茶中的糖与脂肪[13]。

也有研究对上海市售的 15 种正常甜度的奶茶进行了糖分分析，平均含糖量为 7.49g/100g，按照 1 杯奶茶的摄入换算，相当于摄入 11 块 4.5g 规格的方糖[7]。赵润茏等[14]对北京地区 17 个奶茶品牌的 40 份样品进行了检测分析，发现 30 份样品的含糖量大于 5g/100mL，其中含糖量最高为 13.4g/100mL。糖的过量摄入可能致使机体糖耐量受损，进而出现血糖异常[15]。除含糖量高，奶茶中还有多种添加剂，如香兰素、乙基香兰素、奶精、反式脂肪酸等[16-17]。其中奶茶含有的反式脂肪酸也是威胁健康的重要物质，越来越多的研究已经证实反式脂肪酸会增加心血管疾病的风险，诱导机体脂质代谢紊乱[18-19]。尽管奶茶中单一成分如糖、脂肪的过量摄入也会导致代谢紊乱，但本研究中，奶茶诱导的糖脂代谢紊乱是奶茶所有成分的综合影响结果。奶茶是否比单一成分更容易诱导代谢紊乱，值得进一步探究。在血脂、血糖与体重之间的相关性分析中，血脂与血糖之间无显著相关性，提示血脂、血糖可能是奶茶摄入后出现的两个独立的代谢紊乱危险因素；而血糖与体重呈密切的相关性，提示体重变化可能是血糖升高的重要影响因素，控制体重是改善血糖水平的重要措施。

PGC-1α 作为调控糖脂代谢的重要分子，参与能量代谢、葡萄糖转运以及脂肪酸氧化等[20-22]。肝脏、骨骼肌和白色脂肪等组织器官是能量代谢最为活跃和集中的场所，PGC-1α 表达丰富。研究报道，白色脂肪中 PGC-1α 的下调与肥胖相关的全身代谢紊乱有关。在肥胖个体的白色脂肪组织中，PGC-1α 表达下降，PGC-1 降低可直接影响胰岛素受体底物-1、葡萄糖转运蛋白-4（GLUT-4）和线粒体解偶联蛋白-1 的表达，进而导致脂肪组织的功能障碍[23]。在高脂喂养的非酒精性脂肪肝小鼠模型中，小鼠的肝脏 *PGC*-1α 基因表达下调，主要与沉默调节蛋白（SIRT1）/PGC-1α 信号通路被抑制有关。在高脂饮食诱导下，肝脏 SIRT1 表达被抑制，进而影响 PGC-1α 活性，导致线粒体结构和功能异常，出现肝细胞能量代谢异常[24]。在骨骼肌组织中，PGC-1α 的增加能够改善骨骼肌的胰岛素敏感性，促进葡萄糖的摄取，提示 PGC-1α 在糖脂代谢中发挥重要作用，在骨骼肌细胞中，AMP 依赖的蛋白激酶（AMPK）通过 PGC-1α 参与调控下游的 GLUT-4、线粒体蛋白和脂肪酸转位酶，增加葡萄糖摄取和脂肪酸氧化，维持细胞能量代谢稳态[25]。在该研究中，奶茶组小鼠的 PGC-1α 表达在 3 种组织中明显被抑制，提示奶茶摄入干扰了 PGC-1α 的表达，可能是造成糖脂代谢紊乱的重要原因。PGC-1α 的表达与血糖水平和血脂指标中的 LDL-C 水平具有显著的相关性，提示 PGC-1α 对血糖、血脂水平具有重要的调控作用。而在血脂指标中，PGC-1α 的表达与 TG、T-CHO、HDL-C 无显著相关性，而与 LDL-C 存在相关性，可能原因是 LDL-C 指标变化更敏感，容易受到 PGC-1α 表达的调控和影响。

总体而言，两周的奶茶摄入增加幼龄小鼠体重，造成了幼龄小鼠的糖脂代谢紊乱，这可能与小鼠肝脏、肌肉和脂肪组织中 PGC-1α 表达抑制有关。此外，更长时间的奶茶摄入是否会造成更为严重的代谢系统疾病，特别是对幼龄个体的影响，仍然值得进一步研究和探索。

参考文献

[1] Chen L, Chen XW, Huang X, et al. Regulation of glucose and lipid metabolism in health and disease[J]. Sci China Life Sci, 2019, 62(11): 1420-1458.

[2] Stewart J, McCallin T, Martinez J, et al. Hyperlipidemia [J]. Pediatr Rev, 2020, 41(8): 393-402.

[3] Kane JP, Pullinger CR, Goldfine ID, et al. Dyslipidemia and diabetes mellitus: Role of lipoprotein species and interrelated pathways of lipid metabolism in diabetes mellitus[J]. Curr Opin Pharmacol, 2021, 61: 21-27.

[4] Cantó C, Auwerx J. PGC-1alpha, SIRT1 and AMPK, an energy sensing network that controls energy expenditure [J]. Curr Opin Lipidol, 2009, 20(2): 98-105.

[5] Rius-Pérez S, Torres-Cuevas I, Millán I, et al. PGC-1α, inflammation, and oxidative stress: An integrative view in metabolism[J]. Oxid Med Cell Longev, 2020, 2020: 1452696.

[6] Cheng CF, Ku HC, Lin H. PGC-1α as a pivotal factor in lipid and metabolic regulation[J]. Int J Mol Sci, 2018, 19(11): 3447.

[7] 李冬梅，陆演婷，刘浜剑，等. 现制奶茶对青少年健康的影响分析[J]. 食品安全导刊，2023(6)：119-122.
Li DM, Lu YT, Liu BJ, et al. Analysis of theeffect of existing milk tea on adolescent health[J]. China Food Safety Magazine, 2023(6):119-122. (in Chinese)

[8] 赵轶诚，冯思远，史梦菲，等. 奶茶成为年轻人主流饮品原因探析[J]. 食品安全导刊，2021(14)：64-66.
Zhao YC, Feng SY, Shi MF, et al. Analysis on the reasons why milk tea becomes a mainstream drink for young people [J]. China Food Safety Magazine, 2021(14): 64-66. (in Chinese)

[9] 柴平. 上海市售奶茶营养成分分析[J]. 食品安全导刊，2023(1)：97-100.
Chai P. Analysis of nutritional components in milk tea samples in Shanghai[J]. China Food Safety Magazine, 2023(1): 97-100. (in Chinese)

[10] 郭春雷，王惠君，张兵. 儿童青少年肥胖研究进展[J]. 卫生研究. 2020, 49(3): 516-522.
Guo CL, Wang HJ, Zhang B. Research progress in childhood and adolescent obesity[J]. Journal of Hygiene Research, 2020, 49(3): 516-522. (in Chinese)

[11] Rughani A, Friedman JE, Tryggestad JB. Type 2 diabetes

in youth: The role of early life exposures[J]. Curr Diab Rep, 2020, 20(9): 45.

[12] Chong B, Kong G, Shankar K, et al. The global syndemic of metabolic diseases in the young adult population: A consortium of trends and projections from the global Burden of disease 2000—2019[J]. Metabolism, 2023, 141: 155402.

[13] 史泽环，孙卓，宋琪，等. 上海 122 种市售现制奶茶中的营养成分[J]. 环境与职业医学，2023，40(7)：756-760.
Shi ZH, Sun Z, Song Q, et al. Nutrient content of 122 kinds of retail handcrafted milk tea products in Shanghai [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(7): 756-760. (in Chinese)

[14] 赵润茏，周若宇，张玥，等. 北京市某区市售奶茶糖含量测定及青年人群知信行调查[J]. 食品安全质量检测学报，2021，12(6)：2160-2165.
Zhao RL, Zhou RY, Zhang Yue, et al. Determination of sugar content in milk tea sold in a district of Beijing and KAP survey of young people[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(6): 2160-2165. (in Chinese)

[15] Winzell MS, Ahrén B. The high-fat diet-fed mouse: a model for studying mechanisms and treatment of impaired glucose tolerance and type 2 diabetes[J]. Diabetes, 2004, 53 (Suppl 3): 215-219.

[16] 刘宁宁，李星宇，付静，等. 奶茶的研究进展[J]. 食品工业，2022，43(1)：246-250.
Liu NN, Li XY, Fu J, et al. Development and research progress of milk tea[J]. The Food Industry, 2022, 43(1): 246-250. (in Chinese)

[17] 周红霞，华春，阮鸣，等. 气相色谱法测定奶茶中的反式脂肪酸[J]. 中国粮油学报，2014，29(9)：102-106.
Zhou HX, Hua C, Ruan M, et al. Determination of trans-fatty acids in milk tea by gas chromatography[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(9): 102-106. (in Chinese)

[18] Islam MA, Amin MN, Siddiqui SA, et al. Trans fatty acids and lipid profile: A serious risk factor to cardiovascular disease, cancer and diabetes[J]. Diabetes Metab Syndr, 2019, 13(2): 1643-1647.

[19] Brouwer IA, Wanders AJ, Katan MB. Trans fatty acids and cardiovascular health: Research completed[J]? Eur J Clin Nutr, 2013, 67(5): 541-547.

[20] Keinicke H, Sun G, Mentzel CMJ, et al. FGF21 regulates hepatic metabolic pathways to improve steatosis and inflammation[J]. Endocr Connect, 2020, 9(8): 755-768.

[21] 张劝劝，秦虹. PGC-1α 调控肥胖相关代谢性疾病机制的研究进展[J]. 中国药理学通报，2021，37(6)：741-745.
Zhang QQ, Qin H. Research progress on regulation of PGC-1α in obesity-related metabolic diseases[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2021, 37(6): 741-745. (in Chinese)

[22] 王慧婷，张岩晨，徐梦怡，等. 能量代谢关键调控因子 PGC-1α 的研究进展[J]. 生理学报，2020，72(6)：804-816.
Wang HJ, Zhang YC, Xu MY, et al. Research progresses on PGC-1α, a key energy metabolic regulator[J]. Acta Physiologica Sinica, 2020, 72(6): 804-816. (in Chinese)

[23] Hammarstedt A, Jansson PA, Wesslau C, et al. Reduced expression of PGC-1 and insulin-signaling molecules in adipose tissue is associated with insulin resistance[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2003, 301(2): 578-582.

[24] Jiang Y, Chen D, Gong Q, et al. Elucidation of SIRT-1/PGC-1α-associated mitochondrial dysfunction and autophagy in nonalcoholic fatty liver disease[J]. Lipids Health Dis, 2021, 20(1): 40.

[25] Leick L, Fentz J, Biensø RS, et al. PGC-1α is required for AICAR-induced expression of GLUT4 and mitochondrial proteins in mouse skeletal muscle[J]. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2010, 299(3): E456-E465.

收稿日期：2023-09-14　**修回日期**：2023-11-19　**本文编辑**：雷晓梅

（上接第 968 页）

of Chinese Center for Disease Control and Prevention. Suggestions for clinical implementation of basic health care technology in early neonates[J]. Chin J Perinat Med, 2017, 20 (9): 625-629. (in Chinese)

[10] 惠丽雅，顾红，陈慧娟. 基于行为改变整合理论护理对初产妇母乳喂养率及自我效能的影响[J]. 临床护理杂志，2018，17(1)：8-11.
Hui LY, Gu H, Chen HJ. The effect of nursing integrative on breastfeeding rate and self-efficacy of primipara based on the theory of behavior change integration[J]. J Clin Nurs, 2018, 17(1): 8-11. (in Chinese)

[11] 杨一，李春. 初产妇母乳喂养自我效能的影响因素分析[J]. 中国妇幼健康研究，2021，32(5)：651-654.
Yang Y, Li C. Analysis of influencing factors of breastfeeding self-efficacy of primipara[J]. Chin Mater and Child Health Res, 2021, 32(5): 651-654. (in Chinese)

[12] 徐丹凤，罗晓菊，向虹宇，等. 袋鼠式护理对改善早产儿 6 月龄内母乳喂养的影响[J]. 中国妇幼卫生杂志，2022，13(2)：6-10.
Xu DF, Luo XJ, Xiang HY, et al. Effect of kangaroo mother care on improving breastfeeding of preterm infants within 6 months of age[J]. Chin J Women Children Health, 2022, 13(2): 6-10. (in Chinese)

[13] 胡建新，李萍，刘明秀. 袋鼠式护理促进新生儿母乳喂养的 Meta 分析[J]. 护理学报，2016，23(5)：9-13.
Hu JX, Li P, Liu MX. Meta-analysis on influence of kangaroomother care on neonatal breastfeeding[J]. J Nurs (China), 2016, 23(5): 9-13. (in Chinese)

[14] Silva MG, Barros MC, Pessoa UM, et al. Kangaroo-mother care method and neurobehavior of preterm infants[J]. Early Hum Dev, 2016, 4(95): 55-59.

[15] Ruth F, Zehava R, Arthur IE. Maternal-preterm skin-to-skin contact enhances child physiologic organization and cognitive control across the first 10 years of life[J]. Biol Psychiatry, 2014, 75(1): 56-64.

[16] Gavhane S, Eklare D, Mohammad H. Long term outcomes of kangaroo mother care in very low birth weight infants [J]. J Clin Diagn Res, 2016, 10(12): SC13-SC15.

[17] Sunita T, Bireshwar S, Ravi PU, et al. Community initiated kangaroo mother care and early child development in low birth weight infants in India-a randomized controlled trial [J]. BMC Pediatr, 2020, 20(1): 150-162.

收稿日期：2023-11-06　**修回日期**：2024-02-22　**本文编辑**：李少闻