

中链甘油三酯对高蔗糖饮食豚鼠在负透镜诱导下近视的保护作用

陈卓¹, 石蕊², 谭李玉¹, 左浩³, 王妮³

(1. 西安医学院, 西安 710021; 2. 陕西省人民医院 眼科, 西安 710068; 3. 西安石氏视光学有限责任公司, 西安 710004)

摘要:为通过营养学手段防控近视提供参考,研究了中链甘油三酯对高蔗糖饮食豚鼠近视的保护作用。将3周龄豚鼠随机分为中链甘油三酯组(MCT组)、长链甘油三酯组(LCT组)、高蔗糖组(SD组)、正常膳食组(CD组)和对照组(CON组),前三组分别饲喂MCT+高蔗糖饲料、棕榈油+高蔗糖饲料、高蔗糖饲料,CD组和CON组饲喂正常饲料。喂养4周后,分析其屈光度及胰岛素抵抗情况。随后对除对照组外各组豚鼠右眼以负透镜诱导近视造模,左眼作为自身对照。造模5周后测定各组豚鼠的双眼屈光度、胰岛素抵抗水平和血甘油三酯水平。结果表明:高蔗糖饮食各组豚鼠均在4周后出现胰岛素抵抗情况,受负透镜诱导各组豚鼠实验眼在诱导5周后均出现高度近视;高蔗糖饮食各组豚鼠的胰岛素抵抗水平及血甘油三酯水平均高于对照组;高蔗糖饮食各组豚鼠实验眼的近视程度与正常膳食组有显著性差异;MCT组较LCT组和SD组,在胰岛素抵抗水平、右眼受负透镜诱导的近视程度及血甘油三酯水平方面均较低。综上,高蔗糖饮食会使豚鼠产生胰岛素抵抗,加剧负透镜诱导对豚鼠近视性屈光不正的影响,而MCT对高蔗糖饮食加剧的豚鼠受负透镜诱导下的近视有保护作用。

关键词:中链甘油三酯;近视;胰岛素抵抗;血甘油三酯

中图分类号:TS201.4; R77 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)08-0084-06

Preventive effect of medium-chain triacylglycerol against negative lens-induced myopia in guinea pigs with high sucrose diet

CHEN Zhuo¹, SHI Rui², TAN Liyu¹, ZUO Hao³, WANG Ni³

(1. Xi'an Medical University, Xi'an 710021, China; 2. Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an 710068, China; 3. Xi'an Shi's Optometry Company, Xi'an 710004, China)

Abstract: In order to provide a reference for the prevention and control of myopia through nutritional means, the protective effect of medium-chain triacylglycerol (MCT) on myopia in guinea pigs with high sucrose diet was investigated. Three-week-old guinea pigs were randomly divided into MCT group, long-chain triacylglycerol (LCT) group, high sucrose (SD) group, normal diet (CD) group and control (CON) group. The first three groups fed with MCT plus high-sucrose feed, olive oil plus high-sucrose feed, simple high-sucrose feed respectively, and the CD and CON groups fed with common feed. After four weeks of feeding, the development of diopters and insulin resistance were analyzed. In the following five weeks, myopia was induced by negative lens in the right eye of each group except the CON group, and the left eye was used as its own control. After five weeks, the changes of binocular diopter and insulin resistance levels of guinea pigs in each group were measured, and the blood triglyceride levels of

guinea pigs in each group were also measured. The results showed that all groups on a high-sucrose diet developed insulin resistance after four weeks, and all eyes induced by negative lenses developed high myopia after five weeks of

收稿日期:2022-12-02;修回日期:2023-04-29

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2022JM-571);
陕西省人民医院2021年科技发展孵化基金项目(2021YJY-20)

作者简介:陈卓(1985),男,副教授,硕士,主要从事眼科
新药研究工作(E-mail) chenzhuo_chem@outlook.com。

induction. The insulin resistance and blood triglyceride levels were higher in the high - sucrose diet group than in the CON group. The diopter of the experimental eye in the high - sucrose diet group was significantly different from that in the CD group. Compared with the LCT group and SD group, the MCT group was more protected on insulin resistance, negative lens - induced myopia in the right eye, and blood triglyceride levels. In conclusion, a diet with high sucrose can cause insulin resistance in guinea pigs and exacerbate the effect of negative lens induction myopic refractive error in guinea pigs. MCT has a protective effect on lens - induced myopia in guinea pigs exacerbated by high - sucrose diet.

Key words: medium - chain triacylglycerol; myopia; insulin resistance; blood triglyceride

近视是一种常见的眼病,近年来我国近视发病率逐年上升^[1-2],而中高度近视易引发多种眼部病理改变^[3-4]。近视的发生与许多因素有关^[3,5-8],其中,流行病学及发病机制研究显示,高精制谷物、高糖饮食习惯与近视的发生密切相关^[8-9]。这可能与长期高糖摄入产生胰岛素抵抗,进而导致慢性高胰岛素血症有关^[5,9-11]。研究表明,给小鸡眼内注射胰岛素会导致其眼轴过度发育,进而导致屈光状态向近视漂移^[12]。因此,在我国近视防控工作中,关于避免高精制谷物、高糖饮食的健康宣教内容受到广泛关注^[13]。但是,我国居民饮食习惯仍以高精制谷物为主^[14]。目前,改善糖耐量的方法主要有二甲双胍等药物治疗、中医从脾论治,以及有氧运动、健康生活习惯等。如何从饮食结构角度对抗高糖饮食引起近视的问题,目前研究较少。

中链甘油三酯(Medium - chain triacylglycerol, MCT)是一种饱和脂肪酸甘油酯,由8~12个碳原子的脂肪酸甘油酯构成^[15]。MCT是一种功能性油脂,具有抗疲劳^[16],延缓阿尔茨海默病发展^[17],改善糖脂代谢的作用^[18]。在合理膳食的基础上,MCT替代饮食能够提高糖耐量,降低高糖饮食实验大、小鼠的血液胰岛素含量,提高胰高血糖素的浓度^[19-20]。因此,推测MCT替代饮食有望削弱“长期高糖饮食—高胰岛素血症—近视”的病理过程。目前,MCT替代饮食与近视的相关性研究尚属空白。因此,本研究以反映近视发生发展的屈光状态变化为主要指标,研究了MCT对高蔗糖饮食豚鼠在负透镜近视造模时的视力保护作用,并通过研究各组豚鼠的胰岛素抵抗水平及血脂水平,分析高糖饮食导致近视易感性的机制及MCT对近视发展产生保护作用的机制,以期通过营养学手段防控近视提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 实验动物

健康英国种花色豚鼠50只,3周龄,体质量130~

190 g,购自成都达硕实验动物有限公司〔实验动物生产许可证号SCXK(川)2020-030〕。

1.1.2 饲料、试剂及仪器

豚鼠基础饲料(颗粒型维持饲料),江苏协同生物医药工程有限责任公司;棕榈油(食品级),益海(广州)粮油工业有限公司;MCT〔食品级,总脂肪含量(70±2)%,C8与C10脂肪酸比例60:40〕,山东天美生物技术有限公司;胰岛素注射液(40 U/mL,使用前以生理盐水稀释至0.3 U/mL),江苏万邦生化医药集团有限责任公司;血甘油三酯检测试剂盒(GPO - PAP酶法),南京建成生物工程研究所;拜安进血糖仪〔国食药监械(进)字2014第2404310号〕及配套试纸(葡萄糖脱氢酶法,国械注进20142405084)。

1.2 实验方法

1.2.1 实验膳食的制备

豚鼠对高脂尤其高胆固醇饮食较敏感^[21],而高脂血症也会影响糖耐量。因此,为控制变量,设置添加长链饱和脂肪酸为主的棕榈油作为对照,使其饮食中脂质比例与添加MCT的实验组一致^[22]。关媛媛等^[21]的研究中,豚鼠高脂饮食模型的饲料配比为添加脂质、胆固醇与基础饲料质量比10:0.1:89.9,本研究为降低高脂饮食对豚鼠进食量及血脂的影响,设置添加MCT/LCT高蔗糖饲料组的蔗糖、外加MCT/LCT与原始饲料质量比为5:4:91。

实验膳食为自行配制,配制方法:将豚鼠基础饲料(符合GB 14924.3—2010《实验动物配合饲料营养成分》)粉碎、混匀后等分为5份:第一份以蔗糖与原始饲料质量比5:95拌入蔗糖,为高蔗糖饲料;第二份以蔗糖、MCT粉与原始饲料质量比5:4:91拌入蔗糖和MCT粉(添加时折算为纯脂肪量),为高蔗糖+MCT饲料;第三份则以蔗糖、棕榈油与原始饲料质量比5:4:91拌入蔗糖和棕榈油,为高蔗糖+LCT饲料。原始饲料检验报告标称的粗脂肪含量为3.5%,因此高蔗糖+MCT、高蔗糖+LCT饲

料总脂肪含量约为 7.2%。余下的 2 份饲料不作调整,作为正常饲料。5 份饲料分别混匀后塑形为粉碎前同尺寸和形状,50℃下减压干燥后于 4℃储存,备用。

1.2.2 动物饲养

本研究中动物实验依据西安医学院实验室动物准则实施。豚鼠具有较高比例的先天性高度近视^[23],为了避免对实验的影响,实验开始前对豚鼠进行眼科筛查,排除有眼发育异常、先天性近视趋势(屈光度 $\leq +1.50$ D)及先天性白内障等眼部疾病的豚鼠。同时,排除体质量小于 130 g 及大于 190 g 的豚鼠,以避免体质发育差异导致眼发育均一性受影响。实验动物自由摄食及饮水,分笼饲养,室温(26±2)℃,避免噪声,每周称量体质量。每日明暗时间各 12 h,照明时间段大部分时间采用日光照明,以避免人工光线对屈光发育的影响^[6]。

1.2.3 负透镜法建立近视模型

采用负透镜产生的远视性离焦使模型豚鼠产生近视^[24-25],选取右眼为模型眼,左眼不作处理为自身对照。选取成品 -6.0 D 球面树脂镜片,在自动磨边机中加工至符合豚鼠眼眶情况的规格。通过黏附法使豚鼠右眼全天戴镜,镜片与眼球的距离约为 3 mm。实验期间随时检查戴镜情况,使其端正佩戴,避免镜片或胶水黏附豚鼠眼球及眼睑,并随时更换受损镜片。

1.2.4 动物实验

豚鼠具有与人类相似的屈光发育过程,出生时具有远视储备,并在 9~11 周龄完成其正视化过程^[26]。因此,本研究选择 3~12 周龄豚鼠,所获得的关于油脂营养对近视发生发展的影响的数据,对于人类 2~12 岁儿童近视防控工作具有基础研究价值。将豚鼠随机分为 5 组: MCT + 高蔗糖膳食组(MCT 组)、LCT + 高蔗糖膳食组(LCT 组)、高蔗糖膳食组(SD 组)、正常膳食组(CD 组)及对照组(CON 组)。MCT 组、LCT 组及 SD 组分别饲喂高蔗糖 + MCT 饲料、高蔗糖 + LCT 饲料及高蔗糖饲料,且饮用水均为质量分数 15% 的蔗糖水溶液; CD 组和 CON 组饲喂正常饲料,饮用水正常。第一阶段喂养 4 周,每日称量投喂及剩余饲料,观察摄食情况,每周称量豚鼠体质量,观察其体质量变化情况。第二阶段实验:将 MCT 组、LCT 组、SD 组及 CD 组右眼采用 1.2.3 的方法建立负透镜诱导,左眼不戴镜作为自身对照,CON 组双眼均不戴镜,饲料等其余措施与饲养环境保持与前 4 周相同。第二阶段实验持续

至第 9 周末,第二阶段实验结束后测定豚鼠的胰岛素抵抗、血甘油三酯水平及屈光度。

1.2.5 屈光度测量

豚鼠不经麻醉,将质量浓度 1 g/100 mL 复方托吡卡胺滴眼液滴入其双眼结膜囊内,每 10 min 滴 1 次,共滴 3 次。最后一次滴毕 30 min 后经安抚至安静状态下进行检影验光,测量工作距离 50 cm,以 0.25 D 间隔,分别在水平及垂直子午线上带状光检影,所得屈光度为垂直及水平两条主子午线检测值的均数。

1.2.6 胰岛素抵抗及血甘油三酯水平测试

将实验豚鼠禁食不禁水 12 h 后,背中足静脉采血,离心分离血清,按试剂盒说明测定血甘油三酯水平。随后腹腔内注射胰岛素(剂量 1.0 U/kg),注射后在 0、15、30、60 min 时采血,采血后立即使用电子血糖仪测定血糖,绘制血糖随时间的变化曲线,计算血糖相对时间的平均下降率(K_{ITT})^[27]。

2 结果与讨论

2.1 高蔗糖饮食对豚鼠糖耐量及血脂的影响及 MCT 的保护作用

实验中观察发现,高蔗糖、MCT + 高蔗糖、LCT + 高蔗糖饮食均未导致豚鼠采食量下降,各组饲料消耗量没有显著性差异。各组豚鼠的胰岛素抵抗及血脂情况见表 1。

表 1 各组豚鼠的胰岛素抵抗及血脂情况

组别	$K_{ITT}/(\%/min)$		第 9 周末血甘油三酯/(mmol/L)
	第 4 周末	第 9 周末	
MCT 组	1.76 ^{bcd}	1.33 ^{abcd}	0.56 ± 0.12 ^{cd}
LCT 组	1.41 ^{abc}	0.95 ^{abc}	0.90 ± 0.18 ^{abc}
SD 组	1.64 ^{abd}	1.12 ^{abd}	0.71 ± 0.13 ^{abd}
CD 组	1.98 ^{cd}	1.89 ^{cd}	0.43 ± 0.15 ^{cd}
CON 组	1.81 ^{cd}	1.82 ^{cd}	0.50 ± 0.12 ^{cd}

注: a. 与 CON 组有显著性差异; b. 与 CD 组有显著性差异; c. 与 SD 组有显著性差异; d. 与 LCT 组有显著性差异。下同

由表 1 可知,涉及高蔗糖饮食的 MCT 组、LCT 组及 SD 组豚鼠在第一阶段实验结束时,其 K_{ITT} 分别为 1.76%/min、1.41%/min、1.64%/min,而 CD 组与 CON 组豚鼠则分别为 1.98%/min 和 1.81%/min。第二阶段实验结束后,涉及高蔗糖饮食的 3 组豚鼠的 K_{ITT} 进一步下降。CON 组豚鼠的胰岛素抵抗情况没有显著性变化。结果说明高蔗糖饮食下,不论是否在饮食中添加 MCT,豚鼠的血糖对胰岛素的敏感度显著小于 CON 组($p < 0.05$),高蔗糖饮食导致豚鼠产生胰岛素抵抗,其对糖耐量的损害会随时间积累。MCT 组豚鼠的 K_{ITT} 显著高于 SD 组

的($p < 0.05$),也显著高于LCT组的($p < 0.05$),说明MCT对高蔗糖饮食导致的豚鼠胰岛素抵抗有保护作用。邓斌^[28]在人体临床研究中发现,在控制总能量的前提下,用MCT替换2型糖尿病患者膳食中约50%的食用油3个月,患者的胰岛素抵抗得到改善。本研究中,MCT组饲料中基础饲料所含脂肪并未被去除,而是通过另添加MCT的方式,使MCT约占总脂肪量的50%,研究结果与之一致。此外,LCT组豚鼠的 K_{ITT} 显著低于SD组的($p < 0.05$)(见表1),说明在高蔗糖饲料基础上额外添加棕榈油对高蔗糖饮食导致的胰岛素抵抗有加成作用。

由表1还可知,SD组与LCT组豚鼠的血甘油三酯水平与CON组有显著性差异($p < 0.05$)。单纯高蔗糖饮食导致小鼠、大鼠、豚鼠出现高血脂情况,在此前的研究中已有报道^[29-31]。本研究发现,在高蔗糖饲料的基础上再添加LCT,加剧了高血脂情况,这种情况应是由高糖与高脂叠加导致的。然而,MCT组豚鼠的血甘油三酯水平与CON组无显著性差异($p > 0.05$),但显著低于LCT组($p < 0.001$)和SD组($p < 0.05$),说明MCT+高蔗糖饮食相对LCT+高蔗糖饮食不易导致豚鼠脂代谢紊乱,添加MCT对高蔗糖饮食引起的高脂血症具有保护作用。

添加MCT对高蔗糖饮食所致豚鼠糖耐量下降的保护作用,一方面可能是豚鼠对MCT与LCT的不同利用方式所导致的^[32],MCT可以直接供能,引起的脂肪沉积较LCT少,能够避免LCT引起的高血脂及脂肪沉积导致的糖耐量下降^[33];另一方面,可能是通过MCT对高蔗糖吸收的影响^[34]及增加PPAR γ 表达,改善脂质蓄积途径^[19],联合实现了比单纯高蔗糖饮食较轻的糖耐量损害。

2.2 MCT对高蔗糖饮食豚鼠在负透镜诱导下近视的保护作用

实验开始时,本研究所选3周龄豚鼠的平均屈光度为($+3.13 \pm 0.46$)D,呈远视储备状态。随着实验进行,各组豚鼠均出现正视化趋势。各组豚鼠在负透镜诱导近视造模下的屈光度改变情况见表2。

表2 各组豚鼠在负透镜诱导近视造模下的屈光度改变情况

组别	第4周	第9周	
		D	
		OD(实验眼)	OS(对照眼)
MCT组	$+1.98 \pm 0.51$	-5.69 ± 0.96^{acd}	$+0.52 \pm 0.85$
LCT组	$+1.96 \pm 0.52$	-6.69 ± 0.69^{ab}	$+0.58 \pm 0.65$
SD组	$+2.08 \pm 0.75$	-6.38 ± 0.84^{ab}	$+1.02 \pm 0.72$
CD组	$+1.94 \pm 0.71$	-5.52 ± 0.98^{acd}	$+0.79 \pm 1.09$
CON组	$+2.18 \pm 0.88$	$+1.08 \pm 0.84^{bcd}$	$+0.85 \pm 0.81$

由表2可知,高蔗糖饮食的第一阶段实验结束后,各高蔗糖饮食组豚鼠的正视化与正常饮食组无显著性差异($p > 0.05$)。豚鼠与人类相似,在幼年时期过度的正视化,是眼轴过快发育,眼球向近视发展的重要指征。然而,此阶段MCT的添加对豚鼠的正视化速度无显著性影响($p > 0.05$)。这可能是由于本阶段时间较短且无造模压力导致的。

由表2还可知,经负透镜诱导的第二阶段实验结束后,各组豚鼠的屈光度均向近视方向移动。CON组豚鼠双眼平均屈光度为($+0.97 \pm 0.84$)D,达到豚鼠成年后的正常屈光度,说明实验背景环境对豚鼠的屈光发育无干扰。CD组豚鼠实验眼屈光度为(-5.52 ± 0.98)D,出现高度近视的屈光不正,说明负透镜诱导建立豚鼠近视模型造模成功。SD组豚鼠实验眼屈光度为(-6.38 ± 0.84)D,与CD组有显著性差异($p < 0.05$),说明高蔗糖饮食会加剧负透镜诱导对豚鼠近视性屈光不正的影响。MCT豚鼠组实验眼屈光度为(-5.69 ± 0.96)D,与SD组有显著性差异($p < 0.05$),与CD组差异不显著($p > 0.05$),而LCT组豚鼠实验眼屈光度与SD组无显著性差异($p > 0.05$)。综合说明,添加MCT对高蔗糖饮食加剧的负透镜诱导的豚鼠屈光不正有保护作用。

单纯高蔗糖饮食可诱发豚鼠高甘油三酯血症,对于高甘油三酯血症对近视发展的直接影响,目前研究较少,关于脂代谢对近视的影响目前仅见于脂肪酸饱和度对近视的影响^[35-37]。本研究发现,高蔗糖饮食所致的豚鼠胰岛素抵抗程度与负透镜诱导的豚鼠屈光不正程度存在组间关联性。

胰岛素抵抗导致进食后血胰岛素水平升高^[11],还可能产生胰岛素样生长因子1(Insulin-like growth factors-1, IGF-1)升高等一系列代谢紊乱。目前研究普遍表明,血清中IGF-1水平较高会导致近视^[10,38-39]。高胰岛素促使肝脏合成更多的IGF-1^[40],且胰岛素抵抗的儿童常有较高的血清游离IGF-1水平^[41-43],进而加速眼轴发育。有研究表明,给小鸡眼内注射胰岛素会导致其眼轴过度发育,进而使屈光状态向近视漂移^[12]。但徐青林等^[44]研究发现,单纯向豚鼠实验眼内直接注射胰岛素,不会加剧其因负透镜诱导产生的屈光不正程度。因此,本研究发现的高蔗糖饮食导致负透镜诱导的近视加剧的机制可能是胰岛素抵抗中一系列代谢因子紊乱所产生的综合结果,涉及循环IGF-1水平、胰高血糖素水平等。

MCT对高蔗糖饮食豚鼠在负透镜诱导下产生的近视性屈光不正产生的保护作用,可能的机制是

饮食中添加 MCT 对高蔗糖饮食所致豚鼠糖耐量下降产生了保护作用,改善了高蔗糖饮食导致的胰岛素抵抗中一系列能量代谢因子紊乱,降低了胰岛素抵抗对近视发展产生的影响,削弱了“长期高糖饮食—糖脂代谢紊乱—胰岛素抵抗—近视”途径。

3 结论

高蔗糖饮食饲喂使各组实验豚鼠在 4 周后出现了胰岛素抵抗情况。各组豚鼠实验眼均在随后负透镜诱导 5 周后产生了高度近视。单纯高蔗糖饲喂豚鼠的胰岛素抵抗情况及血甘油三酯水平均较高,其实验眼负透镜诱导后屈光度也与正常膳食饲喂豚鼠实验眼有显著差异,因此高蔗糖饮食会使豚鼠产生胰岛素抵抗,加剧负透镜诱导对豚鼠近视性屈光不正的影响。

MCT 组较 LCT 组和 SD 组,在胰岛素抵抗水平、实验眼受负透镜诱发的近视程度及血甘油三酯水平方面均较低。因此,MCT 对高蔗糖饮食豚鼠在负透镜诱导下的近视有保护作用,该作用可能通过改善豚鼠的胰岛素抵抗情况实现。

参考文献:

- [1] 石一宁,何萍,赵宏英,等. 西安市 2003 年中学生动态眼屈光状况调查[J]. 眼科学报,2005(4):131-136.
- [2] 高作书,杜晓琨,石一宁,等. 中小學生 5 757 名近视化的演变过程及近视防控的临床意义[J]. 中国实用眼科杂志,2013,31(7):927-932.
- [3] 石一宁,方严. 中国儿童青少年近视防控流程的建议:近视防控共识(讨论稿)[J]. 临床眼科杂志,2014,22(1):94,25.
- [4] 石一宁,郑红,陈建华. 高度近视眼多焦视网膜电图和传统视觉电生理改变与中低度近视的对比研究[J]. 国际眼科杂志,2007(4):1042-1045.
- [5] HARB E N, WILDSOET C F. Nutritional factors and myopia: an analysis of national health and nutrition examination survey data[J]. *Optom Vis Sci*,2021,98(5):458-468.
- [6] 朱秋蓉,刘陇黔. 近视与光照的关系[J]. 四川大学学报(医学版),2021,52(6):901-906.
- [7] 孙晴,张聿剑,管怀进,等. 电子产品与青少年近视相关性的研究进展[J]. 数码世界,2020(7):238-239.
- [8] BBRTICAT C, MAMOUNI S, CIAIS A, et al. Probability of myopia in children with high refined carbohydrates consumption in France[J/OL]. *BMC Ophthalmol*,2020,20(1):337 [2022-12-02]. <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01602-x>.
- [9] CORDAIN L, EATON S B, BRAND MILLER J, et al. An evolutionary analysis of the aetiology and pathogenesis of juvenile-onset myopia [J]. *Acta Ophthalmol Scand*, 2000,80(2):125-135.
- [10] 於亭,宋继科,毕宏生,等. 高糖饮食与近视相关信号通路关系的研究[J]. 眼科新进展,2020,40(8):789-792.
- [11] MOHAN V, UNNIKRISHNAN R, SHOBABA S, et al. Are excess carbohydrates the main link to diabetes & its complications in Asians? [J]. *Indian J Med Res*,2018,148(5):531-538.
- [12] FELDKAEMPER M P, NEACSU I, SCHAEFFEL F. Insulin acts as a powerful stimulator of axial myopia in chicks [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2009,50(1):13-23.
- [13] 谢红军. 万万没想到,糖吃多了也会近视[J]. 家庭百事通,2021(8):39.
- [14] 徐鑫,高健,张雪峰. 学龄前儿童膳食结构和营养状况研究进展[J]. 全科口腔医学电子杂志,2019,6(36):11,17.
- [15] 何健. 中链甘油三酯在动物体内的代谢及应用研究[J]. 中国油脂,2004,29(1):14-18.
- [16] 韩培涛,李晓莉,钱平,等. 中链甘油三酯抗疲劳作用及其机制研究[J]. 中国油脂,2018,43(1):56-60.
- [17] 姜勃宇,付朝旭,许妍姬. 中链甘油三酯对阿尔兹海默症的影响研究进展 [J/OL]. 中国油脂,2022:220615 [2022-12-02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1099.TS.20220615.0837.006.html>.
- [18] AUGUSTIN K, KHABBUSH A, WILLIAMS S, et al. Mechanisms of action for the medium-chain triglyceride ketogenic diet in neurological and metabolic disorders[J]. *Lancet Neurol*, 2018, 17(1):84-93.
- [19] 耿珊珊. 中链甘油三酯饮食对大鼠肥胖、胰岛素抵抗的影响及其机制研究[D]. 上海:第二军医大学,2008.
- [20] 刘英华. 中链脂肪酸对肥胖小鼠脂代谢的调节作用及机制研究[D]. 北京:中国人民解放军军事医学科学院,2012.
- [21] 关媛媛,郑燕飞,朱玲慧,等. 高甘油三酯血症动物模型研究进展[J]. 中国实验动物学报,2022,30(1):146-152.
- [22] 陈翠华,丁泓滨,ROURKE J. 棕榈油应用手册(I)[J]. 中国油脂,1992,17(6):47-53.
- [23] 赵小云,黄悦,赵少贞,等. 先天性近视豚鼠眼球生物学参数及巩膜病理改变[J]. 新乡医学院学报,2017,34(6):465-468.
- [24] 陈蜜朵,周希媛. 豚鼠实验性近视诱导方法及形成过程[J]. 国际眼科杂志,2016,16(3):450-454.
- [25] 杨成秀,吴建峰,郭滨,等. 甲状腺素腹腔注射对负透镜诱导近视豚鼠生长发育和屈光状态的影响[J]. 山东医药,2022,62(8):25-29.
- [26] 王瑞卿,赵海岚,胡娱新,等. 正常幼年豚鼠视觉发育的正视化过程[J]. 吉林大学学报(医学版),2008(1):19-23.
- [27] 刘伟. 光照节律对豚鼠糖脂代谢的影响及芪葵颗粒干预机制的研究[D]. 南京:南京中医药大学,2020.
- [28] 邓斌. 中链甘油三酯对 2 型糖尿病患者胰岛素抵抗的影响[D]. 广州:中山大学,2006.
- [29] 赵丹,张婷婷,彭春秀,等. 普洱茶茶褐素对高糖饮食大鼠糖脂代谢关键酶及组织切片的影响[J]. 食品工业

- 科技,2019,40(15):298-303.
- [30] 沈纪中,柳航.高糖饮水诱导代谢综合征小鼠模型的实验研究[J].中国临床药理学与治疗学,2014,19(9):1011-1015.
- [31] FERNANDEZ M L, VERGARA - JIMENEZ M, CONDE K, et al. Dietary carbohydrate type and fat amount alter VLDL and LDL metabolism in guinea pigs[J]. J Nutr, 1996,126(10):2494-2504.
- [32] CALABRESE C, MYER S, MUNSON S, et al. A cross-over study of the effect of a single oral feeding of medium chain triglyceride oil vs. canola oil on post-ingestion plasma triglyceride levels in healthy men[J]. Altern Med Rev,1999,4(1):23-28.
- [33] 董继清,翁孝刚,钱莹.48例正常体重代谢性肥胖患者危险因素调查及其血脂水平与胰岛素抵抗关系分析[J].数理医药学杂志,2022,35(10):1528-1530.
- [34] TAKASE S, GODA T. Effects of medium-chain triglycerides on brush border membrane-bound enzyme activity in rat small intestine[J]. J Nutr,1990,120(9):969-976.
- [35] SCHMID K. 近视手册[M].西安:陕西科学技术出版社,2018:419.
- [36] LIM L S, GAZZARD G, LOW Y L, et al. Dietary factors, myopia, and axial dimensions in children[J]. Ophthalmology,2010,117(5):993-997.
- [37] PAN M, ZHAO F, XIE B, et al. Dietary ω -3 polyunsaturated fatty acids are protective for myopia [J/OL]. Proc Natl Acad Sci USA,2021,118(43):e2104689118[2022-12-02]. <https://doi.org/10.1073/pnas.2104689118>.
- [38] 邹悦,樊莹.IGF-1参与调控眼球生长的研究进展[J].国际眼科杂志,2012,12(7):1304-1307.
- [39] 史彩平,李毓敏,金姬,等.血清胰岛素样生长因子1及结合蛋白3在儿童近视眼中的表达及意义[J].眼科研究,2007(8):616-619.
- [40] BÖNI - SCHNETZLER M, SCHMID C, MEIER P J, et al. Insulin regulates insulin-like growth factor I mRNA in rat hepatocytes[J]. Am J Physiol,1991,260(6):E846-E851.
- [41] FRIEDRICH N, THUESEN B, JØRGENSEN T, et al. The association between IGF-I and insulin resistance: a general population study in Danish adults [J]. Diabetes Care,2012,35(4):768-773.
- [42] JEFFERY A N, METCALF B S, HOSKING J, et al. Age before stage: insulin resistance rises before the onset of puberty: a 9-year longitudinal study (EarlyBird 26) [J]. Diabetes Care,2012,35(3):536-541.
- [43] KINDLER J M, POLLOCK N K, LAING E M, et al. Insulin resistance negatively influences the muscle-dependent IGF-1-bone mass relationship in premenarcheal girls[J]. J Clin Endocrinol Metab,2016,101(1):199-205.
- [44] 徐青林,廖韵如,林丽霞,等.胰岛素对幼年豚鼠及远视性光学离焦幼年豚鼠眼球正视化发育的影响[J].中华眼视光学与视觉科学杂志,2014,16(6):345-349.
-
- (上接第44页)
- [4] KIM H, CHOE J H, CHOI J H, et al. Medium-chain enriched diacylglycerol (MCE-DAG) oil decreases body fat mass in mice by increasing lipolysis and thermogenesis in adipose tissue[J]. Lipids, 2017, 52(8):665-673.
- [5] 黄莉莉,苏宜香.甘油二酯的功能及安全性研究现状[J].国外医学:卫生学分册,2007(2):94-98.
- [6] TADA N, SHOJI K, TAKAKESHITA M, et al. Effects of diacylglycerol ingestion on postprandial hyperlipidemia in diabetes[J]. Clin Chim Acta, 2005, 353(1/2):87-94.
- [7] YAMAMOTO K, ASAKAWA H, TOKUNAGA K, et al. Long-term ingestion of dietary diacylglycerol lowers serum triacylglycerol in type II diabetic patients with hypertriglyceridemia[J]. J Nutr, 2001, 131(12):3204-3207.
- [8] ANIKSETTY M, KRISHNA A G G, PANNEERSELVAM V, et al. Diacylglycerol (DAG) rich rice bran and sunflower oils modulate lipid profile and cardiovascular risk factors in Wistar rats[J]. J Funct Foods, 2018(40):117-127.
- [9] TANG T K, BEH B K, ALITHEEN N B M, et al. Suppression of visceral adipose tissue by palm kernel and soy-canola diacylglycerol in C57BL/6N mice[J]. Eur J Lipid Sci Tech, 2013, 115(11):1266-1273.
- [10] ANASTASIOU C A, KAVOURAS S A, LENTZAS Y, et al. Diabetes mellitus is associated with increased intramyocellular triglyceride, but not diglyceride, content in obese humans[J]. Metabolism, 2009, 58(11):1636-1642.
- [11] YUTAKA M, HIDEAKI N, HIDEHIKO K, et al. Dietary diacylglycerol reduces postprandial hyperlipidemia and ameliorates glucose intolerance in Otsuka Long-Evans Tokushima Fatty (OLETF) rats [J]. Nutrition, 2005, 21(9):933-939.
- [12] 罗佳宪.大豆油基甘油二酯食用油的应用与生理功能研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [13] KRISTENSEN J B, XU X B, MU H L, et al. Diacylglycerol synthesis by enzymatic glycerolysis: screening of commercially available lipases[J]. J Am Oil Chem Soc, 2005, 82(5):329-334.
- [14] ZHONG N, LI L, XU X, et al. Production of diacylglycerols through low-temperature chemical glycerolysis[J]. Food Chem, 2010, 122(1):228-232.
- [15] 任运宏,孙博,刘晶,等.超临界体系酶法催化甘油解制备甘油二酯的研究[J].食品工业科技,2011,32(10):337-340.