·临床研究·

个体化低血糖指数高蛋白膳食对男性2型糖尿病糖脂代谢及体成分的影响

刘洋[1,2],张永[1],刘钊[1],刘英华[1*]

([1]中国人民解放军总医院第一医学中心营养科,北京 100853;[2]解放军医学院,北京 100853)

【摘 要】 目的 探讨智能系统的个体化低血糖指数(GI)高蛋白膳食对男性2型糖尿病患者糖脂代谢及体成分的改善作用,并与常规膳食指导进行对比分析。**方法** 选取2024年1月至2025年6月于解放军总医院第一医学中心营养科门诊就诊的2型糖尿病男性患者103例,根据膳食模式不同分为试验组(52例,采用智能个体化低GI高蛋白膳食模式)和对照组(51例,采用常规膳食指导)。试验组接受为期12周的智能个体化膳食干预,对照组接受同期常规膳食指导。比较两组干预前后人体测量指标、糖代谢指标、脂代谢指标及肝肾功能的变化,评估干预的安全性与有效性。采用SPSS 26.0软件进行数据分析。根据数据类型,组间比较分别采用t检验及χ^2检验。**结果** 共有103例患者完成研究,其中干预组患者52例,对照组患者51例。干预12周后,试验组体质量、腰围、臀围、体脂率均低于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。试验组空腹血糖[(6.18±0.95)mmol/L]、餐后2h血糖[(7.25±1.52)mmol/L]、糖化血红蛋白[(6.2±0.6)%]及空腹胰岛素[(6.48±2.53)mIU/L]均低于对照组[(7.25±1.03)mmol/L、(9.31±1.85)mmol/L、(7.1±0.6)%、(7.79±2.85)mIU/L],差异均有统计学意义($P<0.05$)。脂代谢方面,试验组甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇均低于对照组($P<0.05$),高密度脂蛋白胆固醇、血尿酸与对照组比较差异无统计学意义($P>0.05$)。肝肾功能方面,两组干预前后血肌酐、尿素氮比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),且均在正常参考范围内。**结论** 智能个体化低GI高蛋白膳食模式依托智能化系统实现了膳食干预的个体化调控,可改善男性2型糖尿病患者的糖脂代谢及体成分,短期应用安全,优于常规膳食指导,具有临床推广价值。

【关键词】 2型糖尿病;个体化营养;低血糖指数;高蛋白膳食;糖脂代谢;营养智能系统

【中图分类号】 R587.1;R459.3;R592 **【文献标志码】** A **【DOI】** 10.11915/j.issn.1671-5403.2026.08.117

Effects of individualized low-glycemic-index high-protein diet on glucose and lipid metabolism and body composition in male type 2 diabetes mellitus patients

Liu Yang[1,2], Zhang Yong[1], Liu Zhao[1], Liu Yinghua[1*]

([1]Department of Nutrition, First Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; [2]Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China)

【Abstract】 Objective To investigate the effects of an individualized low-glycemic-index (GI) high-protein diet based on an intelligent system on glucose and lipid metabolism and body composition in male patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM), and to compare it with conventional dietary guidance. **Methods** A total of 103 male outpatients with T2DM who visited Department of Nutrition of First Medical Center, Chinese PLA General Hospital from January 2024 to June 2025 were enrolled, and based on their dietary pattern, they were divided into a study group ($n=52$, receiving an intelligent individualized low-GI high-protein diet) and a control group ($n=51$, receiving conventional dietary guidance). The intervention lasted 12 weeks. Anthropometric indicators, glucose metabolism indicators, lipid metabolism indicators, and liver and kidney functions were compared between two groups to evaluate the safety and efficacy of the intervention. SPSS statistics 26.0 was used for statistical analysis. Data comparison between two groups was performed using t test or χ^2 test depending on data type. **Results** There were 103 patients completing the study, including 52 patients in the study group and 51 patients in the control group. After 12 weeks of intervention, body weight, waist circumference, hip circumference, and body fat percentage were significantly lower in the study group than the control group ($P<0.05$). The study group exhibited significantly lower

收稿日期: 2026-03-26; **接受日期**: 2026-06-03

基金项目: 军队保健专项科研课题(22BJZ20)

通信作者: 刘英华, E-mail: liuyinghua77@163.com

fasting blood glucose [(6.18±0.95) *vs* (7.25±1.03 mmol/L], 2-h postprandial blood glucose [(7.25±1.52) *vs* (9.31±1.85) mmol/L], glycated hemoglobin [(6.2±0.6)% *vs* (7.1±0.6)%], and fasting insulin [(6.48±2.53) *vs* (7.79±2.85) mIU/L] compared to the control group (all $P<0.05$). In terms of lipid metabolism, triglycerides, total cholesterol, and low-density lipoprotein cholesterol in the study group were all notably lower than those in the control group ($P<0.05$), while there were no statistically significant differences in high-density lipoprotein cholesterol or serum uric acid between two groups ($P>0.05$). In liver and kidney function, no obvious differences were observed in serum creatinine and blood urea nitrogen before and after intervention between two groups ($P>0.05$), and all values were within the normal reference ranges. **Conclusion** The intelligent individualized low-GI high-protein diet pattern achieves personalized regulation of dietary intervention through an intelligent system, and can improve glucose and lipid metabolism dcisorders and optimize body composition in male patients with T2DM. It is safe for short-term application, superior to conventional dietary guidance, and has clinical promotion value.

【Key words】 type 2 diabetes mellitus; individualized nutrition; low-glycemic-index; high-protein diet; glucose-lipid metabolism; intelligent nutrition system

This work was supported by the Special Scientific Research Project for Military Healthcare (22BJZ20).

Corresponding author: *Liu Yinghua*, *E-mail*: *liuyinghua77@163.com*

2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus,T2DM)是全球高发的慢性代谢性疾病[1],其核心病理生理改变为胰岛素抵抗和糖脂代谢紊乱,膳食干预是 T2DM 综合管理的基石[2]。传统膳食干预多采用常规口头指导,未聚焦低血糖指数(glycemic index, GI)饮食模式,缺乏个体化适配性,导致干预效果参差不齐[3]。低 GI 膳食可平稳餐后血糖,高蛋白膳食能增加饱腹感、维持体成分平衡[4],而智能个体化低 GI 高蛋白膳食模式将两者优势结合,依托智能化系统实现膳食方案的个体化生成。本研究依托自主研发的个体化营养智能系统 V1.0,构建智能个体化低 GI 高蛋白膳食干预方案,以 T2DM 男性患者为研究对象,以未采用低 GI 饮食模式的患者为对照,探讨该模式对糖脂代谢及体成分的改善作用,为 T2DM的个体化营养干预提供临床依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

招募 2024 年 1 月至 2025 年 6 月于解放军总医院第一医学中心营养科门诊就诊的 T2DM 男性患者 110 例。纳入标准:符合《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》T2DM 诊断标准[5];年龄 45~70 岁;入组前降糖药物方案稳定≥3 个月,干预期间保持不变;能够配合膳食干预及 12 周随访,临床资料完整;签署知情同意书。排除标准:严重心脑血管疾病、肝肾功能不全[血肌酐(serum creatinine, SCr)>133 μmol/L或尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)>10 mmol/L]、恶性肿瘤;精神疾病、吞咽困难或无法配合饮食记录;对推荐食物过敏;合并免疫系统疾病、慢性病急性发病等。本研究经中国人民解放军总医院医学伦理委员会批准(批件号:KY-2024-012-01),所有患者均签署知情同意书。研究符合《赫尔辛基宣言》。

1.2 方法

1.2.1 分组及单性别入组依据 采用随机对照试验设计,将入组 T2DM 男性患者随机分为试验组和对照组。仅纳入男性患者基于以下考虑:(1)消除性别混杂因素,女性雌激素水平随生理周期及年龄变化,可调节胰岛素及体脂分布[6],干扰糖脂代谢及体成分指标;(2)男性体脂率、肌肉量、基础代谢率个体差异相对较小,脂肪多分布于腹腔(中心性肥胖),与 T2DM 胰岛素抵抗关系更稳定[7];(3)男性饮食行为及依从性受外界因素影响模式相对统一,可减少执行偏倚。

1.2.2 干预措施 两组患者均接受为期 12 周的膳食干预,干预期间降糖药物方案保持不变,均接受常规糖尿病健康教育(饮食、运动及血糖监测)。(1)试验组。智能个体化低 GI 高蛋白膳食干预。由营养师通过个体化营养智能系统 V1.0 为每位患者制定个体化膳食方案,核心原则如下。①能量摄入:根据系统计算的基础代谢率,每日能量摄入控制在 1 600~1 900 kCal,避免过度限能量导致代谢率下降;②蛋白质摄入:每天 1.2~1.5 g/kg,优先选择乳清蛋白、鱼虾、瘦肉及豆制品等优质蛋白,占总能量的 20%~25%;③碳水化合物摄入:选择 GI<55 的低 GI 食物(燕麦、荞麦、杂豆、新鲜蔬菜等),占总能量的 40%~50%,严格控制精制糖、白米及白面等精制碳水;④脂肪摄入:以不饱和脂肪酸为主(橄榄油、坚果、深海鱼),占总能量的 25%~30%,限制饱和脂肪和反式脂肪;⑤功能性营养素强化:每日膳食纤维 25~30 g、钙 1 000~1 200 mg、维生素 D 10~15 μg,限制钠盐(<5 g/d)和嘌呤摄入。(2)对照组。常规膳食干预。采用临床常规的膳食干预方案,由营养师基于《中国居民膳食指南》进行口头指导,核心原则:

每日能量摄入1 800~2 000 kCal,蛋白质1.0 g/kg,碳水化合物占总能量的55%~65%(未限定GI值),脂肪占总能量的25%~30%,仅强调"均衡饮食、少吃甜食、控制主食量",未进行个体化营养素配比、低GI食物推荐,仅每月1次门诊随访。

1.2.3 观察指标 分别于干预前(基线)和干预12周后采集两组患者以下指标。人体测量由经培训的专业人员完成,实验室检测由对分组情况不知情的检验人员采用盲法完成。(1)一般资料。收集患者基本信息,包括性别、年龄、主要诊断(T2DM及其并发症或病程分期)及降糖药物方案。(2)人体测量与体成分指标。采用电子身高计测量身高,电子体质量计测量体质量,软尺测量腰围及臀围(股骨大转子最高点),计算腰臀比。采用生物电阻抗法(BC-420型体脂仪)测定体脂率。采用标准电子血压计测量血压(收缩压/舒张压)。(3)糖代谢指标。采用葡萄糖氧化酶法测定空腹血糖(fasting plasma glucose,FPG)及餐后2 h血糖(2-hour postprandial plasma glucose,2hPG);采用高效液相色谱法测定糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin Alc,HbA1c)。(4)脂代谢指标。采用酶法(全自动生化分析仪,贝克曼AU5800)测定甘油三酯(triglyceride,TG)、总胆固醇(total cholesterol,TC)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol,HDL-C)及低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol,LDL-C)。采用尿酸酶法测定血尿酸(uric acid,UA)。所有标本检测执行ISO15189质控标准。(5)肝肾功能指标。采用全自动生化分析仪(贝克曼AU5800)测定SCr和BUN。

1.2.4 质量控制 对研究团队(营养师、数据管理)人员进行统一培训,使其熟练掌握研究方案、智能系统操作流程及饮食日记审核规范,能够准确、及时、完整地填写病例报告表(case report form,CRF),并由专人负责数据核对与录入,确保临床数据的可靠性和有效性。若患者未遵循膳食指导、未按时上传饮食日记、无法完成随访或未完成检测内容,视为依从性差,予以退出研究。

1.2.5 智能个体化营养系统NutriGAT 本研究针对2型糖尿病患者设计了一套智能个体化营养系统,旨在智能化地从患者多维度临床数据到个性化膳食处方的端到端自动化生成。主要包含三个核心模块:智能临床特征图构建模块、智能营养素预测模块与智能食谱生成模块。首先通过构建临床特征图,将患者数据结构化;接着基于图注意力网络预测21种营养素推荐量;最后,通过食谱生成网络输出14类食物用量,并经过营养一致性校验,符合指南,生成个性化膳食推荐方案。

1.3 统计学处理

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用t检验;计数资料用例数(百分率)表示,采用χ^2检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者基线资料

本研究初始共纳入T2DM男性患者110例,其中试验组55例、对照组55例。12周干预及随访过程中,试验组脱落3例(依从性不足2例、自行更改饮食方案1例),对照组脱落4例(主动退出2例、失联失访2例)。最终完成全程干预及指标检测共103例,其中试验组52例、对照组51例。所有完成研究的受试者膳食干预依从性良好,均按要求完成饮食记录与月度随访。同时,干预期间日常体力活动水平无明显波动、保持基本恒定。两组患者年龄、糖尿病病程、身高、体脂率及各项代谢指标比较,差异均无统计学意义($P>0.05$;表1)。

表1 两组2型糖尿病男性患者基线资料比较

Table 1 Comparison of baseline characteristics between two groups of male T2DM patients ($\bar{x}\pm s$)

Group	n	Age(years)	T2DM duration(years)	Height(cm)	Body fat(%)	FPG(mmol/L)	2hPG(mmol/L)	HbA1c(%)
Trial	52	57.4±5.1	6.7±3.4	173.0±6.7	26.7±4.1	7.82±1.23	10.51±2.08	7.5±0.8
Control	51	57.9±4.8	6.9±3.2	172.6±7.0	26.9±3.9	7.88±1.16	10.59±2.01	7.6±0.7
t		0.53	0.39	0.28	0.30	0.27	0.21	0.59
P value		0.600	0.700	0.777	0.767	0.791	0.831	0.558
Group	n	TG(mmol/L)	TC(mmol/L)	HDL-C(mmol/L)	LDL-C(mmol/L)	Vitamin D(ng/mL)	SCr(μmol/L)	BUN(mmol/L)
Trial	52	2.13±0.87	5.34±0.90	1.11±0.22	3.43±0.76	21.3±5.6	82.3±15.1	5.5±1.1
Control	51	2.18±0.84	5.39±0.86	1.09±0.24	3.48±0.73	21.6±5.4	82.8±14.6	5.6±1.0
t		0.29	0.28	0.43	0.35	0.28	0.19	0.42
P value		0.770	0.779	0.666	0.729	0.783	0.853	0.676

T2DM: type 2 diabetes mellitus; FPG: fasting plasma glucose; 2hPG: 2-hour postprandial glucose; HbA1c: glycosylated hemoglobin Alc; TG: triglyceride; TC: total cholesterol; HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C: low-density lipoprotein cholesterol; SCr: serum creatinine; BUN: blood urea nitrogen.

2.2 两组患者干预前后人体测量指标比较

干预前,两组患者体质量、腰围、臀围、体脂率、BMI 比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);干预12 周后,试验组体质量、腰围、臀围、体脂率、BMI 均低于对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$;表 2)。

2.3 两组患者干预前后糖代谢指标比较

干预前,两组患者 FPG、2hPG、HbA1c、FINS 比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);干预 12 周后,试验组 FPG、2hPG、HbA1c、FINS 均低于对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$;表 3)。

2.4 两组患者干预前后脂代谢指标比较

干预前,两组患者 TG、TC、HDL-C、LDL-C、UA 比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。干预 12 周后,试验组患者 TG、TC、LDL-C 低于对照组,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);两组患者 HDL-C 和 UA 水平比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$;表 4)。

2.5 两组患者干预前后肝肾功能指标比较

干预前和干预后,两组患者 SCr、BUN 水平比较,差异均无统计学意义($P>0.05$;表 5);且所有指标均在临床正常参考范围内,提示两种膳食干预模式对 T2DM 男性患者的肝肾功能均无不良影响,干预安全性良好。

表 2 两组 2 型糖尿病男性患者干预前后人体测量指标比较

Table 2 Comparison of anthropometric indicators before and after intervention between two groups of male T2DM patients

($\bar{x}\pm s$)

Group	n	Weight(kg)		WC(cm)		HC(cm)		Body fat(%)		BMI	
		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Trial	52	73.70±2.64	69.52±3.34	89.41±3.11	83.91±2.00	98.35±4.79	93.39±3.63	24.15±2.14	20.37±1.56	24.46±0.88	23.99±0.94
Control	51	73.00±9.98	73.88±9.86	88.40±7.48	88.06±7.12	96.45±15.22	98.21±5.14	23.20±5.54	23.43±4.96	24.28±3.32	24.57±3.28
t		0.48	−3.02	0.90	−4.05	0.86	−5.50	1.15	−4.19	0.35	−3.15
P value		0.629	0.003	0.372	<0.001	0.394	<0.001	0.255	<0.001	0.727	0.002

T2DM: type 2 diabetes mellitus; WC: waist circumference; HC: hip circumference; BMI: body mass index.

表 3 两组 2 型糖尿病男性患者干预前后糖代谢指标比较

Table 3 Comparison of glucose metabolism indicators before and after intervention between two groups of male T2DM patients

($\bar{x}\pm s$)

Group	n	FPG(mmol/L)		2hPG(mmol/L)		HbA1c(%)		FINS(mIU/L)	
		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Trial	52	7.82±1.23	6.18±0.95	10.51±2.08	7.25±1.52	7.5±0.8	6.2±0.6	8.92±3.08	6.48±2.53
Control	51	7.88±1.16	7.25±1.03	10.59±2.01	9.31±1.85	7.6±0.7	7.1±0.6	8.98±3.04	7.79±2.85
t		0.27	5.40	0.21	6.12	0.66	7.53	0.10	2.46
P value		0.789	<0.001	0.841	<0.001	0.508	<0.001	0.921	0.015

T2DM: type 2 diabetes mellitus; FPG: fasting plasma glucose; 2hPG: 2-hour postprandial glucose; HbA1c: glycosylated hemoglobin Alc; FINS: fasting insulin.

表 4 两组 2 型糖尿病男性患者干预前后脂代谢指标比较

Table 4 Comparison of lipid metabolism indicators before and after intervention between two groups of male T2DM patients

($\bar{x}\pm s$)

Group	n	TG(mmol/L)		TC(mmol/L)		HDL-C(mmol/L)		LDL-C(mmol/L)		UA(μmol/L)	
		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Trial	52	2.13±0.14	1.76±0.68	5.34±0.90	4.80±0.78	1.11±0.22	1.17±0.27	3.43±0.76	3.04±0.68	384.5±64.8	358.0±50.0
Control	51	2.18±0.84	2.00±0.78	5.39±0.86	5.15±0.82	1.09±0.24	1.10±0.22	3.48±0.73	3.32±0.71	387.9±63.2	376.0±54.2
t		−0.30	−2.08	−0.29	−2.22	0.44	1.61	0.35	−2.06	−0.40	−1.75
P value		0.767	0.041	0.774	0.029	0.660	0.110	0.734	0.042	0.687	0.082

T2DM: type 2 diabetes mellitus; TG: triglyceride; TC: total cholesterol; HDL-C: high-density lipoprotein cholesterol; LDL-C: low-density lipoprotein cholesterol; UA: uric acid.

表5 两组2型糖尿病男性患者干预前后肝肾功能指标比较

Table 5 Comparison of liver and renal function indicators before and after intervention between two groups of male T2DM patients ($\bar{x}\pm s$)

Group	n	SCr(μmol/L)		BUN(mmol/L)	
		Before	After	Before	After
Trial	52	82.3±15.1	80.1±14.6	5.5±1.1	5.3±1.0
Control	51	82.8±14.6	82.2±14.3	5.6±1.0	5.5±0.9
t		0.19	0.14	0.42	0.15
P value		0.85	0.32	0.68	0.28

T2DM: type 2 diabetes mellitus; SCr: serum creatinine; BUN: blood urea nitrogen.

3 讨 论

本研究依托自主研发的个体化营养智能系统NutriGAT,构建并验证了智能个体化低GI高蛋白膳食模式对男性T2DM患者的干预效果。与常规膳食指导相比,该模式在改善糖脂代谢、优化体成分方面均展现出更优的效果,且短期应用安全性良好,为T2DM的个体化营养管理提供了新的临床方案。

传统膳食指导多基于通用原则进行口头建议,欠缺对患者个体基础代谢、体成分、血糖波动规律及饮食习惯差异的考量,导致干预效果参差不齐[3]。本研究采用的个体化营养智能系统通过整合营养数据库、临床指南及食谱资源,构建了食材、营养素、疾病与膳食方案之间的关联体系,并结合饮食记录与随访信息动态调整膳食处方[8]。本研究结果显示,试验组体质量、腰围及体脂率均低于对照组,提示智能系统对能量摄入的精准控制及个体化配比常规口头指导更有效地促进了体成分改善。腰围的显著下降进一步验证了该干预对中心性肥胖的靶向改善效果,而男性体脂多分布于腹腔,与T2DM胰岛素抵抗的关系更为稳定,这也部分解释了为何本研究中体成分改善与糖代谢获益同步出现[9]。

本研究结果显示,在糖代谢方面,试验组FPG、2hPG、HbA1c及空腹胰岛素均低于对照组。这一改善可归因于低GI碳水化合物与适度高蛋白的协同效应。燕麦、荞麦、杂豆等低GI食物所含复合碳水化合物与膳食纤维能够延缓α-淀粉酶对淀粉的分解速度,避免餐后血糖急剧升高;同时,膳食纤维中的抗性糊精和β-葡聚糖可增加肠道内容物黏度、延长胃排空时间,并经肠道菌群发酵生成短链脂肪酸,进一步改善胰岛素灵敏性[10]。此外,适量的高蛋白摄入可增强饱腹感、减少总能量摄入,同时通过增加餐后氨基酸浓度刺激胰岛素分泌,有助于平稳基础血糖[11]。值得注意的是,空腹胰岛素的下降提示该膳食模式可能在一定程度上减轻了胰岛β细胞的分泌负荷,间接反映了胰岛素灵敏性的改善。

本研究结果显示,在脂代谢方面,试验组TG、TC及LDL-C均低于对照组,而HDL-C与UA两组间差异无统计学意义。前者的改善可能与以下机制有关:低GI食物可减少肝脏内脂肪酸合成底物的供给,进而降低TG和LDL-C的生成[9];橄榄油和深海鱼来源的ω-3不饱和脂肪酸可抑制肝脏TG合成酶活性,促进脂肪酸β-氧化[12]。然而,HDL-C未能显著升高,这可能与本研究干预周期较短(12周)有关——HDL-C的代谢调节通常需要更长的时间才能充分显现;此外,膳食中二十二碳六烯酸与二十碳五烯酸的配比比例也可能影响其升高HDL-C的效能[13,14]。UA水平两组间无显著差异,可能源于以下相互抵消的效应:本膳食方案虽限制高嘌呤动物内脏及海鲜摄入,但适度增加了总蛋白质总量,乳清蛋白和豆制品中的某些成分可能促进尿酸排泄,两者作用此消彼长;同时,本组人群基线UA处于正常范围上限,进一步改善的空间相对有限。上述阴性结果提示,该膳食模式对血脂亚组分和尿酸代谢的调控作用有限,未来可考虑针对不同脂质表型(如高TG血症亚型、高尿酸血症亚型)进行分层分析。

本研究结果显示,安全性方面,两组患者干预前后的SCr、BUN均处于正常参考范围且无统计学意义,与既往高蛋白饮食研究结果一致[15],提示本方案在男性T2DM患者中短期应用未增加肾脏代谢负担。然而,对于已合并早期糖尿病肾病的患者,高蛋白(尤其是动物蛋白)摄入是否会加速肾小球滤过率下降,目前仍有争议,本研究的纳入标准已排除SCr>133 μmol/L或BUN>10 mmol/L者,因此结论不能直接外推至肾功能受损人群,后续研究应针对不同肾功能分期进行亚组安全性评估。

本研究仅纳入男性患者,旨在消除女性雌激素周期性波动对体脂分布及胰岛素灵敏性的混杂影响,提升内部效度。男性体脂多分布于腹腔(中心性肥胖),与T2DM胰岛素抵抗的关系更为稳定[13]。本研究中,干预后试验组腰围低于对照组,进一步验证了该干预对中心性肥胖的靶向改善效果。后续研究应纳入女性人群,结合生理周期和绝经状态构建性别特异性智能膳食模型,以完善T2DM个体化营养干预体系。

综上,本研究通过构建个体化低 GI 高蛋白膳食干预方案,实现了男性 T2DM 患者的糖脂代谢及体成分的改善,短期应用安全性良好,较常规膳食指导具有明显优势,为糖尿病营养治疗的精准化与智能化提供了循证依据。

本研究尚存在一定局限性:本研究为单中心研究,干预周期仅 12 周,该膳食模式长期干预对糖尿病肾病、神经病变等并发症的预防效果尚不明确,需要将随访周期延长至 12 个月以上;研究对象仅为男性,研究结论推广至女性仍有待验证;本研究未开展肠道菌群检测,难以深入阐释膳食调控代谢的分子机制;同时未采用多因素回归模型对年龄、糖尿病病程、用药类型等混杂因素进行校正。后续应开展多中心研究,纳入不同性别、不同病程的 T2DM 患者,结合连续血糖监测、肠道菌群测序等技术挖掘作用机制;进一步优化智能系统模型,纳入饮食偏好、烹饪条件等现实因素,兼顾血糖波动时的用药适配,提升膳食方案实用性与接受度,为代谢疾病个体化营养干预提供更充分的科学依据。

【参考文献】

[1] 刘月姣.《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》发布[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(12): 封 2. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9577.2020.12.001.

[2] 《中国老年 2 型糖尿病防治临床指南》编写组. 中国老年 2 型糖尿病防治临床指南(2022 年版)[J]. 中国糖尿病杂志, 2022, 30(1): 2-51. DOI: 10.3969/j.issn.1006-6187.2022.01.002.

[3] 卫星, 孙萍. 高蛋白饮食体质量管理模式对超重/肥胖病人代谢指标的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2023, 21(20): 3840-3843. DOI: 10.12102/j.issn.1672-1349.2023.20.032.

[4] 江波, 邹大进, 马向华, 等. 生酮饮食干预 2 型糖尿病中国专家共识(2019 年版)[J]. 实用临床医药杂志, 2019, 23(3): 1-6. DOI: 10.7619/jcmp.201903001.

[5] 张辉, 李泱, 刘传斌. 钠-葡萄糖共转运蛋白 2 抑制剂在老年 2 型糖尿病合并常见心血管疾病中的应用进展[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2024, 23(8): 624-627. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2024.08.138.

[6] Sacharidou A, Chambliss K, Peng J, *et al*. Endothelial ERα promotes glucose tolerance by enhancing endothelial insulin transport to skeletal muscle[J]. Nature Communications, 2023, 14(1): 4989. DOI: 10.1038/s41467-023-40562-w.

[7] Nagano T, Higashimura Y, Nakano M, *et al*. High-viscosity dietary fibers modulate gut microbiota and liver metabolism to prevent obesity in high-fat diet-fed mice[J]. Int J Biol Macromol, 2025, 298: 139962. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.139962.

[8] 杨伟, 吕龙峰, 杨凯, 等. 基于智慧医疗的老年糖尿病病房的管理现状与挑战[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2025, 24(10): 798. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2025.10.169.

[9] 李蔼琪, 夏惠, 孙桂菊. 低血糖生成指数饮食在 2 型糖尿病营养管理中的研究进展及应用现状[J]. 食品科学, 2024, 45(11): 343-350.

[10] Zöchling A, Séneca J, Pjevac P, *et al*. Comparative analysis of dietary fiber impact on bile acid metabolism and gut microbiota composition in mice[J]. NPJ Gut Liver, 2025, 2(1): 26. DOI: 10.1038/s44355-025-00041-z.

[11] Rodrigo-Carbó C, Madinaveitia-Nisarre L, Pérez-Calahorra S, *et al*. Low-calorie, high-protein diets, regardless of protein source, improve glucose metabolism and cardiometabolic profiles in subjects with prediabetes or type 2 diabetes and overweight or obesity[J]. Diabetes Obes Metab, 2025, 27(1): 268-279. DOI: 10.1111/dom.16013.

[12] 罗娜. Omega-3 多不饱和脂肪酸在高脂血症中的作用机制研究进展[J]. 中国油脂, 2020, 45(7): 97-101.

[13] Pasiakos SM, Cao JJ, Margolis LM, *et al*. Effects of high-protein diets on fat-free mass and muscle protein synthesis following weight loss: a randomized controlled trial[J]. FASEB J, 2013, 27(9): 3837-3847. DOI: 10.1096/fj.13-230227.

[14] 姜一逸, 杨燕, 杨中书, 等. 2 型糖尿病患者血糖控制情况与身体成分及血脂的关系[J]. 江苏医药, 2025, 51(10): 989-994. DOI: 10.19460/j.cnki.0253-3685.2025.10.004.

[15] Xia Y, Wang Y, Cui M, *et al*. Efficacy of omega-3 fatty acid supplementation on cardiovascular risk factors in patients with polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis[J]. Ann Palliat Med, 2021, 10(6):6425-6437. DOI: 10.21037/apm-21-1050.

(编辑: 温玲玲)