

【DOI】 10.3969 / j.issn.1671-6450.2026.03.001

糖尿病专题

益生菌联合有氧运动对肥胖型 2 型糖尿病合并代谢综合征患者代谢及心肺功能的影响

王伟, 兰丽珍, 刘敏, 杜瑞

基金项目: 山西省卫健委科研课题计划项目(2021127)

作者单位: 030000 太原 山西医科大学第一医院全科

通信作者: 兰丽珍, E-mail: 773009653@qq.com



【摘要】 目的 探讨有氧运动联合益生菌对肥胖型 2 型糖尿病合并代谢综合征(T2DM-MS)患者代谢及心肺功能的影响。方法 选取 2022 年 8 月—2024 年 8 月山西医科大学第一医院全科收治的肥胖型 T2DM-MS 患者 160 例为研究对象,根据随机数字表法分为研究组(有氧运动联合益生菌)和对照组(益生菌),每组各 80 例,均进行相应干预 12 周。比较 2 组治疗前后相关临床资料、血糖指标、代谢指标、肺功能、心功能变化情况。结果 治疗 12 周后,研究组腰围、BMI、收缩压、舒张压均低于对照组($t/P=2.260/0.025, 2.613/0.010, 2.279/0.024, 2.195/0.030$);研究组空腹血糖(FPG)、餐后 2 小时血糖(2hPG)、糖化血红蛋白(HbA_{1c})水平均低于对照组($t/P=5.128/<0.001, 4.727/<0.001, 3.499/0.001$);研究组总胆固醇(TC)、三酰甘油(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)低于对照组,高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)高于对照组($t/P=2.235/0.027, 3.292/<0.001, 4.997/<0.001, 2.412/0.017$);研究组肺活量(FVC)、第 1 秒用力呼气容积(FEV_1)、最大自主通气量(MVV)均高于对照组($t/P=3.467/0.001, 13.949/<0.001, 20.515/<0.001$);研究组左心室射血分数(LVEF)高于对照组,左心室舒张末期内径(LVEDD)、左心室收缩末期内径(LVESD)低于对照组($t/P=4.493/<0.001, 4.625/<0.001, 7.516/<0.001$)。结论 有氧运动联合益生菌可显著改善肥胖型 T2DM-MS 患者的糖脂代谢指标和心肺功能,为该病的综合干预提供了新的思路。

【关键词】 2 型糖尿病; 代谢综合征; 肥胖; 有氧运动干预; 益生菌; 糖脂代谢; 心肺功能; 疗效

【中图分类号】 R587.1; R589

【文献标识码】 A

Effects of probiotics combined with aerobic exercise on metabolism and cardiopulmonary function in obese type 2 diabetes patients Wang Wei, Lan Lizhen, Liu Min, Du Rui. Department of General Practice, First Hospital of Shanxi Medical University, Shanxi, Taiyuan 030000, China

Funding program: Research Project of Shanxi Provincial Health Commission (2021127)

Corresponding author: Lan Lizhen, E-mail: 773009653@qq.com

【Abstract】 Objective This study aims to explore the effects of aerobic exercise intervention combined with probiotics on metabolic indicators and cardiopulmonary function in obese patients with type 2 diabetes mellitus and metabolic syndrome (T2DM-MS). **Methods** From August 2022 to August 2024, 163 T2DM-MS patients who visited the Department of General Practice at First Hospital of Shanxi Medical University were assigned into a test group (aerobic exercise intervention combined with probiotics) and a control group (probiotics alone) using a random number table method, with 80 patients in each group. The changes in clinical parameters, blood glucose indicators, metabolic indicators, lung function, and heart function were compared between the two groups. **Results** After treatment, waist circumference and blood pressure decreased in both groups, with the test group showing significantly lower values than the control group ($t/P=2.260/0.025, 2.613/0.010, 2.279/0.024, 2.195/0.030$). There was no significant change in BMI in the control group before and after treatment ($P>0.05$), while BMI in the test group decreased and was significantly lower than that in the control group ($t/P=1.988/0.049$). FPG, HbA_{1c} , and 2hPG decreased in both groups after treatment, with significantly lower levels in the test group compared to the control group ($t/P=5.128/<0.001, 4.727/<0.001, 3.499/0.001$). After treatment, TC, TG, and LDL-C in the test group decreased and were significantly lower than those in the control group ($t/P=2.235/0.027, 3.292/<0.001, 4.997/<0.001$), while HDL-C levels increased and were significantly higher than those in the control group ($t/P=2.412/0.017$). After treatment, forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV_1), and maximum voluntary ventilation (MVV) in the test group

increased and were significantly higher than those in the control group. No statistically significant differences were observed in these pulmonary function indicators in the control group before and after intervention. After treatment, left ventricular ejection fraction (LVEF) in the test group increased (and was significantly higher than that in the control group), while left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD) and left ventricular end-systolic diameter (LVESD) decreased (and were significantly lower than those in the control group). Compared with before intervention, no statistically significant differences were observed in various cardiac function indicators in the control group. **Conclusion** Aerobic exercise intervention combined with probiotics can significantly improve glucose and lipid metabolism indicators and cardiopulmonary function in patients with T2DM-MS, providing new insights for comprehensive intervention of this disease.

【Key words】 Type 2 diabetes mellitus; Metabolic syndrome; Obesity; Aerobic exercise intervention; Probiotics; Glucose and lipid metabolism; Cardiopulmonary function; Therapeutic effect

肥胖 2 型糖尿病合并代谢综合征(type 2 diabetes mellitus with metabolic syndrome ,T2DM-MS) 是一种以肥胖、胰岛素抵抗、糖脂代谢紊乱和心血管疾病风险增加为特征的复杂疾病,近年来发病率不断上升,严重影响患者的生活质量和生存期,并给社会带来了沉重的经济负担^[1-2]。T2DM-MS 的治疗主要依赖药物、饮食及生活方式调整。药物虽能控制血糖等指标,但长期使用存在不良反应,且无法根治;而饮食和生活方式干预则常因患者依从性差,难以达到预期疗效^[3]。有氧运动在 T2DM 治疗中有助于控制体质量,并能改善心肺功能^[4]。动物研究表明,有氧运动可以改善糖尿病大鼠的胰岛素抵抗、心肺功能等^[5]。此外,益生菌可以改善 T2DM 患者的代谢指标和炎症反应^[6]。研究显示,益生菌能够降低患者的血糖、血脂水平,改善胰岛素抵抗,降低炎症反应,从而有效控制 T2DM-MS^[7]。然而,目前关于有氧运动干预联合益生菌对肥胖型 T2DM-MS 的治疗作用研究较少。本研究旨在探讨有氧运动干预联合益生菌对肥胖型 T2DM-MS 患者代谢及心肺功能的影响,以期为肥胖型 T2DM-MS 的综合干预提供理论依据,报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料 选取 2022 年 8 月—2024 年 8 月山西医科大学第一医院全科收治的肥胖型 T2DM-MS 患者 160 例为研究对象,根据随机数字表法分为研究组(有氧运动干预联合益生菌)和对照组(益生菌),每组各 80 例。对照组:男 45 例,女 35 例;年龄 45~70(57.81±9.42)岁;T2DM 病程 7~12(9.56±1.55)年;吸烟史 37 例,饮酒史 33 例;T2DM 家族史 3 例;高血压 46 例。研究组:男 43 例,女 37 例;年龄 47~71(58.89±9.52)岁;T2DM 病程 7~12(9.28±1.41)年;吸烟史 42 例,饮酒史 30 例;T2DM 家族史 2 例;高血压 50 例。2 组基线资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。本研究已获得医院伦理委员会批准(2022010017),患者和/或家属知情同意并签署知情

同意书。

1.2 病例选择标准 (1) 纳入标准:①符合 T2DM 的诊断标准^[8];②符合中华医学会糖尿病学分会关于 MS 的诊断标准^[9];③BMI ≥ 28 kg/m²;④入选前 6 周末服用益生菌制剂,入院前 2 周末使用抗生素药物。(2) 排除标准:①1 型糖尿病、妊娠期糖尿病、继发性糖尿病等;②严重的肝肾功能障碍;③严重的心血管疾病、呼吸系统疾病等;④消化系统疾病,如炎症肠病、肠梗阻等;⑤免疫系统疾病;⑥患有精神疾病或认知功能障碍;⑦严重肢体伤残患者。

1.3 治疗方法 2 组患者于入院后均接受常规治疗:饮食控制、降糖药物等。对照组患者在常规治疗的基础上加用益生菌(杭州远大生物制药有限公司,规格 0.5 g/片) 3 片/次,3 次/d,连续服用 12 周。研究组患者在常规治疗的基础上接受有氧运动干预和益生菌治疗,益生菌剂量及服用方法同对照组,根据患者的年龄、体质和病情制定有氧运动方案,包括快走和慢跑,运动强度为中等强度,运动时间 30~60 min/次,每周至少 5 次,在运动前后分别进行以静态拉伸和动态拉伸为主的热身、放松活动各 10 min,持续干预 12 周。

1.4 观测指标与方法

1.4.1 相关临床资料收集:记录患者治疗前后腰围、BMI 与血压(收缩压、舒张压)等^[10]。

1.4.2 血糖指标检测:于治疗前后采集患者清晨空腹肘静脉血 5 ml,离心留取血清储存在 -70℃ 环境中待测。使用 NP6 血糖仪(Novo Nordisk,货号:1013154)检测空腹血糖(FPG)、餐后 2 小时血糖(2hPG)水平,使用免疫比浊法检测糖化血红蛋白(HbA_{1c})水平。

1.4.3 血脂指标检测:上述血清,使用全自动生化分析仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司,型号 iChem-540)检测三酰甘油(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平。

1.4.4 肺功能检查:治疗前后使用肺功能仪(COSMED

公司 型号: Pony FX) 测量肺活量(FVC)、第 1 秒用力呼气容积(FEV₁)和最大自主通气量(MVV)^[11]。

1.4.5 心功能检查: 治疗前后使用日本制造的 Aloka-SSD71 型心脏超声波设备来评估心脏功能, 包括左心室射血分数(LVEF)、左心室舒张末期径(LVEDD)、左心室收缩末期径(LVESD)^[11]。

1.5 统计学方法 采用 SPSS 25.00 软件统计分析数据。计数资料以频数或构成比(%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验; 符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 2 组间比较采用独立样本 *t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 组治疗前后相关临床资料比较 治疗前, 2 组腰围、BMI、收缩压、舒张压比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 治疗 12 周后, 研究组腰围、BMI、收缩压、舒张压均低于对照组 ($P < 0.05$), 见表 1。

2.2 2 组治疗前后血糖指标比较 治疗前, 2 组 FPG、2hPG、HbA_{1c} 水平比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 治疗 12 周后, 2 组 FPG、2hPG、HbA_{1c} 水平均较治疗前降低, 且研究组低于对照组 ($P < 0.01$), 见表 2。

2.3 2 组治疗前后血脂指标比较 治疗前, 2 组 TC、TG、LDL-C、HDL-C 水平比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 治疗 12 周后, 研究组 TC、TG、LDL-C 低于治疗前, HDL-C 高于治疗前, 且研究组低于/高于对照组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 见表 3。

2.4 2 组治疗前后肺功能比较 治疗前, 2 组 FVC、

FEV₁、MVV 比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 治疗 12 周后, 研究组 FVC、FEV₁、MVV 均较治疗前升高, 且研究组高于对照组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 见表 4。

表 2 对照组与研究组肥胖型 T2DM-MS 患者治疗前后血糖指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of blood glucose indicators between control group and study group in obese patients with T2DM-MS

组别	时间	FPG (mmol/L)	2hPG (mmol/L)	HbA _{1c} (%)
对照组 (n=80)	治疗前	8.08±1.29	10.63±2.52	6.03±1.09
	治疗后	6.44±1.17	9.14±1.67	5.64±1.12
研究组 (n=80)	治疗前	7.92±1.24	10.51±1.66	6.04±1.14
	治疗后	5.55±1.02	8.05±1.21	5.05±1.01
t/P 对照组内值		8.423 / <0.001	4.408 / <0.001	2.232 / 0.027
t/P 研究组内值		13.202 / <0.001	10.711 / <0.001	5.814 / <0.001
t/P 治后组间值		5.128 / <0.001	4.727 / <0.001	3.499 / 0.001

表 4 对照组与研究组肥胖型 T2DM-MS 患者治疗前后肺功能比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.4 Comparison of lung function indicators between control group and study group in obese patients with T2DM-MS

组别	时间	FVC (L)	FEV ₁ (L)	MVV (L/min)
对照组 (n=80)	治疗前	2.62±0.55	1.78±0.12	70.02±1.63
	治疗后	2.68±0.54	1.82±0.14	70.46±1.65
研究组 (n=80)	治疗前	2.59±0.53	1.75±0.10	69.71±1.82
	治疗后	2.99±0.59	2.14±0.15	75.96±1.74
t/P 对照组内值		0.696 / 0.487	1.940 / 0.054	1.697 / 0.092
t/P 研究组内值		4.551 / <0.001	19.349 / <0.001	22.201 / <0.001
t/P 治后组间值		3.467 / 0.001	13.949 / <0.001	20.515 / <0.001

表 1 对照组与研究组肥胖型 T2DM-MS 患者临床资料比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Comparison of clinical data between control group and study group in obese with T2DM-MS patients

组别	时间	腰围 (cm)	BMI (kg/m ²)	收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)
对照组 (n=80)	治疗前	92.53±9.86	28.56±3.12	137.26±15.17	80.39±9.45
	治疗后	88.34±9.22	28.35±3.08	129.47±14.38	71.32±8.06
研究组 (n=80)	治疗前	92.14±9.91	28.03±3.01	136.87±15.04	79.45±9.13
	治疗后	85.05±9.19	27.09±2.97	124.34±14.09	68.56±7.84
t/P 对照组内值		2.776 / 0.006	0.428 / 0.669	3.333 / 0.001	6.532 / <0.001
t/P 研究组内值		4.692 / <0.001	1.988 / 0.049	5.438 / <0.001	8.094 / <0.001
t/P 治后组间值		2.260 / 0.025	2.613 / 0.010	2.279 / 0.024	2.195 / 0.030

表 3 对照组与研究组肥胖型 T2DM-MS 患者治疗前后代谢指标比较 ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)

Tab.3 Comparison of blood lipid metabolism indicators between control group and study group in obese patients with T2DM-MS

组别	时间	TC	TG	LDL-C	HDL-C
对照组 (n=80)	治疗前	5.72±1.23	2.12±0.34	3.42±0.53	1.52±0.33
	治疗后	4.57±1.01	2.05±0.62	3.55±0.62	1.69±0.42
研究组 (n=80)	治疗前	5.77±1.16	2.18±0.39	3.28±0.55	1.56±0.27
	治疗后	4.22±0.97	1.74±0.57	3.04±0.67	1.86±0.47
t/P 对照组内值		6.463 / <0.001	0.885 / 0.377	1.426 / 0.156	2.847 / 0.005
t/P 研究组内值		9.168 / <0.001	5.698 / <0.001	2.476 / 0.014	4.950 / <0.001
t/P 治后组间值		2.235 / 0.027	3.292 / <0.001	4.997 / <0.001	2.412 / 0.017

2.5 2 组治疗前后心功能比较 治疗前 2 组 LVEF、LVEDD、LVESD 水平比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);治疗 12 周后,研究组 LVEF 高于治疗前, LVEDD、LVESD 低于治疗前,且研究组高于/低于对照组($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$) ,见表 5。

表 5 对照组与研究组肥胖型 T2DM-MS 患者治疗前后心功能比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.5 Comparison of cardiac function indicators between control group and study group in obese patients with T2DM-MS

组别	时间	LVEF(%)	LVEDD(mm)	LVESD(mm)
对照组 (n=80)	治疗前	59.21±9.42	52.34±8.29	40.63±6.05
	治疗后	60.17±9.44	50.98±8.27	39.14±5.89
研究组 (n=80)	治疗前	58.84±9.36	53.13±8.66	41.02±6.11
	治疗后	67.41±10.89	45.32±7.17	32.51±5.25
t/P 对照组内值		0.644/0.521	1.039/0.300	1.578/0.116
t/P 研究组内值		5.338/<0.001	6.213/<0.001	9.449/<0.001
t/P 治后组间值		4.493/<0.001	4.625/<0.001	7.516/<0.001

3 讨论

肥胖型 T2DM-MS 是一种复杂的代谢紊乱状态,涉及肥胖、高血压、血脂异常等多重危险因素^[12]。在肥胖型 T2DM-MS 的治疗中,益生菌有助于调节患者的代谢状态,从而在一定程度上缓解疾病的进展,尽管益生菌的应用前景广阔,但在实际治疗中,其长期疗效尚需进一步验证^[13]。与此同时,有氧运动作为一种有效的健康促进方式,已被证实能够改善肥胖型 T2DM-MS 患者的代谢参数,并对体质量管理产生积极影响^[14-15]。

本研究中,对照组患者治疗后腰围减小,而 BMI 比较差异无统计学意义。提示益生菌对于腰围有积极影响,但对 BMI 无明显作用,分析可能与干预时间短有关,需进一步延长干预时间,才能更好明确益生菌对于 BMI 的影响。研究组治疗后较治疗前腰围减小且 BMI 下降,有显著影响,表明有氧运动联合益生菌干预对帮助肥胖型 T2DM-MS 患者减小腰围与降低 BMI 有更积极、更明显的疗效。同时,本研究中 2 组患者在治疗后血压均降低,且研究组降低更为显著,表明治疗增强了患者机体代谢,联合治疗效果更显著。研究表明,有氧运动和益生菌干预均能有效改善 T2DM 患者的血糖控制,降低 FPG、2hPG、HbA_{1c} 水平,运动可通过增加胰岛素敏感性、改善葡萄糖利用和降低肝糖输出等机制降低血糖^[16-17]。本研究结果显示,单纯益生菌治疗和有氧运动干预联合益生菌均能显著降低肥胖型 T2DM-MS 患者的 FPG、2hPG 和 HbA_{1c} 水平,且联合治疗的下降幅度更大。联合治疗通过提高肌肉对胰岛素的敏感性、促进葡萄糖利用、改善糖脂代谢,从而更有效地降低血糖水平。研究表明,有氧运动和益生菌干

预均能有效改善肥胖人群的血脂水平,降低 TG、TC、LDL-C 水平,升高 HDL-C 水平,运动通过增加脂质分解、降低脂质合成和改善脂蛋白代谢等机制改善血脂水平,益生菌则通过减少胆固醇吸收和增加胆固醇排泄等途径改善血脂水平^[17-18]。本研究结果显示,研究组患者的 TC、TG、LDL-C 水平显著降低, HDL-C 水平升高。当 TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 水平变化时,表明脂质分解增加或脂质合成减少,研究发现可以通过增加脂质分解,并减轻炎症反应,从而改善脂质代谢^[12]。运动通过增加能量消耗和促进脂肪氧化来增强脂质分解,同时抑制脂肪细胞的分化与增长,减少脂质合成^[16]。而益生菌能增加患者体内有益菌如双歧杆菌和乳酸菌的数量,这些菌能够产生短链脂肪酸,如丁酸和丙酸,这些脂肪酸不仅能作为能量来源,还能调节脂质代谢相关基因的表达,减少肝脏中脂质的合成并促进脂质分解,从而降低 TC、TG、LDL-C 水平,升高 HDL-C 水平,更有效地改善血脂水平,降低心血管疾病风险^[7,14]。与单纯益生菌干预比较,联合干预对血脂谱的改善更为显著,这可能源于肠道菌群-运动轴的相互作用。近期研究发现,运动能改变胆汁酸谱,而胆汁酸具有影响肠道菌群组成的抗微生物特性^[19]。同时,运动可能会增加产生丁酸盐的肠道细菌,这些细菌与代谢健康改善密切相关。因此,补充益生菌可能通过优化运动诱导的菌群变化,进一步增强运动对脂代谢的积极影响。

研究表明,有氧运动能有效改善肥胖人群的肺功能,提高 FVC、FEV₁、MVV。FVC 可反映肺容量的最大可利用度,FEV₁ 可检测呼气时气流是否受限,MVV 能反映呼吸肌力量和肺组织弹性,评估通气功能和呼吸肌功能,运动通过增加肺活量、改善肺泡通气量和增强呼吸肌力量等机制改善肺功能^[20]。本研究结果显示,治疗后研究组肥胖型 T2DM-MS 患者的 FVC、FEV₁ 和 MVV 水平提高,且联合治疗效果更佳。研究组可能通过增强肺活量、改善肺泡通气量和增强呼吸肌力量,从而更有效地改善肺功能,提高运动耐力^[11]。研究表明,有氧运动能有效改善肥胖人群的心功能,机制包括增加心肌收缩力、改善心肌供血和降低心脏负荷等^[20];同时,胰岛素敏感性提高、炎症反应减轻等代谢改善也能间接促进心脏功能优化。本研究结果显示,研究组肥胖型 T2DM-MS 患者的 LVEF 提高,LVEDD 和 LVESD 降低,联合干预效果更明显。LVEF 升高表示心脏泵血效率提高,LVEDD 和 LVESD 降低表示心脏负荷减轻和心肌重构改善,联合应用可能通过增强心肌收缩力、改善心肌供血和降低心脏负荷,从而更有

效地改善心功能,降低心血管疾病风险^[11]。有氧运动可减少炎症反应,创造有利于有益菌生长的环境,同时益生菌可通过改善系统炎症反应状态、优化代谢环境,间接作用于呼吸肌或心肌,从而可能为运动诱导的心肺适应创造更有利的条件。研究表明,T2DM 患者存在慢性低度炎症反应,这可能导致器官功能受损。益生菌通过调节肠道菌群,降低循环中炎症因子水平,从而减轻炎症反应对心肺功能的不利影响^[12]。

4 结 论

综上所述,有氧运动干预联合益生菌可有效改善肥胖型 T2DM-MS 患者的血糖和血脂指标,患者 FVC、FEV₁ 和 MVV 肺功能指标以及 LVEF、LVEDD、LVESD 心功能指标均显著改善。联合治疗显著增强了患者机体代谢,通过提高肌肉对胰岛素的敏感性,改善糖脂代谢,有氧运动通过更大的能量消耗和脂肪氧化,增强脂质分解,益生菌则通过补充菌种,增强运动的改善效果,更有效地降低血糖血脂水平。本研究未深入研究益生菌对心肺功能的影响,且研究中,益生菌组未能显示出对心肺功能的影响,考虑可能与研究时间短有关。未来研究将扩大样本量,延长观察时间,以及与其他治疗方法的联合应用,以更全面地评估其临床应用价值。

利益冲突:所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明

王伟:设计研究方案,实施研究过程,论文撰写;兰丽珍:研判研究可行性,论文审校;刘敏:进行统计学分析;杜瑞:分析整理研究结果,论文修改

参考文献

[1] Piuri G, Zocchi M, Della Porta M, et al. Magnesium in obesity, metabolic syndrome, and type 2 diabetes [J]. *Nutrients*, 2021, 13(2): 320-321. DOI: 10.3390/nu13020320.

[2] Kazamel M, Stino AM, Smith AG. Metabolic syndrome and peripheral neuropathy [J]. *Muscle Nerve*, 2021, 63(3): 285-293. DOI: 10.1002/mus.27086.

[3] 刘亚丹,段飞,燕树勋. 中医药治疗代谢综合征研究进展 [J]. *河北中医*, 2022, 44(1): 157-160,165. DOI: 10.3969/j.issn.1002-2619.2022.01.035.

[4] Yan X, Fu P, Zhang Y, et al. MCC950 ameliorates diabetic muscle atrophy in mice by inhibition of pyroptosis and its synergistic effect with aerobic exercise [J]. *Molecules*, 2024, 29(3): 712. DOI: 10.3390/molecules29030712.

[5] 吴玉珍,孙青,刘霞,等. 有氧运动干预 2 型糖尿病大鼠肾功能的变化 [J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(14): 2145-2151. DOI: 10.12307/2024.322.

[6] 宋琪,夏木西卡玛尔·阿不都呼甫尔,杨丽斌. 还原型谷胱甘肽联合益生菌辅助治疗对 2 型糖尿病患者糖脂代谢、炎症反应以及氧化应激指标的影响 [J]. *国际检验医学杂志*, 2024, 45(5): 539-543,548. DOI: 10.3969/j.issn.1673-4130.2024.05.006.

[7] 滕云杰,王迎洪,陈静,等. 口服益生菌用于 2 型糖尿病成年患者效果的 Meta 分析 [J]. *药物流行病学杂志*, 2023, 32(1): 60-71. DOI: 10.19960/j.issn.1005-0698.202301009.

[8] 中华医学会糖尿病分会. 中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)(上) [J]. *中国实用内科杂志*, 2021, 41(8): 668-695. DOI: 10.19538/j.nk2021080106.

[9] 中华医学会糖尿病分会代谢综合征研究协作组. 中华医学会糖尿病分会关于代谢综合征的建议 [J]. *中华糖尿病杂志*, 2004, 12(3): 156-161. DOI: 10.3321/j.issn:1006-6187.2004.03.002.

[10] 曾珊,伍晓乐,徐杨,等. 中药通过影响肠道菌群治疗 2 型糖尿病的研究进展 [J]. *中国抗生素杂志*, 2024, 49(8): 860-866. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8689.2024.08.004.

[11] 邓琼伟,高好考,王晓红. 分阶段心脏康复训练联合有氧运动对冠心病合并 2 型糖尿病患者术后心肺功能和生存质量的影响 [J/OL]. *中国医学前沿杂志: 电子版*, 2021, 13(10): 42-46. DOI: 10.12037/YXQY.2021.10-09.

[12] Barbagallo M, Veronese N, Dominguez LJ. Magnesium in type 2 diabetes mellitus, obesity, and metabolic syndrome [J]. *Nutrients*, 2022, 14(3): 714-715. DOI: 10.3390/nu14030714.

[13] Bajinka O, Sylvain Dovi K, Simbilyabo L, et al. The predicted mechanisms and evidence of probiotics on type 2 diabetes mellitus (T2DM) [J]. *Arch Physiol Biochem*, 2024, 130(4): 475-490. DOI: 10.1080/13813455.2022.2163260.

[14] Su X, He J, Cui J, et al. The effects of aerobic exercise combined with resistance training on inflammatory factors and heart rate variability in middle-aged and elderly women with type 2 diabetes mellitus [J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2022, 27(6): e12996. DOI: 10.1111/anec.12996.

[15] Zhang J, Tam WWS, Hounsri K, et al. Effectiveness of combined aerobic and resistance exercise on cognition, metabolic health, physical function, and health-related quality of life in middle-aged and older adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2024, 105(8): 1585-1599. DOI: 10.1016/j.apmr.2023.10.005.

[16] Memon H, Abdulla F, Reljic T, et al. Effects of combined treatment of probiotics and metformin in management of type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2023, 202(8): e110806. DOI: 10.1016/j.diabres.2023.110806.

[17] 王继,张敏,李文博,等. 有氧运动对 2 型糖尿病大鼠糖脂代谢、骨骼肌炎症反应和自噬的影响 [J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(8): 1200-1205. DOI: 10.12307/2024.219.

[18] 洪钱沁,李瑾,朱飞龙,等. 非小细胞肺癌合并 2 型糖尿病患者运动耐量及通气效率的临床特点 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(9): 805-811. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.09.009.

[19] 张润红,刘尚武,高建军. 基于肠道菌群和血清炎症反应因子及肠黏膜屏障功能探讨八段锦训练在改善 T2DM 中的作用 [J]. *中国微生态学杂志*, 2024, 36(11): 1303-1309. DOI: 10.13381/j.cnki.cjm.202411009.

[20] 周曜文,贾永平,李逸臻. 冠心病合并 2 型糖尿病病人 PCI 术后运动康复的疗效观察 [J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2021, 19(15): 2597-2601. DOI: 10.12102/j.issn.1672-1349.2021.15.021.

(收稿日期: 2025-09-17)