

2型糖尿病并发症人群的运动干预与实施要点

王洋¹, 赵诗婷¹, 陈盈盈², 孙子林³, 邱山虎^{1*}

1.210009 江苏省南京市, 东南大学附属中大医院全科医学科

2.222000 江苏省连云港市第一人民医院

3.210009 江苏省南京市, 东南大学附属中大医院内分泌科

*通信作者: 邱山虎, 副主任医师; E-mail: tigershanhu@126.com



扫描二维码
查看原文

【摘要】 运动是2型糖尿病并发症防治管理的重要基石, 但学界却少有讨论2型糖尿病并发症人群运动干预注意事项及实施要点。基于此, 本文结合最新糖尿病防治指南、专家共识及相应研究证据, 就2型糖尿病并发症人群的运动建议、注意事项、运动时机选择、运动干预与药物交互作用等方面进行阐述, 以期为2型糖尿病并发症人群的运动治疗提供一定的实践指导和循证指引。

【关键词】 糖尿病, 2型; 运动治疗; 运动时机; 体药融合

【中图分类号】 R 587.1 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2025.0075

Key Points of Exercise Intervention and Implementation for People with Complications of Type 2 Diabetes Mellitus

WANG Yang¹, ZHAO Shiting¹, CHEN Yingying², SUN Zilin³, QIU Shanhu^{1*}

1. Department of General Practice, Zhongda Hospital, Southeast University, Nanjing 210009, China

2. The First People's Hospital of Lianyungang, Lianyungang 222000, China

3. Department of Endocrinology, Zhongda Hospital, Southeast University, Nanjing 210009, China

*Corresponding author: QIU Shanhu, Associate chief physician; E-mail: tigershanhu@126.com

【Abstract】 Exercise remains a cornerstone in the prevention and management of diabetic complications in patients with type 2 diabetes. However, there have been few discussions about the precautions and implementation key points of exercise intervention for diabetic complications. In this study, we presented some recommendations of exercise intervention, the precautions related to exercise intervention, the selection of exercise timing, and the interactive effects between sports and medications for patients with diabetic complications, based on the latest guidelines on diabetes prevention and management, the expert consensus, and the latest research trials, aiming to provide some practical guidance and evidence-based guidelines for exercise intervention in patients with diabetic complications.

【Key words】 Diabetes mellitus, type 2; Exercise intervention; Exercise timing; Integration of sports-and-medication

糖尿病, 尤其是2型糖尿病已成为危害和威胁人类健康的重大慢性疾病。据报道, 2022年全球18岁以上成年人中糖尿病患者人数约为8.28亿; 我国糖尿病患者人数约1.48亿, 占全球成年人糖尿病总数的18%^[1]。更为严峻的是, 糖尿病并发症患病率高。有研究发现, 在糖尿病人群中, 50%可能患有糖尿病周围神经病变^[2],

约23%患有糖尿病视网膜病变^[3], 10%~15%患有糖尿病肾脏病^[3]。糖尿病视网膜病变是工作年龄人群失明的主要原因^[4], 糖尿病肾脏病是糖尿病超额死亡率的主要驱动因素^[5]。因此, 延缓或控制糖尿病并发症对降低糖尿病的疾病负担具有重要意义。

运动是防治2型糖尿病及其并发症的关键措施。大

基金项目: 四大慢病国家重大专项(2024ZD0523300, 2024ZD0523303); 国家自然科学基金资助项目(72374043); 江苏省重点研发计划项目(BE2022828); 东南大学附属中大医院江苏省高水平医院结对帮扶建设经费资助(ZDLYG19)

引用本文: 王洋, 赵诗婷, 陈盈盈, 等. 2型糖尿病并发症人群的运动干预与实施要点[J]. 中国全科医学, 2026, 29(21): 2989-2994. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2025.0075.[www.chinagp.net]

Wang Y, Zhao S T, Chen Y Y, et al. Key points of exercise intervention and implementation for people with complications of type 2 diabetes mellitus[J]. Chinese General Practice, 2026, 29(21): 2989-2994.

© Editorial Office of Chinese General Practice. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

庆研究发现, 包括运动在内的生活方式干预可使糖尿病累积发病率降低 30%~50%、微血管并发症(如视网膜病变、肾脏病等)风险降低 25%~30%、大血管并发症(如心血管疾病)风险降低 20%~25%^[6]。但到目前为止, 糖尿病人群, 尤其是糖尿病并发症人群, 应如何运动或何时运动等尚未形成明确共识。加之糖尿病并发症人群常合并其他疾病而使用多种药物, 在运动过程中, 应如何关注药物的协同作用或不良反应, 也未能被清晰阐明。针对上述问题, 本文结合国内外最新研究证据及相应指南/专家共识^[7-10], 进行相应阐述。

1 2型糖尿病并发症人群的运动建议

现有国内外指南均一致建议绝大多数成年 2 型糖尿病患者应进行每周至少 150 min 的中等强度有氧运动, 每周运动不少于 3 次^[7-11]。为此, 糖尿病并发症人群也应遵循上述指南意见。但由于糖尿病并发症常伴随有其他系统症状或病理改变, 因而, 在制订个体化运动处方时, 针对不同类型的糖尿病并发症人群, 运动处方内容(如运动注意事项)应有所不同(表 1)。

糖尿病肾脏病以持续性白蛋白尿、渐进性肾小球滤过率下降为主要特征, 常伴高血压、水肿等。现有证据表明糖尿病肾脏病人群应进行适度的有氧运动和抗阻训练, 以改善代谢控制和肾功能。因而, 糖尿病肾脏病早中期人群[通常指肾小球滤过率 ≥ 30

mL · min⁻¹ · (1.73 m²)⁻¹ 且尿微量白蛋白/尿肌酐 <300 mg/g 者]应进行至少 150 min/ 周的中等强度有氧运动(如快走、骑自行车), 以及每周 2~3 次的抗阻训练(如使用哑铃或弹力带), 以增强肌肉力量和心血管健康^[12-13]。其中, 运动强度宜控制在最大心率的 50%~70%, 避免过度剧烈运动, 以警惕诱发或加重蛋白尿可能^[14]。但对于糖尿病肾脏病晚期人群[通常指肾小球滤过率 <30 mL · min⁻¹ · (1.73 m²)⁻¹, 伴或不伴尿微量白蛋白/尿肌酐 ≥ 300 mg/g 者], 需限制运动强度, 并以中低强度日常活动为主。接受透析的糖尿病肾脏病人群, 可在透析结束后 1~2 h 进行低强度运动(如床旁脚踏车、弹力带)^[15]。由于运动常伴有体液流失, 接受透析治疗的糖尿病肾脏病人群还应注意维持水电解质酸碱平衡^[11]。糖尿病肾脏病患者常合并肌少症, 有研究发现, 接受血液透析的糖尿病肾脏病患者肌少症患病率高达 32.7%~73.5%, 腹膜透析者达 25.6%~44%^[15]。为此, 糖尿病肾脏病患者开展抗阻运动有助于减少或延缓肌少症的发生、发展风险。但由于糖尿病肾脏病患者的心血管疾病风险显著增高且常合并营养不良等问题, 因而糖尿病肾脏病患者在运动时, 运动强度设定应从低强度起始。运动干预过程中还需严密监测生命体征, 若出现头晕、胸痛或呼吸困难等不适, 应立即停止运动, 并在医生指导下调整运动方案^[13]。

糖尿病视网膜病变可引起飞蚊症、视觉扭曲、视力

表 1 2型糖尿病常见并发症人群运动处方制订原则与注意事项

Table 1 Exercise prescription guidelines and considerations for type 2 diabetes patients with common complications

糖尿病并发症人群	运动处方制订总则
	运动类型: 有氧运动、抗阻运动均可, 但有氧联合抗阻运动效果更佳; 实践中优先推荐有氧运动 运动强度: 推荐低强度起始, 中等强度为佳, 逐渐递增运动强度 运动时间: 推荐有氧运动 30~45 min/ 次(建议不低于 10 min/ 次但不超过 60 min/ 次)、推荐抗阻运动以大肌群运动为主(建议 4~6 个动作, 每个动作 2~4 组, 总时长 20~60 min) 运动频率: 推荐有氧运动 3~5 次/ 周、抗阻运动 2 次/ 周 运动总量: 推荐每周 150 min 中等强度有氧运动 运动进阶: 建议运动强度、运动时长、运动量均逐步增加
并发症类型	运动处方制订注意事项
糖尿病肾脏病	1. 肾小球滤过率 ≥ 30 mL · min ⁻¹ · (1.73 m ²) ⁻¹ 且尿微量白蛋白/尿肌酐 <300 mg/g 者, 建议避免高强度运动, 以防加重蛋白尿, 并需定期监测血肌酐、尿蛋白和血压等 2. 肾小球滤过率 <30 mL · min ⁻¹ · (1.73 m ²) ⁻¹ , 伴或不伴尿微量白蛋白/尿肌酐 ≥ 300 mg/g 者, 需限制运动强度, 建议以中低强度日常活动为主 3. 终末期肾脏病时, 应在监护下进行运动, 透析患者建议透析后进行运动 4. 透析患者运动时需注意维持水电解质平衡, 并及时纠正水、电解质紊乱
糖尿病视网膜病变	1. 以中、低等强度运动为主, 避免高强度运动 2. 避免头部颠簸或倒立运动(如蹦床、倒立), 防止眼压升高 3. 增殖性视网膜病变或严重非增殖性视网膜病变者, 不建议积极运动
糖尿病周围神经病变	1. 无溃疡者可进行中等强度负重运动 2. 步态存在异常者尽可能选择非负重运动, 宜加强平衡训练(如太极拳)等 3. 避免高冲击运动(如长跑、跳跃), 减少足部损伤风险 4. 选择合适的运动鞋和袜子, 保持足部干燥, 减少足部摩擦导致的溃疡风险
糖尿病自主神经病变	1. 可依据心率变异性调节运动强度, 也可使用自我感觉疲劳评分监测强度 2. 加强血压监测, 避免快速变换体位的运动
糖尿病下肢动脉疾病	1. 以低或中等强度运动为主 2. 推荐上肢肌和躯干肌抗阻训练, 可采用等长收缩、等张收缩等运动方式 3. 运动强度不应超过诱发下肢酸胀疼痛的运动强度阈值

模糊等视力障碍,严重者还会导致视网膜脱离,造成全部或部分视力丧失^[16]。现有研究已证实,运动可改善视网膜微血管血液供应和氧气供应,因而有助于维持视网膜细胞的健康和功能^[17]。但目前糖尿病视网膜病变人群的运动研究仍相对较少。有研究指出,中等强度有氧运动和体力活动对糖尿病视网膜病变人群的益处优于低强度和高强度运动。这主要体现在进行中等强度的运动有助于预防或延缓糖尿病视网膜病变的进展^[18]。需要注意的是,Browning等^[19]研究发现,糖尿病视网膜病变患者并发黄斑水肿时,应避免短期高强度运动(如倒立、剧烈头部运动等),以防眼压升高而致玻璃体积血或视网膜脱离风险增加。

糖尿病周围神经病变是继糖尿病肾脏病、糖尿病视网膜病变外的另一微血管并发症。其常表现出双侧对称的麻木、刺痛、疼痛等症状,且多见于足部^[20]。在对糖尿病周围神经病变人群的研究中发现,运动特别是耐力训练可显著改善周围神经的传导速度。这可能是由于耐力训练可调节代谢因素,如降低血糖、改善血液循环等,进而改善神经传导速度,从而为糖尿病周围神经病变人群带来益处^[21]。但在运动强度选择方面,仍需根据患者病情特点进行设定。由于足部感觉异常或迟钝及平衡能力减弱,糖尿病周围神经病变患者的跌倒和骨折风险显著增加^[22]。因此,糖尿病周围神经病变人群,尤其是那些有糖尿病足溃疡病史的人群,运动前后应仔细检查足部有无红肿、破溃等异常,运动过程中需避免赤脚运动,防止摩擦或温度损伤(如高温瑜伽)。然而值得注意的是,来自Matos等^[23]的研究指出,负重运动并不一定导致更高的糖尿病足溃疡风险发生。相反,适当的负重运动还有助于增强肌肉力量、改善神经功能,继而降低糖尿病足溃疡发生的潜在风险。

与糖尿病微血管病变患者不完全相同,糖尿病大血管病变患者心血管疾病的发生或再发风险显著增加。因此,糖尿病大血管病变患者进行运动干预时,需格外关注心血管安全,并建议在专业医务人员指导下进行。糖尿病大血管病变患者在运动过程中,应密切监测心率,以及有无胸闷、胸痛、呼吸困难等不适症状,并且在运动强度设定方面,宜从低强度起始,并逐渐递增至人群可耐受的运动强度(如合并冠心病者,运动时的心率应低于心绞痛症状或ST段压低时的心率10次/min)^[10]。在开展抗阻运动时,应注意呼吸配合,避免屏气用力(如Valsalva动作),以防血压骤升。然而,不论糖尿病微血管病变人群,还是糖尿病大血管病变人群,运动前需注意监测血糖,以降低运动相关的低血糖风险。若运动前血糖<5.6 mmol/L,建议补充适当碳水化合物;而若运动前血糖>13.9 mmol/L且尿酮体阳性时,应暂停运动。

2 2型糖尿病并发症人群运动干预的时机选择

现有2型糖尿病运动干预的有关指南或共识大多从运动健康促进角度提出了运动干预的基本原则,但在运动干预时机选择方面(如选择餐前还是餐后运动、早晨还是晚间运动),却没有明确推荐意见。尽管现有指南并未针对具体并发症人群提出最佳运动时机的选择,但其对普通2型糖尿病人群的运动干预时机的推荐意见^[7-10],在一定程度上也有助于指导大多数2型糖尿病并发症人群的运动开展。

围绕餐前还是餐后运动更加有助血糖控制这一临床实践问题,多项研究表明餐后运动可能更加有益于血糖控制,特别是在餐后进行长时间(≥ 45 min)、中等强度的有氧运动^[24]。Colberg等^[25]研究发现,与餐前散步相比,餐后散步可更有效降低晚餐对血糖的影响,且能减少血糖波动。还有研究表明,餐后30 min~1 h开始运动能够有效降低餐后血糖,相比餐前运动,餐后运动更为有效。运动时长方面,有研究指出,超过30 min的运动可能对血糖控制更有益,而较短时间的运动效果则稍逊^[26]。

早晨运动还是晚间运动更有益是运动干预过程中的另一临床实践问题。有研究发现,与早晨或下午进行中高强度体力活动相比,2型糖尿病合并肥胖的人群在晚间开展此类活动时,其全因死亡率、心血管疾病以及微血管疾病的发生风险最低^[27]。同时,也有研究指出早晨运动有助改善胰岛素抵抗,但其效果相对较弱;相比之下,晚间运动效果则更好(晚间中高强度体力活动可使成年人胰岛素抵抗程度减轻25%)^[28]。除此以外,在超重/肥胖男性中,尽管早晨和晚间运动均能改善心肺功能,但仅晚间运动可改善餐后血糖控制或部分逆转高脂饮食引起的代谢谱变化^[29]。但值得注意的是,2型糖尿病人群应尽量避免在睡前1 h内进行剧烈运动,因为剧烈运动可能会干扰睡眠潜伏期、减少深睡眠(慢波睡眠)时间,或影响整体睡眠结构,从而影响睡眠质量^[23]。另一方面,由于糖尿病自身及糖尿病视网膜病变可能会导致视力下降,因而,对于那些存在有视力下降,尤其是合并存在视网膜病变的人群,应加强晚间运动的安全防护,避免运动意外的发生。

3 2型糖尿病并发症人群运动干预中的药物使用考量

相较于单纯2型糖尿病人群,2型糖尿病并发症人群的药物常较为复杂。这主要因为2型糖尿病并发症人群在使用降糖药物同时,还可能需要使用降压药物、调脂药物、抗血小板聚集药物等。然而,运动与药物之间的相互作用,可能会进一步增加运动干预的复杂性。

因此，立足“体药融合”视角，关注运动-药物之间的相互作用，对糖尿病并发症人群实施安全有效的运动干预则至关重要。运动与药物之间的相互作用大致可从以下几方面进行考虑：（1）药物疗效是否会与运动产生协同作用，比如运动增加能量消耗后导致的血糖降低可能会与磺脲类降糖药物的降糖作用叠加，继而产生了更强的降糖效应；（2）与药物相关的不良反应是否会因开展运动而进一步放大，比如，磺脲类降糖药物的低血糖不良反应发生风险可能会因为运动的协同降糖作用而进一步增加；（3）药物的药代动力学可能会因运动而产生变化，比如运动导致的出汗增加是否会加快药物排泄、改变其药代动力学特征，继而影响血药浓度而影响药物疗效等。

尽管现有指南详细罗列了2型糖尿病人群（包括2型糖尿病并发症人群）实施运动干预时的用药注意事项（表2），但需注意的是，目前有关运动与药物之间相互作用的文献仍相对较少。二甲双胍是2型糖尿病治疗的一线药物之一。有研究发现，二甲双胍可能会影响有氧运动在改善心血管健康和胰岛素敏感性方面的效果，且二甲双胍的应用可能会削弱有氧运动带来的最大摄氧量改善效应^[30-31]。但也有研究表明，在使用二甲双胍后，并没有显著影响人群的最大摄氧量以及运动带来的燃脂效果^[32]。除二甲双胍外，有研究分析了钠-葡萄糖协同转运蛋白2抑制剂对运动能力的影响。有研究表明，在2型糖尿病人群中，使用恩格列净可改善2型糖尿病

人群心肺健康指标，如增加峰值摄氧量、降低每分钟通气量/二氧化碳比值等^[33]。但在临床实践中，考虑到运动可能会增加钠-葡萄糖协同转运蛋白2抑制剂导致高酮体血症的风险，建议进行较大体力活动前至少24h应停止使用钠-葡萄糖协同转运蛋白2抑制剂^[10]。对于胰岛素治疗的人群（尤其是病程长、胰岛功能差者），由于运动可改善胰岛素敏感性、增强胰岛素作用^[34]，因而其低血糖风险显著增高^[35]。为此，这类人群运动前应加强血糖监测，必要时补充适量碳水化合物。

4 总结及展望

2型糖尿病并发症的出现显著增加2型糖尿病人群疾病负担并影响其生活质量。尽管积极开展运动可延缓2型糖尿病并发症进展、降低死亡风险，但2型糖尿病并发症人群在实施运动干预时，需格外注意运动安全，并考虑运动与药物之间的相关作用和影响。另一方面，基层医疗机构作为我国2型糖尿病等慢性病防治的主要落脚点，如何加强基层医疗机构糖尿病并发症筛查能力、提升基层医疗机构医护人员体医融合或体卫融合知识应用能力^[36]，继而针对不同糖尿病并发症人群制订更为科学、有效、合理的个性化运动处方，仍有待进一步探索和深化实施。

作者贡献：王洋负责文章的构思与设计、研究资料的收集与整理、论文撰写；赵诗婷负责表格的编辑、整理；陈盈盈、孙子林负责论文相关资料收集与整理；邱

表2 2型糖尿病并发症人群运动干预时的药物使用注意事项
Table 2 Medication use considerations during exercise intervention for type 2 diabetes patients with complications

药物类型	药物本身的不良反应	与运动联合应用的注意事项
双胍类	胃肠道不适、低血糖反应、乳酸酸中毒等	二甲双胍可能降低有氧运动带来的心血管获益及对血糖的改善效应
胰岛素促分泌剂	低血糖、胃肠道不适、体质量增加等	若运动前血糖低于5.0 mmol/L, 建议补充少量碳水化合物后再运动; 运动过程中, 应加强血糖监测, 尤其是进行长时间运动时
胰岛素增敏剂	体质量增加、水肿、骨折风险增加等	警惕与运动干预时的协同降糖作用及由此带来的低血糖风险; 警惕摔倒风险, 以免增加骨折风险
α-糖苷酶抑制剂	消化系统不适(腹胀、腹痛等)	最好在服药30 min后再开始运动, 以免影响药物对碳水化合物吸收的抑制效果; 服用此类药物出现低血糖时需进食单糖类食物纠正低血糖
钠-葡萄糖协同转运蛋白2抑制剂	酮症酸中毒、体质量下降(肌肉量减少)等	运动前后要保证充足水分摄入; 老年或使用利尿剂者, 需依据运动强度与时间调整药物治疗; 适当增加抗阻运动
肠促胰素类药物	恶心、呕吐、腹泻、腹胀等胃肠道症状	该类药物使用可能会增快心率, 因此, 运动中应加强心率监测; 运动测评时需注意心率增高带来的运动强度评估误差; 有胃肠道不适时, 暂缓运动
胰岛素	低血糖等	应根据血糖水平及运动量大小, 适当减少胰岛素剂量; 进行肢体运动时, 为减少运动对胰岛素吸收速率的影响, 推荐进行腹部皮下注射胰岛素
调脂药物	横纹肌溶解等	服用他汀类药物者(尤其是初始服用者), 计划开始规律运动(尤其是抗阻运动)时, 应从低强度、短时间运动起始, 警惕横纹肌溶解风险增加可能
降压药	电解质紊乱、低血压等	该类药物(如利尿剂、β受体阻滞剂)可能对血容量、血压、心率产生影响, 需警惕运动后低血压及注意大量出汗后带来的电解质紊乱风险; 由于β受体阻滞剂可降低交感神经活性及减慢心率, 因而β受体阻滞剂的使用可能会降低糖尿病人群低血糖风险感知, 并对心率储备(最大心率-静息心率)这一运动强度测评方法的准确性产生影响
抗血小板聚集或抗凝药物	出血风险等	避免较大强度或高撞击/冲击风险的运动; 加强摔倒风险评估, 避免摔倒; 运动后若出现血尿、皮肤瘀斑等, 应立即停止运动, 并及时就医

山虎负责文章的构思与设计、质量控制及审校,对文章整体负责并进行监督管理及论文修订工作。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] Risk Factor Collaboration(NCD-RISC)N C D. Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants[J]. *Lancet*, 2024, 404(10467): 2077-2093. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)02317-1.
- [2] Tesfaye S, Selvarajah D. Advances in the epidemiology, pathogenesis and management of diabetic peripheral neuropathy[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2012, 28(Suppl 1): 8-14. DOI: 10.1002/dmrr.2239.
- [3] Levin A, Tonelli M, Bonventre J, et al. Global kidney health 2017 and beyond: a roadmap for closing gaps in care, research, and policy[J]. *Lancet*, 2017, 390(10105): 1888-1917. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30788-2.
- [4] Kropp M, Golubnitschaja O, Mazurakova A, et al. Diabetic retinopathy as the leading cause of blindness and early predictor of cascading complications-risks and mitigation[J]. *EPMA J*, 2023, 14(1): 21-42. DOI: 10.1007/s13167-023-00314-8.
- [5] Koye D N, Magliano D J, Nelson R G, et al. The global epidemiology of diabetes and kidney disease[J]. *Adv Chronic Kidney Dis*, 2018, 25(2): 121-132. DOI: 10.1053/j.ackd.2017.10.011.
- [6] Pan X R, Li G W, Hu Y H, et al. Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study[J]. *Diabetes Care*, 1997, 20(4): 537-544. DOI: 10.2337/diacare.20.4.537.
- [7] 中华医学会糖尿病学分会, 朱大龙. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409. DOI: 10.3760/ema.j.cn311282-20210304-00142.
- [8] 中华医学会糖尿病学分会. 中国糖尿病运动治疗指南[M]. 北京: 中华医学电子音像出版社, 2012.
- [9] 中国微循环学会糖尿病与微循环专业委员会, 中华医学会糖尿病学分会教育与管理学组, 中华医学会内分泌学分会基层内分泌代谢病学组, 等. 体医融合糖尿病运动干预专家共识[J]. *中华糖尿病杂志*, 2022, 14(10): 1035-1043. DOI: 10.3760/ema.j.cn115791-20220113-00032.
- [10] 国家老年医学中心, 中华医学会糖尿病学分会, 中国体育科学学会. 中国2型糖尿病运动治疗指南(2024版)[J]. *中国运动医学杂志*, 2024, 43(6): 419-452. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2024.A0019.
- [11] Colberg S R, Sigal R J, Yardley J E, et al. Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American diabetes association[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39(11): 2065-2079. DOI: 10.2337/dc16-1728.
- [12] Michou V, Liakopoulos V, Roumeliotis S, et al. Effects of home-based exercise training on cardiac autonomic neuropathy and metabolic profile in diabetic hemodialysis patients[J]. *Life(Basel)*, 2023, 13(1): 232. DOI: 10.3390/life13010232.
- [13] Amaral L S B, Souza C S, Lima H N, et al. Influence of exercise training on diabetic kidney disease: a brief physiological approach[J]. *Exp Biol Med(Maywood)*, 2020, 245(13): 1142-1154. DOI: 10.1177/1535370220928986.
- [14] Pongrac Barlovic D, Tikkanen-Dolenc H, Groop P H. Physical activity in the prevention of development and progression of kidney disease in type 1 diabetes[J]. *Curr Diab Rep*, 2019, 19(7): 41. DOI: 10.1007/s11892-019-1157-y.
- [15] Noor H, Reid J, Slee A. Resistance exercise and nutritional interventions for augmenting sarcopenia outcomes in chronic kidney disease: a narrative review[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2021, 12(6): 1621-1640. DOI: 10.1002/jcsm.12791.
- [16] Liu Y X, Wu N. Progress of nanotechnology in diabetic retinopathy treatment[J]. *Int J Nanomedicine*, 2021, 16: 1391-1403. DOI: 10.2147/IJN.S294807.
- [17] Anuradha S, Healy G N, Dunstan D W, et al. Physical activity, television viewing time, and retinal microvascular caliber: the multi-ethnic study of atherosclerosis[J]. *Am J Epidemiol*, 2011, 173(5): 518-525. DOI: 10.1093/aje/kwq412.
- [18] Zhang Q X, Jiang Y X, Deng C H, et al. Effects and potential mechanisms of exercise and physical activity on eye health and ocular diseases[J]. *Front Med(Lausanne)*, 2024, 11: 1353624. DOI: 10.3389/fmed.2024.1353624.
- [19] Browning D J, Stewart M W, Lee C. Diabetic macular edema: evidence-based management[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2018, 66(12): 1736-1750. DOI: 10.4103/ijo.IJO_1240_18.
- [20] Callaghan B C, Cheng H T, Stables C L, et al. Diabetic neuropathy: clinical manifestations and current treatments[J]. *Lancet Neurol*, 2012, 11(6): 521-534. DOI: 10.1016/S1474-4422(12)70065-0.
- [21] Streckmann F, Balke M, Cavaletti G, et al. Exercise and neuropathy: systematic review with meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2022, 52(5): 1043-1065. DOI: 10.1007/s40279-021-01596-6.
- [22] Lipsky B A, Senneville É, Abbas Z G, et al. Guidelines on the diagnosis and treatment of foot infection in persons with diabetes(IWGDF 2019 update)[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2020, 36(Suppl 1): e3280. DOI: 10.1002/dmrr.3280.
- [23] Matos M, Mendes R, Silva A B, et al. Physical activity and exercise on diabetic foot related outcomes: a systematic review[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2018, 139: 81-90. DOI: 10.1016/j.diabres.2018.02.020.
- [24] Borrer A, Zieff G, Battaglini C, et al. The effects of postprandial exercise on glucose control in individuals with type 2 diabetes: a systematic review[J]. *Sports Med*, 2018, 48(6): 1479-1491. DOI: 10.1007/s40279-018-0864-x.
- [25] Colberg S R, Zarrabi L, Bennington L, et al. Postprandial walking is better for lowering the glycemic effect of dinner than pre-dinner exercise in type 2 diabetic individuals[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2009, 10(6): 394-397. DOI: 10.1016/j.jamda.2009.03.015.
- [26] Kang J, Fardman B M, Ratamess N A, et al. Efficacy of postprandial exercise in mitigating glycemic responses in overweight individuals and individuals with obesity and type 2 diabetes-a systematic review and meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2023, 15(20): 4489. DOI: 10.3390/nu15204489.
- [27] Sabag A, Ahmadi M N, Francois M E, et al. Timing of moderate to vigorous physical activity, mortality, cardiovascular disease, and microvascular disease in adults with obesity[J]. *Diabetes Care*, 2024,

- 47(5): 890–897. DOI: 10.2337/dc23–2448.
- [28] Van Der Velde J H P M, Boone S C, Winters–Van Eekelen E, et al. Timing of physical activity in relation to liver fat content and insulin resistance[J]. *Diabetologia*, 2023, 66(3): 461–471. DOI: 10.1007/s00125–022–05813–3.
- [29] Moholdt T, Parr E B, Devlin B L, et al. The effect of morning vs evening exercise training on glycaemic control and serum metabolites in overweight/obese men: a randomised trial[J]. *Diabetologia*, 2021, 64(9): 2061–2076. DOI: 10.1007/s00125–021–05477–5.
- [30] Miller B F, Thyfault J P. Exercise–pharmacology interactions: metformin, statins, and healthspan[J]. *Physiology(Bethesda)*, 2020, 35(5): 338–347. DOI: 10.1152/physiol.00013.2020.
- [31] Malin S K, Nightingale J, Choi S E, et al. Metformin modifies the exercise training effects on risk factors for cardiovascular disease in impaired glucose tolerant adults[J]. *Obesity(Silver Spring)*, 2013, 21(1): 93–100. DOI: 10.1002/oby.20235.
- [32] Malin S K, Braun B. Effect of metformin on substrate utilization after exercise training in adults with impaired glucose tolerance[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2013, 38(4): 427–430. DOI: 10.1139/apnm–2012–0433.
- [33] Kumar N, Garg A, Bhatt D L, et al. Empagliflozin improves cardiorespiratory fitness in type 2 diabetes: translational implications[J]. *Can J Physiol Pharmacol*, 2018, 96(11): 1184–1187. DOI: 10.1139/cjpp–2018–0359.
- [34] Richter E A, Sylow L, Hargreaves M. Interactions between insulin and exercise[J]. *Biochem J*, 2021, 478(21): 3827–3846. DOI: 10.1042/BCJ20210185.
- [35] Zheng C, Liu Z Q. Vascular function, insulin action, and exercise: an intricate interplay[J]. *Trends Endocrinol Metab*, 2015, 26(6): 297–304. DOI: 10.1016/j.tem.2015.02.002.
- [36] 梁艳, 孙森, 谢波, 等. 基层卫生人才慢性病运动健康干预能力提升培训项目的实施及效果评价 [J]. *中华健康管理学杂志*, 2024, 18(7): 539–544. DOI: 10.3760/cma.j.cn115624–20231008–00177.
- (收稿日期: 2025–01–10; 修回日期: 2025–04–15)
(本文编辑: 赵跃翠)

(上接第 2988 页)

- [47] Simmons R K, Bruun N H, Witte D R, et al. Does training of general practitioners for intensive treatment of people with screen–detected diabetes have a spillover effect on mortality and cardiovascular morbidity in ‘at risk’ individuals with normoglycaemia Results from the ADDITION–Denmark cluster–randomised controlled trial[J]. *Diabetologia*, 2017, 60(6): 1016–1021. DOI: 10.1007/s00125–017–4230–6.
- [48] Charles M, Ejskjaer N, Witte D R, et al. Prevalence of neuropathy and peripheral arterial disease and the impact of treatment in people with screen–detected type 2 diabetes: the ADDITION–Denmark study[J]. *Diabetes Care*, 2011, 34(10): 2244–2249. DOI: 10.2337/dc11–0903.
- [49] Demir Y, Işık M, Gülçin İ, et al. Phenolic compounds inhibit the aldose reductase enzyme from the sheep kidney[J]. *J Biochem Mol Toxicol*, 2017, 31(9). DOI: 10.1002/jbt.21935.
- [50] Yan L J. Redox imbalance stress in diabetes mellitus: Role of the polyol pathway[J]. *Animal Model Exp Med*, 2018, 1(1): 7–13. DOI: 10.1002/ame2.12001.
- [51] So W Y, Wang Y, Ng M C Y, et al. Aldose reductase genotypes and cardiorenal complications: an 8–year prospective analysis of 1, 074 type 2 diabetic patients[J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(11): 2148–2153. DOI: 10.2337/dc08–0712.
- [52] 张斌. 依帕司他联合 α -硫辛酸静脉滴注治疗糖尿病周围神经病变的效果研究 [J]. *中国实用医药*, 2025, 20(3): 30–33. DOI: 10.14163/j.cnki.11–5547/r.2025.03.007.
- [53] Bouchenaki H, Bernard A, Bessagnet F, et al. Neuroprotective effect of ramipril is mediated by AT2 in a mouse MODEL of paclitaxel–induced peripheral neuropathy[J]. *Pharmaceutics*, 2022, 14(4): 848. DOI: 10.3390/pharmaceutics14040848.
- [54] Valentini A, Cardillo C, Della Morte D, et al. The role of perivascular adipose tissue in the pathogenesis of endothelial dysfunction in cardiovascular diseases and type 2 diabetes mellitus[J]. *Biomedicines*, 2023, 11(11): 3006. DOI: 10.3390/biomedicines11113006.
- [55] Venborg J, Wegeberg A M, Kristensen S, et al. The effect of transcutaneous vagus nerve stimulation in patients with polymyalgia rheumatica[J]. *Pharmaceutics (Basel)*, 2021, 14(11): 1166. DOI: 10.3390/ph14111166.
- [56] Stauss H M, Stangl H, Clark K C, et al. Cervical vagal nerve stimulation impairs glucose tolerance and suppresses insulin release in conscious rats[J]. *Physiol Rep*, 2018, 6(24): e13953. DOI: 10.14814/phy2.13953.
- [57] Lee Y S, Jun H S. Anti–diabetic actions of glucagon–like peptide–1 on pancreatic beta–cells[J]. *Metabolism*, 2014, 63(1): 9–19. DOI: 10.1016/j.metabol.2013.09.010.
- [58] Arya A V, Bisht H, Tripathi A, et al. A comparative review of vagal nerve stimulation versus baroreceptor activation therapy in cardiac diseases[J]. *Cureus*, 2023, 15(8): e40889. DOI: 10.7759/cureus.40889
- [59] Gibbons C H, Schmidt P, Biaggioni I, et al. The recommendations of a consensus panel for the screening, diagnosis, and treatment of neurogenic orthostatic hypotension and associated supine hypertension[J]. *J Neurol*, 2017, 264(8): 1567–1582. DOI: 10.1007/s00415–016–8375–x.
- [60] Jordan J, Shannon J R, Black B K, et al. The pressor response to water drinking in humans: a sympathetic reflex [J]. *Circulation*, 2000, 101(5): 504–509. DOI: 10.1161/01.cir.101.5.504.
- [61] Camilleri M, Kuo B, Nguyen L, et al. ACG clinical guideline: gastroparesis[J]. *Am J Gastroenterol*, 2022, 117(8): 1197–1220. DOI: 10.14309/ajg.0000000000001874.
- [62] Camilleri M, Parkman H P, Shafi M A, et al. Clinical guideline: management of gastroparesis[J]. *Am J Gastroenterol*, 2013, 108(1): 18–37. DOI: 10.1038/ajg.2012.373.
- [63] Sedghi A, Bartels C, Simon E, et al. Heart rate variability biofeedback for critical illness polyneuropathy: a randomized sham–controlled study[J]. *Eur J Neurol*, 2024, 31(12): e16512. DOI: 10.1111/ene.16512.
- (收稿日期: 2025–04–10; 修回日期: 2025–11–20)
(本文编辑: 赵跃翠)