

中国 2 型糖尿病运动治疗指南(2024 版)

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

摘要 在 2 型糖尿病(T2DM)患者的综合管理中,运动是生活方式干预的主要形式之一。我国目前仍然缺乏符合中国国情且纳入最新研究证据的 T2DM 运动治疗指南。为此,国家老年医学中心、中华医学会糖尿病学分会和中国体育科学学会联合组织国内内分泌及代谢病学、运动医学、康复医学、医学营养、老年医学等相关领域专家团队,系统整理了近年来国内外高质量文献,编写了《中国 2 型糖尿病运动治疗指南(2024 版)》,旨在为临床医师、糖尿病教育护士等糖尿病防控人员提供安全、有效的 T2DM 运动指导。该指南包括 T2DM 运动治疗的基本原则、急慢性并发症与运动、共患疾病与运动、常用药物治疗与运动、运动时机、运动中血糖监测、运动营养、运动损伤、运动依从性及数字医疗等,共 76 条推荐意见。该指南具有较强实用性和可操作性,期望能为中国 T2DM 患者提供科学、规范的运动治疗方案。

关键词 糖尿病,2 型;运动治疗;指南

DOI:10.16038/j.1000-6710.20240704.001

Guideline for exercise therapy of type 2 diabetes mellitus in China (2024 edition)

National Center of Gerontology, Chinese Diabetes Society, China Sport Science Society

Corresponding authors: Guo Lixin, Department of Endocrinology, Beijing Hospital, National Center of Gerontology, Institute of Geriatric Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China, Email: glx1218@163.com; Wang Zhengzhen, School of Sports Medicine and Rehabilitation, Beijing Sport University, Beijing 100084, China, Email: zhengzhenwang1005@126.com; Ji Linong, Department of Endocrinology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China, Email: jiln@bjmu.edu.cn

Fund program: National High Level Hospital Clinical Research Funding (BJ-2022-073)

International Practice Guide registration number: IPGRP-2022CN253

目 录

第一章 引言	420
第二章 指南的编写方法	420
第三章 本指南常用术语	421
第四章 2 型糖尿病运动治疗概述	423
第五章 2 型糖尿病患者的运动前评估	423
第六章 2 型糖尿病患者运动处方的制定原则	424
第七章 不同运动类别的推荐意见	426
第八章 糖尿病急性并发症与运动	428
第九章 糖尿病慢性并发症与运动	429

收稿日期:2024.05.28

基金项目:中央高水平医院临床科研业务费资助项目(BJ-2022-073)

通信作者:郭立新,北京医院内分泌科,国家老年医学中心,中国医学科学院老年医学研究院,北京 100730,Email:glx1218@163.com; 王正珍,北京体育大学运动医学与运动康复学院,北京 100084,Email:zhengzhenwang1005@126.com; 纪立农,北京大学人民医院内分泌科,北京 100044,Email:jiln@bjmu.edu.cn

国际实践指南注册号:IPGRP-2022CN253

本指南由《中国运动医学杂志》《中华糖尿病杂志》和《中国全科医学》于 2024 年 6 月同步发表

第十章	2 型糖尿病常见共患疾病与运动	430
第十一章	2 型糖尿病药物治疗与运动	432
第十二章	2 型糖尿病运动时机的选择	434
第十三章	数字医疗与糖尿病运动	435
第十四章	运动中的血糖监测	435
第十五章	运动中的营养补充及运动损伤	436
第十六章	运动的依从性	436
第十七章	总结与展望	437
附录	438

第一章 引言

2015 至 2019 年期间,我国 2 型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)的总体患病率已达到 14.92%^[1]。目前我国糖尿病患者人数已超过 1.4 亿,居世界首位^[2]。在已诊断为 T2DM 的患者中,治疗率及治疗达标率均不足 50%^[3]。T2DM 主要通过生活方式干预、个体化药物治疗来进行综合管理,以实现血糖控制^[3]。T2DM 患者的综合管理中,运动锻炼占有重要地位,是生活方式干预的主要形式之一^[3]。规律运动可增加胰岛素敏感性、改善身体成分及生活质量,有助于控制血糖、减少心血管危险因素,而且对糖尿病高危人群的一级预防效果显著^[3]。然而,体力活动不足已成为 21 世纪主要的公共健康问题之一。我国相关数据显示,2015 年中国 18 岁及以上居民体力活动不足率超过 20%^[3];2018 年中国 18 岁及以上居民体力活动不足率为 22.3%,总体上依然呈现上升趋势^[4]。

运动干预和合理饮食是 T2DM 预防的基础。大庆糖尿病预防计划^[5]、中国糖尿病预防计划^[6]、芬兰糖尿病预防研究^[7]、美国糖尿病预防计划^[8]等研究均显示,生活方式干预可显著降低空腹血糖、体重、体重指数(body mass index, BMI)等 T2DM 危险因素^[6,7,9,10]。运动是生活方式干预的重要组成部分。运动可以改善 T2DM 患者的血糖、血脂、血压、体重及体脂率等多种代谢指标,还可以减少心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)相关危险因素^[11,12]。

目前我国已有《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》^[3]、《中国糖尿病运动治疗指南》^[13]、《体医融合糖尿病运动干预专家共识》^[14]等指南和共识类文件,对糖尿病患者的运动干预起到了一定的推动作用。但由于上述指南和共识制定时间大多相对久远,且其中汇集和采纳的运动医学专家进行的研究证据和推荐意见相对较少,因此,目前仍然缺乏真正符合我国国情及疾病特征且纳入近年相关研究证据、易于实施、操作性强的 T2DM 运动干预指南。本指南编写专家组系统整理汇总了近年来国内外相关领域高质量的基础研究、临床

研究、运动医学研究文献,汇集了国内内分泌代谢病学、运动医学、康复医学、医学营养、老年医学等相关领域的专家学者,尤其是广泛征集了运动医学领域多位知名学者的意见,经多次讨论,依据证据等级,制定出了基于现有证据并贴近中国实际、可操作性强的 T2DM 规范化运动干预指导原则。《中国 2 型糖尿病运动治疗指南(2024 版)》旨在指导和帮助临床医师、糖尿病教育护士等糖尿病防控相关人员对 T2DM 患者进行安全、有效、全方位、全周期的规范化运动指导,以改善中国 T2DM 患者的临床结局。

第二章 指南的编写方法

1.注册:本指南在国际实践指南注册平台(www.guidelines-registry.cn)上注册。

2.使用者与目标人群:本指南供中国内分泌与代谢病科、普通内科、老年医学科、全科医师及康复治疗师、护士等与糖尿病相关的专业人员使用。指南推荐意见的应用目标人群为中国需要进行运动干预的 T2DM 患者。

3.指南工作组:本指南委员会成立了多学科(包括内分泌与代谢病科、运动医学科、康复科等)专家工作组,具体包括 5 个工作组(统稿专家组、执笔专家组、证据评价组、外审专家组、秘书组)。

4.利益冲突声明:本指南工作组成员均填写了利益冲突声明表,不存在与本指南撰写内容直接相关的利益冲突。

5.临床问题遴选和确定:通过系统检索糖尿病运动干预领域已经发表的指南和系统评价等文献,收集临床问题,由专家团队针对核心问题进行讨论,并对其重要性进行评分,最后确定本指南需要解决的临床问题。

6.证据检索:针对最终纳入的临床问题,按照“人群、干预(暴露)、对照和结局”对其进行解构,并根据解构的问题制定检索策略和检索中英文数据库。根据前期筛选的临床问题确定相应的检索策略。检索

PubMed、Embase、Cochrane Library、中国生物医学文献数据库、万方和中国知网等数据库,纳入荟萃分析、系统评价以及随机对照试验、队列研究、病例对照研究等,检索时间为建库至 2024 年 3 月 31 日。

7.证据评价:本指南将证据级别分为 A、B、C、E。证据级别 A:证据基于多项随机对照试验或 Meta 分析;证据级别 B:证据基于单项随机对照试验或多项非随机对照研究;证据级别 C:仅为基于小规模研究、回顾性研究和注册研究结果;证据级别 E:专家共识或临床经验(附录 1)。

8.推荐意见形成:由指南执笔组成员向专家组成员陈述每条推荐意见,展示相关证据且阐明其质量等级,专家组成员对文献和证据进行确认。提出推荐意见并达成共识,最终形成推荐意见。

9.指南更新:指南工作组计划在 3 年左右时间对本指南进行更新。更新方法按照国际指南更新流程进行。

第三章 本指南常用术语

1.体力活动(physical activity, PA)与运动(exercise):体力活动和运动常交替使用,但这两个术语并不是同义词。体力活动是由骨骼肌收缩产生的任何身体运动,使能量消耗增加到基础代谢水平以上,通常是指在身体活动分类中能够增强健康的身体活动。体力活动可以分为职业、交通、家务和休闲四大类。运动是休闲类的体力活动,是有计划、有组织、可重复,旨在改善或保持体质健康的身体表现或健康的身体活动。

2.体力活动水平(level of physical activity):是描述个体进行规律有氧运动水平的概念,与肌肉发达程度、体重、工作强度、时间和频率相关。体力活动水平分类与个体在特定水平获得的健康收益有关。体力活动水平分为以下 4 个级别:(1)非活跃状态(inactive):在日常生活的基活动之外没有进行任何中等或较大强度的身体活动。(2)体力活动不足(insufficiently active):进行一些中等强度或较大强度的身体活动,但是每周达不到 150 分钟(min)的中等强度身体活动或 75 min 的较大强度活动或等效组合。该水平身体活动低于满足成人身体活动指南的目标范围。(3)体力活动活跃(active):每周进行相当于 150~300 min 的中等强度身体活动,或 75~150 min 的较大强度身体活动或等效组合。该水平身体活动达到成人身体活动指南的目标范围。(4)体力活动非常活跃(highly active):每周超过 300 min 的中等强度、150 min 的较大强度身体活动或等效组合身体活动。该水平身体活动超过成人身体活动指南的目标范围。

3.规律运动(regular exercise):是指至少连续 3 个

月、每周 3 次、每次 30 min 以上中等强度的运动。

4.体适能(physical fitness):是指能够充满活力地执行日常任务,没有过度疲劳,并有充足的能量享受休闲时光和应对紧急情况的能力。体适能包括:心肺耐力或有氧能力、肌肉力量、肌肉耐力、身体成分、柔韧性、灵活性、协调性、平衡能力、做功能力、反应时间和运动速度。体适能可分为健康相关和运动表现相关两类,通常将前 5 项(心肺耐力或有氧能力、肌肉力量、肌肉耐力、身体成分、柔韧性)列为与健康相关的体适能,后 6 项(灵活性、协调性、平衡能力、做功能力、反应时间、运动速度)列为与运动表现相关的体适能。

5.心肺耐力(cardiorespiratory fitness/aerobic fitness):也称为有氧能力,是指持续身体活动中呼吸、循环系统供氧及骨骼肌利用氧气的的能力。心肺耐力的客观测量指标是最大摄氧量(maximal oxygen uptake, VO_{2max}),它是指人体在进行有大量肌肉群参加的长时间剧烈运动中,当心、肺功能和肌肉利用氧的能力达到本人极限水平时,单位时间内(通常以每分钟为计算单位)所能摄取(利用)的氧量。通常用峰值摄氧量(peak oxygen uptake, VO_{2Peak})来描述有慢性疾病和健康问题人群的心肺耐力。心肺耐力是健康相关体适能的核心要素,较高水平的心肺耐力可显著降低人体 CVD 和全因死亡率。

6.有氧运动(aerobic exercise):也称为耐力运动,是指身体大肌群有节奏的、较长时间的持续运动,这类运动所需的能量是通过有氧氧化产生的。有氧运动可改善心肺耐力,优化人体代谢功能(如血糖、血脂等)。有氧运动的常见运动方式包括快走、跑步、广场舞、太极拳、骑自行车和游泳等。

7.间歇性运动(interval exercise):广义是指剧烈运动之间有间歇时间进行休息,是目前运动处方(exercise prescription, ExRx)的研究热点。间歇性运动总运动量较低,仍会产生与传统耐力运动相似的生理适应性,当两者总运动量相同时,间歇性运动产生的生理适应性会更好。间歇性运动通常是短时间(20~240 s)较大至次最大强度运动与等量或更长时间(60~360 s)的低至中等强度运动交替进行,间歇性 ExRx 主要考虑运动和间歇的强度、时间以及间歇的次数。对于体力活动水平较低或患有慢性疾病的个体来说,应慎重采用高强度间歇性运动(high intensity interval exercise, HI-IE),可以简单地将步行纳入间歇方式,即快走和慢走交替进行。

8.间歇性较大强度生活方式体力活动(vigorous intermittent lifestyle physical activity, VILPA):是指在日常生活中进行的短暂剧烈运动(最长 1 或 2 min),例如在上下班途中或从一个地方到另一个地方时进行快速

步行或爬楼梯。

9. 无氧运动(anaerobic exercise): 是指在高强度运动状态下, 骨骼肌在没有足够氧气的情况下进行能量代谢的一种运动形式。无氧运动主要依靠肌肉中的糖原通过无氧代谢产生能量, 主要由三磷酸腺苷-磷酸肌酸(ATP-PC)系统和糖酵解提供能量。这类运动通常持续时间较短(10~30 s), 强度较高(全力运动), 如举重、短跑、短道速滑、跳跃等。

10. 抗阻运动(resistance exercise): 又称力量练习, 包括增加骨骼肌力量、耐力、爆发力和体积的体力活动或运动, 是指人体调动身体的骨骼肌收缩来对抗外部阻力的运动方式。抗阻运动可以利用自身重量或者训练器械(如弹力带、杠铃、哑铃或固定器械)实施。肌肉爆发力是指完成动作的速度。随着年龄的增长, 肌肉爆发力的下降速度比肌肉力量或肌肉耐力的下降速度更快, 爆发力训练在保持平衡和预防摔倒方面的作用愈加重要。

11. 柔韧性运动(flexibility exercise): 也常被称为伸展运动或拉伸运动, 是一种旨在增加肌肉的伸展性和关节活动范围的运动形式。柔韧性是身体健康和运动表现的重要组成部分, 有助于提高运动效率, 减少受伤风险, 并可以改善身体的整体运动能力。关节活动幅度与韧带、肌腱、肌肉、皮肤和其他组织的弹性和伸展能力有密切关系。

12. 最大心率(maximum heart rate, HR_{max}): 运动中心率随运动强度的增加而升高, 当运动强度增加到一定水平, 心率不再随运动强度增加, 达到稳定状态, 称为最大心率。在运动强度设定中, 常使用最大心率这个指标, 有条件时可以通过运动负荷试验直接测得最大心率, 当条件不允许时, 也可使用公式($HR_{max}=207-0.7 \times \text{年龄}$)推测 HR_{max} , 此公式适用于所有年龄段和体适能水平的成年男女。

13. 储备心率(heart rate reserve, HRR): 是指实际测量或预测的最大心率与安静心率之间的差值($HRR=\text{最大心率}-\text{安静心率}$), 是建立靶心率和评价运动强度的一种方法。基于 HRR 的靶心率计算公式为: 靶心率 $=(HRR \times \text{目标强度}\%) + \text{安静心率}$ 。HRR 反映了人体在劳动或运动时心率可能增加的潜在能力。

14. 代谢当量(metabolic equivalent, MET): 是活动时的代谢率与安静时代谢率的比值。1 MET 相当于安静、坐位时的能量代谢率, 即每分钟摄氧量 $\approx 3.5 \text{ ml/kg}$ 。MET 是一种有效、便捷、标准的定量描述多种行为和体力活动绝对强度的方法。成年人中, 低强度体力活动为 1.6~2.9 MET, 中等强度体力活动为 3.0~5.9 MET, 较大强度体力活动为 ≥ 6 MET。梅脱-小时/周(MET-h/wk)或梅脱-分钟/周(MET-min/wk)是估算运

动量的标准单位, 分别相当于 1 周内以 1 MET 的运动强度运动多少小时和 1 周内以 1 MET 的运动强度运动多少分钟。

15. 1-RM(one-repetition maximum): 1 次最大重复阻力, 是动态肌肉力量的标准评价方法, 在正确姿势和一定规则下全关节活动范围所达到的最大抗阻阻力或最大力量。是评估个人在特定运动中最大力量的标准方法, 广泛应用于力量训练领域。常用 1-RM 百分比设定抗阻运动的强度。

16. 6-RM(six-repetition maximum): 6 次最大重复力量, 是多次最大重复力量测试的一种, 可用于预测 1-RM, 也可作为肌肉力量随时间变化的指标。是个体能够连续完成 6 次而无法继续完成下一次的 maximum weight。

17. 主观用力感觉量表(rate of perceived exertion, RPE): 最常用的是 Borg 主观用力感觉量表, 有 6~20 分和 0~10 分两种形式, 6 分和 0 分分别在两个量表中表示“毫不费力”, 20 分和 10 分分别在两个量表中表示“最大用力”。近些年来多采用 0~10 分主观用力感觉分类量表, 5~6 分表示中等强度, 7~8 分表示较大强度。

18. 体力活动准备问卷(physical activity readiness questionnaire for everyone, PAR-Q+): 是目前国际上公认的在进行运动测试和运动前对受试者必须进行问卷调查的问卷, 适用于所有人群。可作为运动前的自我健康筛查工具, 也可以作为专业人员的辅助工具用于筛查流程外的信息。通过问卷调查, 可明确在运动测试和运动前是否需要咨询相关的专业人员(如医师)。需要注意, 该问卷在使用时必须采用完整形式, 不得随意改动或摘录。有效期是完成问卷后 12 个月之内, 如果身体状况发生变化, 有回答“是”的问题, 之前的问卷结果就无效, 需要重新回答问卷内容。

19. 结构化运动(structured exercise): 指的是一种有计划、有组织、有针对性的运动模式。它根据个人的健康状况、体能水平、运动目的以及时间安排等因素, 制定出一套科学合理的运动计划, 以便运动者能够在规定的时间内, 按一定的流程和强度形成一系列运动动作, 以达到预期的运动效果。

20. 整理运动(cool-down): 也称为放松阶段, 是运动后的一部分, 旨在逐渐降低运动强度和心率, 帮助身体平稳地从较高强度的运动状态过渡到静息状态。整理运动对于恢复非常重要, 它可以带来多种健康益处, 包括减少肌肉疼痛和损伤风险、促进肌肉的恢复和重建、提高柔韧性、降低心血管系统的压力等。

21. 运动处方(exercise prescription): 根据患者年龄、性别、一般医学检查、运动试验、身体素质/体适能测试、心血管/运动器官功能状况, 结合主观和客观条件, 用处方的形式制定对患者适合的运动内容、运动强

度、运动时间及频率,并指出运动中的注意事项,以达到科学地、有计划地进行康复治疗或健身的目的。

22. 运动性热病(exercise fever):又称为运动性发热(exercise fever),是指在剧烈或长时间的运动中,由于身体产热超过散热能力,导致体温异常升高的情况。这种情况通常发生在高温环境中进行运动时,尤其是湿度较高时,因为高湿度会降低汗液蒸发的效率,减少身体散热,也可能因为脱水等原因而引发。运动性热病是一种紧急医疗状况,可能导致器官损伤甚至死亡。

第四章 2型糖尿病运动治疗概述

当前,全球约 5.37 亿成年人(20~79 岁)患有糖尿病,T2DM 在糖尿病中占比超过 90%^[2]。且随着时间的推移,全球 T2DM 患者的 BMI 持续升高^[15]。中国 T2DM 的患病率在 40 年间持续升高,2021 年中国糖尿病(20~79 岁)相关健康支出总额约为 1 653 亿美元,在糖尿病人群中,体力活动不足每年会产生约 65.18 亿元人民币的医疗保健费用^[16]。中国 T2DM 患者体力活动水平普遍较低,与现代化的生活方式、城市化、久坐等因素相关,城市居民相较于农村居民体力活动水平更低,且老龄化社会的快速进程使得大量的老年患者因疾病、身体功能下降和社会环境限制而导致体力活动水平进一步下降^[1]。体力活动不足导致的心肺耐力下降是 T2DM 发生、发展及预后的主要影响因素之一,与 CVD、全因死亡率和多种癌症的死亡率升高呈高度相关^[17]。提高 T2DM 患者体力活动水平,通过安全、有效的运动助力身体机能改善和糖尿病治疗达标是已被证明的有效方式。

T2DM 的治疗目标是通过制定高度个体化的治疗计划,包括健康教育、血糖管理,降低 CVD 风险以及定期的并发症筛查,以达到和维持最佳的血糖、血脂和血压水平,优化体重,预防或延缓慢性并发症的发生发展。运动治疗是贯穿 T2DM 始终的治疗方式之一。任何人,不论年龄、性别或身体状况,适量运动都是有益的^[18]。任何类型的体力活动均可增强胰岛 β 细胞功能^[19]、改善胰岛素敏感性^[20]、调节血管功能^[21,22]和改善肠道微生物群^[23],所有这些都有助于实现更好的糖尿病和健康管理以及降低疾病风险。运动可以改善 T2DM 患者包括血糖、血脂、血压、体重及体脂率等在内的多种代谢异常^[24,25]。运动增加糖尿病患者血糖达标时间,减少日间血糖波动,显著增加糖尿病患者的葡萄糖在目标范围内时间(glucose in range, TIR),降低平均血糖波动幅度(mean amplitude of glycemic excursion, MAGE),且不会显著增加低血糖^[26]。运动也被证实可

以减少 CVD 的风险因素。在 Look AHEAD 试验中,T2DM 患者通过饮食联合运动的强化生活方式干预降低了甘油三酯(triglyceride, TG)水平并增加了高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDL-C)水平^[27]。大庆糖尿病预防研究显示,在 T2DM 患者中,包括运动在内的生活方式干预可以降低心血管事件、微血管并发症、心血管和全因死亡的发生率,并延长患者预期寿命^[28]。同时,强化生活方式干预带来的更多体重减轻会使糖化血红蛋白(glycated hemoglobin A_{1c}, HbA_{1c})、收缩压、HDL-C 和 TG 水平得到更大的改善。因此,包括运动和减重在内的生活方式干预措施仍然是 T2DM 和 CVD 风险管理的重要方式。

第五章 2型糖尿病患者的运动前评估

推荐意见:

推荐意见 1 T2DM 患者在运动前应进行医学评估和运动评估(A)

推荐意见 2 对于大多数计划参加低至中等强度运动(如快走)的低风险患者而言,无心血管或微血管并发症时,无需进行运动前的医学评估(A)

推荐意见 3 久坐状态或合并多种慢性疾病的高危成年 T2DM 患者,建议在参加中等及较大强度运动前进行医学评估(A)

推荐意见 4 严重低血糖、糖尿病酮症酸中毒等急性代谢并发症、合并急性感染、增殖性视网膜病变、严重心脑血管疾病(不稳定性心绞痛、严重心律失常、一过性脑缺血发作)等情况下暂停运动,病情控制稳定后方可逐步恢复运动(A)

T2DM 患者的健康状态依年龄、病程、并发症、合并症、用药及体力活动习惯等而存在较大差异。运动前应根据既往运动习惯、CVD 风险及目标运动强度等决定评估内容^[29]。通常包括运动前的医学评估、运动风险评估及运动能力评估^[10, 28]。

一、运动前的医学评估

1. 疾病控制情况:包括病史、生命体征、体格检查、药物治疗情况、血糖控制情况、低血糖风险及肝功能、肾功能等,以及临床医师认为必要的相关检查等。

2. 糖尿病急性并发症和慢病并发症的筛查:一般应包括血糖、尿常规、尿微量白蛋白/肌酐比值、眼底照相、周围神经病变检查、足背动脉搏动等检查。

3. 心血管风险评估:中国动脉粥样硬化性心血管疾病风险预测研究(prediction for ASCVD risk in China, China-PAR)模型是基于 China-PAR 研究随访的大

样本队列数据建立的适用于中国人心血管病 10 年风险和终生风险评估的模型,可以通过简便快速的方法,进行自身动脉粥样硬化性心血管疾病发病风险的评估^[30]。需进一步对有症状或 CVD 高危的患者进行运动负荷试验或运动心肺试验以评估其心肺耐力及运动中的 CVD 风险。

运动前需要对风险人群进行评估,递增运动负荷试验适用于符合一项或多项标准的成人,具体见表 1。

表 1 运动前需要接受医学评估的风险人群

序号	具体说明
1	年龄>40 岁,有糖尿病,有或无心血管风险因素
2	年龄>30 岁,且符合以下任何一项: T2DM 病程>10 年 高血压 吸烟 血脂异常 增殖性或增殖前期视网膜病变 慢性肾脏病
3	不论年龄,符合以下任何一项: 已知疑似心血管、冠状动脉或外周动脉疾病 自主神经病变 晚期肾病伴肾衰竭 备注:鼓励在有条件的情况下,对开具运动处方的所有患者进行体适能的评估

注:T2DM 为 2 型糖尿病

二、运动风险评估

糖尿病患者可通过 PAR-Q+ 进行运动风险评估。对于老年患者可通过跌倒风险自评问卷(self-rated fall risk questionnaire, self-rated FRQ)进行跌倒风险评估。

三、运动能力评估

1.心肺耐力或有氧运动能力评估:采用运动负荷试验或运动心肺试验评估,通常采用运动平板或功率车测试方案,场地和设备有限时也可采用 2 min 踏步测试等场地测试方案。心肺耐力反映人体整体的活动能力,与健康状态密切相关。心肺耐力低下者各项身体机能下降,CVD 风险、全因死亡风险明显升高,比吸烟、高血压、高胆固醇和糖尿病等的危害更大,低心肺耐力已被认定为 CVD 危险因素之一,与 10 年 CVD 风险密切相关。长期规律的有氧运动是提高心肺耐力的有效方式。心肺耐力评估既可以用于 CVD 风险的筛查,又可以进行个体化运动指导,使运动更加科学、安全、有效。

2.肌肉适能评估:T2DM 患者可采用握力或 6-RM

测试或预测最大肌肉力量,依测试条件可选择测力板、加速度计等评估爆发力等其他肌肉适能。

3.平衡能力:可通过闭眼/睁眼单足站立评估。

4.柔韧性:可通过背抓试验和(改良)坐位体前屈评估。

5.身体活动能力:对于低体重老年患者必要时可通过简易身体表现功能量表(short physical performance battery, SPPB)评估身体活动能力(附录 2)。

6.身体成分:可依测试条件选择皮褶厚度、生物电阻抗或双能 X 线吸收法对身体成分进行评估。

运动行为与运动处方的执行和依从性相关,受行为、心理和个人运动技能等影响。可通过运动改变阶段问卷、运动改变过程问卷、运动决策平衡问卷、运动自我效能问卷等进行评估。

糖尿病前期(空腹血糖受损、糖耐量异常、空腹血糖受损+糖耐量异常)人群、糖尿病高危人群及病情控制稳定的 T2DM 患者均可在恰当的运动评估后进行合理的运动^[5]。建议 T2DM 患者在运动治疗前与临床医师沟通,以排除运动禁忌证,制定安全可行的运动方案。

第六章 2 型糖尿病患者运动处方的制定原则

推荐意见:

推荐意见 5 T2DM 患者的运动处方应包含有氧、抗阻、柔韧性和平衡练习几个类别的运动计划(A)

推荐意见 6 在制定运动处方时应考虑运动治疗的目的、时效性及每个患者的特殊注意事项,每个类别的运动计划应包括频率、强度、时间、方式以及总量、进阶和注意事项(A)

推荐意见 7 T2DM 患者应保持不低于 3~5 d/周的运动频率,而在运动量相等的情况下,1~2 d/周的运动频率同样可以获得健康收益。低频率-长运动时间的运动会增加运动损伤的风险(A)

推荐意见 8 T2DM 患者应以达到中等至较大强度的运动为目标(A)

推荐意见 9 T2DM 患者至少应达到 150 min/周中等强度的有氧运动时间(A)

推荐意见 10 T2DM 患者至少应达到 1 000 kcal/周的体力活动能量消耗(A)

推荐意见 11 在运动进阶过程中,应遵循由低强度起始,缓慢进阶至目标运动强度和运动量(A)

T2DM 患者的运动治疗应遵循合理的运动处方。理想的运动处方或运动训练计划应该是在运动者的健

康状况、功能能力以及自然环境和社会环境允许的范围内,满足他们对健康和体适能的要求(运动处方示例见附录 3~9)。T2DM 患者的运动处方应包含以下几个类别的运动计划,即有氧、抗阻、柔韧性和平衡练习。在制定运动处方时应考虑运动治疗的目的、时效性及每个患者的特殊注意事项,每个类别的运动计划应包括频率(frequency,每周几次)、强度(intensity,费力程度)、运动时间(time,持续时间)、方式(type,模式或类型),以及每周总运动量(volume,总量)和进阶(progression,累进),即 ExRx 的 FITT-VP 原则。

一、运动频率

运动频率是指每周执行运动计划的天数,在促进健康和改善健康体适能中起重要作用。世界卫生组织推荐有氧运动频率不少于 3 d/周,对大多数成年人将每周的运动时间分布在 3~5 d 是达到体力活动推荐量的有利策略^[18]。抗阻运动时,同一肌群的运动频率至少间隔 1 d,2~3 d/周。柔韧性运动的频率最好每天都进行。鼓励患者 3~5 次/周、间隔不超过 2 d 的运动以达到推荐的运动量。但受多种因素影响,每周仅能运动 1~2 次,仍可获得健康益处,如降低全因死亡风险、CVD 和癌症的死亡风险等,但通过提高单次运动量、降低运动频率达到推荐运动量,如每周仅运动 1~2 次,可能会增加运动损伤和运动中心血管事件的风险。

二、运动强度

是指运动过程中的用力程度,是决定运动量的核心指标。有氧运动强度取决于速度、坡度和功率等,通常用 VO_{2max} 、 HR_{max} 、HRR 等计算相对运动强度,也可通过每分钟能量消耗(如 kcal/min)或 MET 表示绝对运动强度。抗阻运动的强度取决于局部肌群对抗阻力或承受重量的大小。增加运动强度会带来健康/体适能益处的积极剂量反应,低于最低强度阈值的运动将无法充分获得生理指标的变化。在制定 T2DM 患者的运动处方时,建议采用相对强度。通过递增运动负荷心肺耐力测试直接测得运动中的生理指标是确定运动强度的首选方法。根据运动习惯、健康状态确定起始运动强度。建议以低强度有氧运动(30%~39% HRR)起始,逐步增至中等强度(40%~59% HRR)至较大强度(60%~69% HRR)有氧运动。主观用力感觉可以调整或细化运动强度。谈话试验是一种有效且可靠的运动强度评价方法,它可以代替乳酸阈、通气阈和呼吸补偿点,作为制定和监测运动强度的一种主要方法。确定有氧运动强度的常用方法见附录 10。

三、运动时间

包括单次运动时间和累计运动时间。推荐的运动时间可以连续完成,也可以分次累计完成,每天用于提

高心肺耐力的有氧运动时间应在 30 min 以上。

四、运动方式

根据改善身体运动能力的不同可分为有氧运动、抗阻运动、柔韧性运动和平衡、协调性运动等。有氧运动的方式主要有步行、水中运动、跑步、骑自行车或功率车、上下台阶、登山、游泳、滑雪、滑冰、球类运动,以及我国民族传统体育项目,如太极拳、五禽戏、八段锦、扭秧歌等。步行是一种被人们普遍接受的有氧运动方式。抗阻运动的方式主要有徒手练习、器械练习、弹力带练习等。

五、每周运动量

运动强度、时间、频率是影响和决定运动总量的因素。有氧运动量由运动的时间、频率和强度共同组成;抗阻运动的运动量由运动的强度、频率和每个肌群练习的组数及每组重复的次数组成。运动量在实现运动促进健康/体适能效应中起重要作用。推荐 T2DM 患者每周至少累计进行 150~300 min 中等强度或 75~150 min 较大强度的有氧运动,或中等强度和较大强度有氧运动相结合的等效组合,每周运动量超过 300 min 的中等强度或 150 min 较大强度有氧运动将获得更多健康益处。

估算运动量的标准单位可以用 MET-h/wk 和千卡/周(kcal/wk)表示,例如每周 5 d、每天 30 min,强度为 4 MET 健步走的周运动量为 $0.5 h \times 4 MET \times 5 = 10 MET-h$ 。可采用公式($kcal=1.05 \times MET-h \times$ 公斤体重)计算运动中的能量消耗。对于大多数成年人来说,每周运动量达到 8.5~17.0 MET-h 是一个合理的运动量,这一运动量大约相当于消耗 1 000~2 000 kcal/wk 的能量,可通过 150~300 min/wk 中等强度运动完成。低于此运动量也可作为初始运动者带来健康或体适能益处。步数是评估运动量的简便方法,100 步/min 的步频符合中等强度运动。10 000 步/d 常被作为运动的目标,但是与获得健康益处有关的每天最低运动量是 6 000~8 000 步/d,其中至少应该有 3 000 步是快走(步频 \geq 100 步/min)。

六、运动进阶

运动进阶取决于机体的健康状态、年龄、个人运动爱好和目的,以及机体对当前运动水平的耐受能力。对于健康成年人来说,运动进阶应包括适应阶段、提高阶段和维持阶段 3 个阶段。进阶可以通过增加个人所能耐受的 FITT 原则中任一组分,通常是先提高运动的频率和每天运动的时间,最后提高运动强度。在运动计划的开始阶段,特别是无规律运动习惯者,采取“低起点,缓慢加”的策略,可降低运动相关的心血管事件和损伤风险,以及增加个体对运动的适应性和依从性。

第七章 不同运动类别的推荐意见

一、有氧运动

推荐意见:

推荐意见 12 规律有氧运动可以使 HbA_{1c} 下降 0.5%~0.7%(A), 基线 HbA_{1c} 较高者运动后下降更明显(B), 有医务人员参与并监督、提高运动强度效果更好(B)

推荐意见 13 推荐 T2DM 患者进行每周 3~7 d, 每次间隔不超过 2 d 的有氧运动(A)

推荐意见 14 推荐 T2DM 患者进行中等强度的有氧运动。体适能水平较高的患者可进行中等至较大强度或较大强度的有氧运动(A)

推荐意见 15 推荐 T2DM 患者每次运动时间不少于 10 min, 每天累计 30~60 min, 每周累计至少 150 min 的中等强度有氧运动, 若运动强度提高, 可适当缩短每次运动时间(A)

推荐意见 16 推荐每周不少于 3 d、6 000 步/d 的步行, 步频根据自身情况不低于 60~90 步/min, 最好能达到 100 步/min 的步行运动处方(B)

短期有氧运动可以改善成年 T2DM 患者的外周胰岛素敏感性以及线粒体功能^[31,32]。7 d 较大强度的有氧运动可以在不降低体重的情况下, 通过增加胰岛素诱导的葡萄糖消耗和抑制肝糖原生成来改善血糖水平^[33]。T2DM 患者进行规律的有氧运动可以减少每日血糖波动, 降低 HbA_{1c} 0.5%~0.7%^[29], 改善胰岛素敏感性、血脂、血压、其他代谢参数和体适能水平, 并独立于减重获益^[34]。在医务人员监督下进行 12 周 100 min/周中等至较大强度有氧运动可以使 HbA_{1c} 下降 0.96%^[35]。

由于 1 次运动诱导的胰岛素作用持续时间 < 72 h, 因此两次运动间隔不应超过 2 d^[18, 36]。伴有合并症的成年人和患有 T2DM 的老年人应该在身心健康允许的范围内进行尽可能多的有氧活动。

步行是最常用的有氧运动方式, 可通过调整步数、步频来制定运动处方。推荐每日步数不少于 6 000 步^[37], 成年患者应达到累计 8 000~10 000 步/d, 老年患者应达到累计 6 000~8 000 步/d^[38], 对于老年女性而言, 7 500 步/d 是个更合理的选择^[39]。若健康状况欠佳, 用 500 步中断久坐也是有益的。步频根据自身情况不低于 60~90 步/min, 最好能达到 100 步/min (中等强度运动的最低阈值)^[40]。

二、抗阻运动

推荐意见:

推荐意见 17 规律的抗阻运动可使 HbA_{1c} 下降约 0.4%, 可降低骨骼肌流失率, 提高骨骼肌葡萄糖处理率(A)

推荐意见 18 推荐 T2DM 患者进行每周 2~3 d 规律抗阻运动(A)

推荐意见 19 无经验的 T2DM 患者可以从 20% 1-RM 负荷开始, 进行每周 1 次全身大肌群的抗阻运动(B)

抗阻运动有助于成年 T2DM 患者改善血糖、胰岛素抵抗、血压、肌肉力量、体脂肪量和瘦体重^[41]。肌肉质量的增加有利于提升个体的葡萄糖处理率^[42]。与单纯限制热量摄入减重相比, 适度限制能量摄入联合抗阻运动可增加 T2DM 老年人的瘦体重, 降低骨骼肌流失率, 并使 HbA_{1c} 下降更多^[43]。有关不同强度和持续时间的抗阻运动对肌肉质量影响的数据有限。正常体重 T2DM 患者单纯抗阻运动可使 HbA_{1c} 下降 0.44%, 而瘦体重的增加是 HbA_{1c} 水平降低的独立预测因素^[44,45]。

无抗阻运动经验的患者在开始抗阻运动的 12 周内, 可采用较低负荷、离心运动的训练方案, 如每次多关节练习 < 3 组, 强度不超过 50% 1-RM, 每周 1 次^[46]。T2DM 患者制定抗阻运动处方应遵循逐步改善肌肉耐力、增加肌肉体积、提高最大肌力以及提高爆发力的原则。

三、联合运动

推荐意见:

推荐意见 20 3~6 个月有氧运动联合抗阻运动的结构化运动处方可以使 HbA_{1c} 下降最高达 0.89%, 有氧运动累计超过 150 min/周效果更佳(A)

推荐意见 21 推荐 T2DM 患者进行有氧运动与抗阻运动相结合的联合运动(A)

有氧运动联合抗阻运动的干预效果可能优于单独的有氧运动或抗阻运动模式。与单独进行任何一种类型的运动相比, 接受联合运动训练项目的 T2DM 成人患者运动量更大、HbA_{1c} 降幅更大^[34, 47,48]、体重减轻更多, 心肺耐力提高更多^[29, 49]。基于社区为期 6 个月、每周 3 次的结构化运动处方可使 HbA_{1c} 下降 0.38%^[50], 超过 150 min/周的结构化运动可使 HbA_{1c} 下降 0.89%, 不足 150 min 则仅下降 0.36%^[51]。

四、柔韧性运动

推荐意见:

推荐意见 22 单纯柔韧性运动对血糖水平无显著影响,但可增强关节活动度,改善灵活性,预防跌倒(A)

推荐意见 23 推荐 T2DM 患者进行至少 2~3 d/周的平衡及柔韧性练习(C)

推荐意见 24 将柔韧性运动融入某项运动当中以便更好地提高身体功能,并改善血糖(C)

增强关节柔韧性的运动有益于改善老年 T2DM 患者的关节活动度。除了正常衰老过程中产生的晚期糖基化终产物导致关节活动受限之外,高血糖也会加速关节活动受限^[52,53]。尽管柔韧性运动可增加活动范围和灵活性,但通常对血糖水平无显著影响,除非融入到某种运动中(如瑜伽)^[51, 54]。单独柔韧性运动或与抗阻运动相结合,可以改善 T2DM 患者的关节活动度,提高依从性^[52,53]。此外,柔韧性运动通常强度低、更容易进行,可为健康欠佳的老年人提供一种更积极的生活方式。

许多下肢和核心抗阻运动也可作为平衡性运动^[55, 56]。T2DM 成人进行抗阻运动可以通过改善全身平衡来降低跌倒风险,即使对于伴有周围神经病变的成年人也是如此^[57-60]。对于患有 T2DM 的老年人,即使腿部力量没有明显下降,其跌倒风险也会增加,在家进行平衡性运动可以降低跌倒风险^[58, 60]。

五、中断久坐

推荐意见:

推荐意见 25 中断久坐可以改善血糖控制、降低 CVD 风险,并延长寿命(A)

推荐意见 26 所有 T2DM 患者,特别是有胰岛素抵抗和 BMI 较高的患者应每 30 分钟进行 1 次任何强度的活动以中断久坐,以改善血糖控制(A)

久坐行为(如看电视、办公桌工作等)是 T2DM 的独立危险因素^[28]。每多坐 1 h, T2DM 的患病风险增加 22%^[61,62]。即使是体力活动活跃的 T2DM 患者久坐仍可导致血糖升高^[63]。

T2DM 患者如在 8 h 内中断长时间久坐,每隔 30 min 进行 3 min 步行或简单抗阻运动皆有助于改善血糖、胰岛素敏感性和 TG 水平^[29, 64]。此外,与结构化运动相比,每隔 30 min 以站姿(总计 2.5 h/d)和低强度步行(总计 2.2 h/d)代替久坐时间,能更有效地改善 24 h 血糖水平和胰岛素敏感性^[31, 34]。对于糖耐量异常

者, 12 h 内,每隔 1 h 活动 5 min,比一天开始时持续 1 h 中等强度运动可更有效改善血糖和胰岛素敏感性^[65, 66]。久坐 ≥ 4 h/d 与减少久坐时间相比,用任何强度的运动代替 30 min 坐姿可使全因死亡和主要心血管事件发生风险进一步降低 2%^[67]。

每天在日常活动中进行 4~5 次、每次不超过 1 min 的较大强度运动,如快跑、高抬腿走等,可获得明显的健康益处,全因死亡率、CVD 死亡风险和癌症死亡风险明显下降,推荐 T2DM 患者在通过运动风险评估后以采用较大强度 VILPA 作为中断久坐的方式之一。

六、高强度间歇性运动

推荐意见:

推荐意见 27 病情稳定、体质状态较好的 T2DM 患者可考虑用 HIIE 替代持续强度有氧运动(B)

推荐意见 28 伴有并发症的 T2DM 患者进行 HIIE 前,应先进行风险筛查,以避免潜在的运动风险(C)

较高强度的有氧运动通常被认为优于低强度运动^[65]。HIIE 是指进行 10 s 至 4 min 的有氧运动,运动强度保持在 VO_{2max} 的 65%~90%或在 HR_{max} 的 75%~95%,然后进入 12 s 至 5 min 的主动或被动恢复期^[68,69]。HIIE 可以引起明显的生理和代谢适应性改变。1 次 10 min 的 HIIE(10 次 \times 60 s 自行车运动,约 90% HR_{max} 的强度)就可降低成年 T2DM 患者的餐后高血糖^[18, 69]。作为一种时间效率高的运动方式,HIIE 还可显著改善成年 T2DM 患者的健康水平,降低 HbA_{1c} 和 BMI。与相同能量消耗的连续步行(中等强度)相比,成年 T2DM 患者进行间歇性步行(低强度和高强度交替进行 3 min)可以提高体适能、优化身体构成、改善血糖水平^[70],并增强胰岛素敏感性和胰岛 β 细胞功能^[71,72]。成年 T2DM 患者在 6 次较小运动量、高强度(10 次 \times 60 s 自行车运动,达到 90% HR_{max} ,其间休息 60 s,持续 2 周)的 HIIE 后,柠檬酸合成酶的最大活性和骨骼肌线粒体蛋白含量都有所提高^[41, 73]。此外,HIIE 运动可在更短时间内更大幅度降低 HbA_{1c} 和 CVD 危险因素^[32, 74]、增强心脏舒张功能^[75]、增加左心室壁质量、通过增加每搏输出量和左心室射血分数继而增加舒张末期血容量^[76],改善内皮功能^[77],特别是规律有氧训练可改善一氧化氮合酶介导的内皮依赖性舒张增加^[78]。

对于某些伴有并发症的 T2DM 患者,进行 HIIE 可能存在安全性问题。因此,进行 HIIE 的患者需临床病情稳定,至少已经参加规律中等强度有氧运动^[74]。对伴有某些并发症的 T2DM 患者,运动前需进行风险筛查,以避免潜在的运动风险。

七、民族传统体育

推荐意见:

推荐意见 29 八段锦或太极拳是中等强度运动,每周不少于 3 次、每次 40 min、连续 12 周的运动可使 HbA_{1c} 下降不少于 0.4%(C)

推荐意见 30 八段锦和太极拳是适宜的运动方式,尤其适用于老年 T2DM(C)

民族传统体育包括太极拳、五禽戏、八段锦、易筋经、六字诀、导引养生功等。中国健康成年人身体活动汇编中将以上多种传统体育定义为中等强度的综合性运动^[53, 79, 80]。

太极拳是我国传统武术,兼具有氧和抗阻运动的特性和优势,且有着松沉柔顺、圆活畅通、用意不用力的运动特点,是临床研究中 T2DM 和糖尿病前期患者常采用的一种运动方式。太极拳不仅在血糖控制上有显著效果^[77, 81],对于预防 CVD^[81, 82]、缓解关节疼痛^[82, 83]、增强平衡能力防摔倒^[5, 83, 84]、提升心理状态^[81, 84, 85]等都有良好作用,甚至优于有氧运动或某些疾病的标准疗法。此外,太极拳运动的参与者通常是以团队小组的模式开展活动,而团队模式能够有效提高患者治疗依从性,进而改善糖尿病的治疗效果。8~24 周、不少于每周 3 次、每次 40~60 min 的太极拳运动可使 HbA_{1c} 下降 0.4%~0.9%^[77, 80, 86]。

八段锦是基于中医基础理论,在我国流传已经上千年的中国传统保健气功,它通过对称性动作调身、调息、调心,共分为 8 个动作,简单易学。八段锦属中低强度的有氧运动,从中医角度而言,它通过肢体的舒缓伸展、疏通经络,使气血循经入脏腑,达到调节和改善脏腑、气血、阴阳的效果^[87, 88]。八段锦中较为特殊的意念锻炼能够影响大脑皮层功能活动,改善自主神经功能,从而有效调节情绪^[89]。此外,八段锦有利于改善 T2DM 患者内皮依赖性血管舒张功能^[88]。对于 T2DM 和糖尿病前期患者而言,规律的八段锦运动可有效降低空腹血糖和餐后血糖,减小血糖波动,同时能降低 HbA_{1c} 水平。12 周、每周 5~7 次、每次 40 min 的八段锦运动可使 HbA_{1c} 下降 0.6%~1.6%^[87]。

第八章 糖尿病急性并发症与运动

一、低血糖症

推荐意见:

推荐意见 31 使用胰岛素或胰岛素促泌剂的 T2DM 患者,为防止运动期间及运动后低血糖,应根据需要补充碳水化合物,或在医师指导下调整降糖药物的种类和剂量(B)

推荐意见 32 减少基础胰岛素用量、睡前补充食物和(或)连续血糖监测是降低运动后夜间低血糖风险的主要措施(B)

推荐意见 33 间歇性运动或混合性运动有助于减少运动中低血糖风险,提高运动期间血糖稳定性(C)

在使用胰岛素和胰岛素促泌剂(如磺脲类药物和格列奈类药物)的 T2DM 患者中,运动性低血糖的风险可能会增加^[90~92],因此须考虑给药时间、剂量及运动量。除了改变治疗药物方案和补充碳水化合物外,在中等强度运动之前^[93]或之后^[5, 94]进行 10 s 短暂的较大强度冲刺力度短跑可以预防低血糖^[95],但需考虑运动的安全性。与连续中等强度运动相比,中等强度有氧运动中的 HIIE 也可以减缓血糖下降^[96~98]。在进行单次抗阻与有氧的联合运动时,与首先进行有氧运动相比,先进行抗阻运动可提高运动期间的血糖稳定性,并减少运动后低血糖的持续时间和严重程度^[99]。低血糖事件通常发生在运动后 6~15 h 内^[100],需警惕夜间低血糖事件。使用胰岛素的患者可通过避免在运动部位注射胰岛素,减少每日基础胰岛素剂量 20%,同时减少餐时胰岛素用量,晚间运动后摄入低升糖指数碳水化合物等方式并加强睡前或夜间血糖监测,将夜间低血糖的风险降到最低^[101]。

二、高血糖症

推荐意见:

推荐意见 34 T2DM 患者血糖>13.9 mmol/L 时,需监测血/尿酮体。酮体阳性时,不宜进行中等及以上强度运动。无高血糖相关症状时,可从低强度逐步开始运动(C)

推荐意见 35 较大强度运动后进行整理运动可改善运动后高血糖的情况(C)

血糖>16.7 mmol/L 时,无论是否合并酮症应谨慎运动^[74]。建议 T2DM 患者血糖升高时,应在无症状并且饮水充足情况下,从低强度逐步开始运动^[74, 102]。HIIE 可能会导致血糖短暂升高并在随后一段时间内持续升高^[103, 104],但大多数情况下不需要采取治疗措施,胰岛素治疗患者额外使用胰岛素和(或)较大强度运动后进行整理运动可以降低运动后高血糖^[103]。需警惕血

糖正常或血糖升高的糖尿病酮症酸中毒,口服钠-葡萄糖共转运蛋白 2 抑制剂(sodium-glucose cotransporter 2 inhibitor, SGLT2i)的成人 T2DM 患者应及时补水,并加强血糖和酮体监测^[47, 105]。建议血糖升高的患者即使没有明显的酮症,也需要在感觉良好时才能进行运动。

第九章 糖尿病慢性并发症与运动

一、糖尿病肾脏病

推荐意见:
推荐意见 36 糖尿病肾脏病不是运动禁忌证,不同分期糖尿病肾脏病患者均应积极运动,建议从低强度运动起始(E)
推荐意见 37 透析患者运动时需注意维持电解质平衡并及时纠正电解质紊乱(E)

糖尿病肾脏病(diabetic kidney disease, DKD)是一种由糖尿病导致的慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD),是引起终末期肾病(end stage renal disease, ESRD)的主要原因之一^[106]。DKD 患者未来发生肾功能衰竭以及 CVD 的风险显著增加^[107]。高血压与 CKD 关系密切,在肾脏疾病进展过程中可产生高血压,同时高血压可导致肾脏损害使肾功能减退,两者形成恶性循环^[108, 109]。血压升高不仅促进 DKD 的进展,亦增加了患者心血管事件的发生风险^[110]。DKD 不是运动的禁忌证,建议 DKD 患者避免进行导致血压过度升高的活动(如举重、较大强度有氧运动),且在活动期间避免屏息。

无论是否接受肾脏替代治疗,疲劳都是 CKD 患者一种常见且严重的症状^[111]。CKD 患者的体力活动随着肾功能下降而降低,开始血液透析后每周 12~16 h 透析中卧床状态,体力活动下降更为突出^[74]。因此为控制血压反应和疲劳,建议此类 DKD 患者选择低强度的运动。不管处于 CKD 分级中的哪一级,慢性肾病患者都应逐渐增加运动量。根据个体的临床状态和功能能力,起始运动强度应从低强度开始(30%~39% HRR 或 VO_2R)连续运动 10~15 min,或患者能耐受的运动量。运动时间可以每周增加 3~5 min,当可以连续运动 30 min 时再增加运动强度^[112]。高钾血症和低钾血症是维持性血液透析患者中常见的电解质紊乱,显著增加心血管事件的发生,严重时可危及生命^[102, 113]。因此,在透析治疗期间进行运动时,一定要及时纠正电解质紊乱。建议血液透析患者在透析后 2 h 开始运动。腹膜透析的患者在排空腹膜腔液体后再开始运动

^[112]。肾移植患者排斥反应期应降低运动强度,但仍可继续运动^[114]。

二、糖尿病视网膜病变

推荐意见:
推荐意见 38 增殖性视网膜病变和严重的视网膜病变(包括近期全视网膜光凝或其他近期眼科手术治疗的),应避免较大及以上强度以及会明显升高血压的运动(如拳击、高海拔的登山、潜水等特殊运动)以降低玻璃体出血和视网膜脱离的风险,也需避免冲撞性运动(如篮球、足球、橄榄球)(E)
推荐意见 39 糖尿病视网膜病变患者可通过 RPE 来监测运动强度(C)

轻度非增殖性视网膜病变患者不需要评估即可逐渐开始不超过中等强度的运动。对于增殖性视网膜病变和严重的视网膜病变(包括近期全视网膜光凝或其他近期眼科手术治疗的),应避免较大强度及以上强度的运动^[102];在没有进行运动负荷试验时,可使用 RPE 评分监测运动强度(评分范围 6~20 分, RPE 10~12 分)。对于患有不稳定或未经治疗的增殖性视网膜病变、近期行全视网膜光凝或其他近期眼科手术治疗的,禁止进行中等及以上强度运动。避免较长时间低头弯腰的活动或引起头部不适的活动。视网膜病变患者的运动还应考虑个体视力剩余程度。若存在明显视力损害,建议根据身体状况评估和运动测试结果来制定有氧运动计划。鼓励开展有同伴陪同的运动,如太极拳、民族舞蹈等。

三、糖尿病周围神经病变

推荐意见:
推荐意见 40 糖尿病周围神经病变患者应避免参与可增加足部损伤风险的运动,如长时间徒步、慢跑或在不平的路面上行走(B)
推荐意见 41 糖尿病周围神经病变患者更适合低负重运动,应避免需要高平衡能力的活动(C)

糖尿病周围神经病变(diabetic peripheral neuropathy, DPN)主要临床表现为双侧肢体麻木、疼痛、感觉异常等^[115],是糖尿病足溃疡的重要危险因素,也是患者跌倒及骨折的重要原因^[116]。由于 DPN 患者通常足部感觉迟钝、平衡能力差,跌倒和骨折的风险较高。因此,推荐患者避免参与可能增加足部损伤风险的运动,如长时间徒步、慢跑或在不平的路面上行走;同时,应避免需要高平衡能力的活动。DPN 患者可能更适合低

负重运动(如步行、自行车、划船、水中运动),但足底溃疡未愈合者需避免水中运动。运动时选择合适鞋袜,避免磨损,保持足部干燥。有条件者可通过步行足底压力测试判断适宜的步速。

四、糖尿病自主神经病变

推荐意见:

推荐意见 42 糖尿病自主神经病变患者运动时,应加强血糖、血压及心率监测,注意低血糖、血压反应异常、体温调节受损、静息心率升高和最大心率减慢的可能性(E)

推荐意见 43 可依据心率变异性调节运动强度,建议使用 RPE 评分监测运动强度(C)

推荐意见 44 T2DM 患者应在温度适宜的环境下锻炼,并携带充足的饮用水,以避免运动性热病(C)

糖尿病自主神经病变患者的临床症状表现具有多样性。可出现心血管功能异常,表现为心率和血压调节功能受损,引起体位性低血压;可表现为反复发作的低血糖症状;也可出现胃排空延迟和胃肠蠕动减慢,以及神经源性膀胱等。糖尿病自主神经病变患者运动时,应根据患者具体临床表现给予相应运动推荐,包括加强血糖、血压及心率监测,注意低血糖、血压反应异常、体温调节受损、静息心率升高和最大心率减慢的可能性增加。建议使用 RPE 评分监测运动强度。功率自行车或水中运动对直立性低血压较为有益;坐姿或半卧位(有助于保持血压)运动也常被推荐用于保持或增加肌肉力量。避免快速变换体位的运动。成人 T2DM 患者随着老龄化、血糖控制不佳和神经病变等状态,皮肤血流分布和排汗功能受损,导致运动期间的热应激风险随之增加^[117, 118]。受热应激影响, T2DM 患者会出现体温和心率升高^[29, 119],同时高温环境下运动因不能及时补充水分而导致脱水,使得 T2DM 患者身体活动能力下降,慢性高血糖风险增加^[34, 120]。此外,某些药物也会增加热相关疾病的风险^[65, 121]。老年 T2DM 患者应避免在非常炎热和(或)潮湿的天气进行户外运动。运动过程中注意及时补充水分防止脱水。

第十章 2型糖尿病常见共患疾病与运动

一、肥胖症

推荐意见:

推荐意见 45 规律运动改善心肺耐力,并与任何体重状态 T2DM 的全因死亡风险下降相关(C)

推荐意见 46 运动联合饮食控制减重效果优于单纯饮食控制,且内脏脂肪减少更多。需要减重的 T2DM 患者每周应当完成 5~7 d 的中等强度运动(约 500 kcal/d)(A)

推荐意见 47 每周 300 min 中等至较大强度体力活动可有效预防体重反弹(A)

推荐意见 48 推荐拟行减重手术治疗的 T2DM 患者进行术前运动,以降低手术风险(B)

运动可以有效减重、减少腹腔内脂肪、肝内脂肪并改善胰岛素敏感性。增加抗阻运动可以减少因控制能量摄入带来的肌肉流失。每天 1 h 中等强度有氧运动与单纯饮食控制减重效果相似,均可使腹部皮下脂肪和内脏脂肪减少^[122]。绝经后 T2DM 女性通过单纯限制饮食或运动联合限制饮食都可以减少腹部脂肪、皮下脂肪组织,降低血糖,但是联合运动更有助于减少内脏脂肪,同时减少代谢功能障碍及 CVD 风险^[36, 123]。所以推荐 T2DM 成年患者每周进行 4~5 次中等及较大强度运动(每日 500 kcal/次)以减少腹部脂肪,同时降低代谢风险。

当前,以胰高血糖素样肽-1 受体激动剂(glucagon-like peptide-1 receptor agonist, GLP-1RA)为代表的具有减重获益的降糖药物应用比例逐渐增加,但代谢手术是改善肥胖糖尿病患者血糖管理和长期实现糖尿病缓解的有效方法之一^[41, 71, 124, 125]。术前运动可以降低手术风险、加快恢复及减少住院时间^[126, 127],运动所增加的心肺耐力/摄氧量尽管对血糖水平或胰岛素敏感性没有额外影响,但可缩短手术时间和提高术后生活质量^[126, 128]。此外,在手术前增加运动量会提升术后增加体力活动的倾向^[129]。但在接受减重手术的成年人中,只有不到 10% 的人在手术前遵循指南的运动建议^[52, 130]。因此,建议手术前符合运动条件的 T2DM 患者进行术前运动,以降低手术风险、提高疾病控制效果。

体重管理是 T2DM 综合治疗的重要组成部分,减脂增肌是体重管理的核心。运动/体力活动对体重减轻的影响取决于运动的频率、强度、时间、方式和每周运动总量。建议超重或肥胖患者每天累计进行 60~90 min 中等强度有氧运动,每周 5~7 d;隔天进行一次抗阻运动,每次 10~20 min;减重速度以每个月减少 2~4 kg 为宜^[116]。

二、代谢相关脂肪性肝病

推荐意见:

推荐意见 49 推荐超重/肥胖的代谢相关脂肪性肝病 (metabolic dysfunction associated fatty liver disease, MAFLD) 患者改变生活方式, 目标为至少减重 5%, 最好减重 $\geq 10\%$, 体重正常的 MAFLD 患者减重 3% 也有助于 MAFLD 的改善 (B)

推荐意见 50 包括饮食、运动和减重的生活方式干预是 MAFLD 的主要治疗方式之一, 个性化运动处方可使 MAFLD 获得长期改善, 并具有独立于减重的好处 (A)

推荐意见 51 中断久坐和减少久坐时间有利于减少肝内脂肪, 并独立于体力活动水平。每日增加 20 min 中等至较大强度体力活动或增加 2 500 步可有效改善脂肪肝 (E)

代谢 (功能障碍) 相关脂肪性肝病和代谢性疾病之间关系密切。我国代谢相关脂肪性肝病 (metabolic dysfunction associated fatty liver disease, MAFLD) 的患病率为 29.2%, 肥胖人群中 MAFLD 的患病率是非肥胖人群的近 5 倍 (分别为 51.6% 和 10.8%)。T2DM 患者中 49%~62% 伴发 MAFLD, 在肥胖 T2DM 患者中 MAFLD 的患病率可高达 70%^[131]。

包括饮食、运动和减重的生活方式干预是 MAFLD 的主要治疗方式之一。体重较基线下降 $>5\%$ 可以改善肝脏脂肪沉积, 下降 $>7\%$ 可以改善肝脏慢性炎症环境, 下降 $>10\%$ 可逆转/部分逆转肝纤维化。体重正常者减重 3%~5% 也可以使脂肪肝改善。独立于体力活动水平, 每日久坐时间增加 1 h, 肝内脂肪增加 1.15%, 提高心肺耐力和每日活动量有利于减少肝内脂肪^[11]。T2DM 合并 MAFLD 的患者常伴有肌少症, 建议此类患者进行有氧运动联合抗阻运动的运动干预, 以提高胰岛素敏感性、减重及改善脂肪肝。每周 10~30 MET-h 中等至较大强度的体力活动可使 MAFLD 患病风险明显下降。每日累计步行 12 000 步可使 MAFLD 患病风险下降 61%。每日每增加 2 500 步, 与每日 20 min 中等至较大强度运动的效果相当, 可使脂肪肝风险下降 17%^[12]。

三、肌少症

推荐意见:

推荐意见 52 合并肌少症的 T2DM 患者应在达到世界卫生组织推荐的体力活动量的基础上, 着重增加以爆发力训练为主的抗阻训练。老年人采用爆发力抗阻训练方案, 在低强度至中等强度 (即 40%~60% 1-RM) 干预下可实现最大力量、爆发力及肌肉体积、肌肉功能表现的增强 (B)

推荐意见 53 太极拳、八段锦等民族传统运动是多组分运动, 可有效改善肌少症患者的肌肉量、肌力及身体功能表现, 且在老年人中的依从性较高 (B)

与非肌少症的 T2DM 患者相比, 患有肌少症的 T2DM 患者年龄更大、BMI 和腰臀比更低, 糖尿病病程更长、血糖控制更差、肾功能水平更低、骨密度更低^[132]。

合并肌少症的 T2DM 患者应在达到世界卫生组织推荐的体力活动量的基础上, 着重增加以爆发力训练为主的抗阻训练 (即爆发力抗阻训练)^[133]。在增加下肢肌力和爆发力方面, 爆发力抗阻训练比传统抗阻训练更有效。老年人采用爆发力抗阻训练方案, 在低强度至中等强度 (即 40%~60% 1-RM) 干预下可实现最大力量、爆发力及肌肉体积、肌肉功能表现的增强^[134]。血流限制、神经肌肉电刺激疗法及振动训练也可以通过不同机制促进肌肉增长和肌力增强, 可作为增强抗阻运动效果的辅助措施^[135, 136]。太极拳、八段锦等民族传统运动是多组分运动, 包含了有氧、抗阻、柔韧、平衡、协调能力等多种练习, 可有效改善肌少症患者的肌肉量、肌力及身体功能表现, 且在老年人中的依从性较高。

四、高血压

推荐意见:

推荐意见 54 糖尿病患者血压 $\geq 160/100$ mmHg (1 mmHg=0.133 kPa) 时禁止中等强度以上运动。血压控制稳定后再起始运动 (E)

推荐意见 55 避免屏息、爆发力强的运动, 如高强度抗阻训练 (举重、引体向上、拔河等)、跳高、跳远等 (B)

推荐意见 56 推荐中低强度大肌肉群参与的运动方式, 如步行、骑自行车、太极拳等 (B)

流行病学调查数据显示, 我国 T2DM 患者中约 60% 伴有高血压。《中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版)》^[3] 提出, 糖尿病患者的血压控制目标应个体化, 一般糖尿病患者合并高血压, 降压目标为 $<130/80$ mmHg。糖尿

病患者血压 $\geq 160/100$ mmHg 时禁止中等强度以上运动。对于举重这一类的高负荷抗阻运动,可在瞬间使得患者的血压升高,极大增加了心脑血管死亡的风险。因此,患者尽量避免需要屏息、爆发力强的运动,如高强度抗阻运动(举重、引体向上、拔河等)、跳高、跳远等。

有规律的运动对高血压的预防和治疗有益,并显著降低 CVD 的患病风险和死亡率^[137]。高血压患者进行每周 5~7 d 规律的有氧运动可以使收缩压和舒张压分别降低 3.8 和 2.5 mmHg^[138]。每日 15 min 的等长抗阻运动(即肌肉的静态收缩,而关节角度没有任何可见变化的运动)或每周 2~3 d 动态抗阻运动可使收缩压/舒张压下降 $(6\sim 10)/(3\sim 6)$ mmHg^[139]。长时间中低强度运动可能会导致运动后低血压。而长期高强度运动可能诱发高血压,一项对专业运动员高血压患病率进行的荟萃分析显示,长期高强度训练可能会造成冠状动脉钙化、舒张功能不全以及大动脉壁僵硬增加,从而有可能导致高血压的发生^[140]。因此,目前国内外指南大多推荐患者选择低到中等强度的运动,同时在运动前后监测血压,减少急性心脑血管事件的发生。

五、冠心病

推荐意见:

推荐意见 57 心脏康复运动强度应低于诱发患者心肌缺血的阈值,如运动时心率应低于心绞痛症状或 ST 段压低时的心率 10 次/min(E)

心脏康复是糖尿病合并冠心病患者多病综合管理的重要手段,应遵循心脏康复的指南制定运动处方^[141]。警惕运动期间胸闷、胸痛、心悸、异常乏力等可疑心肌缺血症状或临床表现,需通过运动心肺试验评估运动中的 CVD 风险及缺血阈,运动时心率应至少低于缺血阈 10 次/min^[142]。合并糖尿病的患者在运动时应警惕无症状心绞痛,加强运动前后血糖、血压、心率的监测。

第十一章 2 型糖尿病药物治疗与运动

推荐意见:

推荐意见 58 应以个体为中心,基于运动处方各要素及药物特性综合调整患者的治疗方案以提高疗效及安全性(B)

随着运动强度的增加,骨骼肌的血流分布逐渐增加。安静状态下骨骼肌血流分布占全血量的 20%,而

中等强度或较大强度运动时骨骼肌的血流分布会增加至 70%~80%^[143]。运动过程中血流的重新分布是影响运动时药物作用及不良反应的主要因素之一。运动时的能量消耗、降糖药物的作用强度和作用时间、个体的胰岛功能共同影响运动相关低血糖的发生风险。运动后低血压与运动强度、运动时间、运动方式及降压药物的种类密切相关。应以个体为中心,基于运动处方各要素及药物特性综合调整患者的治疗方案以提高疗效及安全性。

一、双胍类

推荐意见:

推荐意见 59 服用双胍类药物的糖尿病患者进行单次较大强度运动或长时间有氧运动通常不增加乳酸酸中毒的风险,但要警惕合并其他增加乳酸酸中毒风险的药物或健康状况(E)

二甲双胍主要通过抑制肝糖异生、减少肠道葡萄糖吸收以及增加骨骼肌胰岛素敏感性等方式发挥降糖作用。常见的不良反应包括胃肠道不适、乳酸酸中毒、影响维生素 B₁₂ 吸收等。在应用二甲双胍常规剂量时单次较大强度运动或长时间有氧运动(如马拉松)通常不增加乳酸酸中毒的风险,但要警惕合并其他增加乳酸酸中毒风险的药物或健康状况,如高龄、肝肾功能不全、重度睡眠呼吸暂停低通气综合征等情况^[144]。

二、胰岛素增敏剂

推荐意见:

推荐意见 60 需考虑运动改善胰岛素敏感性的协同作用,需要及时调整联用胰岛素促泌剂或胰岛素的剂量(E)

噻唑烷二酮类代表药物主要通过激活细胞内的过氧化物酶体增殖激活受体- γ 、促进脂肪细胞分化、增加脂肪组织对葡萄糖的吸收和储存,以及提高肌肉细胞对葡萄糖的敏感性等方式发挥降糖作用。常见的不良反应包括体重增加、水肿、骨折风险增加、肝功能异常、贫血及乳腺增生等。单药治疗时低血糖风险较低,与胰岛素促泌剂或胰岛素联合治疗时需考虑运动改善胰岛素敏感性的协同作用,需要及时调整胰岛素促泌剂或胰岛素的剂量。

三、 α -糖苷酶抑制剂

阿卡波糖、伏格列波糖、米格列醇是此类药物的代表药物。腹胀、腹痛等消化系统不适是常见的不良反应。目前尚无证据表明运动会显著影响此类药物代谢,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。

四、胰岛素促泌剂

推荐意见：
推荐意见 61 建议在运动前后监测血糖，运动前血糖低于 5.6 mmol/L 时依据计划运动的强度和时间补充适量碳水化合物，避免在药物作用峰值时间运动，同时需警惕运动后迟发性低血糖(C)

胰岛素促泌剂主要包括磺脲类和格列奈类，作用于胰岛β细胞，通过闭合胰岛细胞的 ATP 敏感性钾通道(K⁺-ATP 通道)，促使胰岛素分泌进而降低血糖。常见的不良反应包括低血糖、胃肠道不适、体重增加、过敏反应、肝功能异常等。建议在运动前后监测血糖，运动前血糖低于 5.6 mmol/L 时依据计划运动的强度和时间适量补充碳水化合物，避免在药物作用峰值时间运动，同时需警惕运动后迟发低血糖^[145-146]。

五、SGLT2i

推荐意见：
推荐意见 62 老年、长病程、β细胞功能差的患者或长期使用 SGLT2i 的 T2DM 患者发生酮症酸中毒的风险可能较高(E)
推荐意见 63 进行大运动量体力活动前至少 24 h 停止应用 SGLT2i(C)

SGLT2i 常见的不良反应包括尿路感染、生殖器感染、血糖正常的高酮体血症、血容量减少等。服用 SGLT2i 的患者运动时血糖正常高酮体血症的风险增加。由于尿葡萄糖排泄增加，β细胞分泌胰岛素的需求减少，会刺激脂肪分解和游离脂肪酸的产生，游离脂肪酸在肝脏中转化为酮体。此外，SGLT2i 还可能诱导胰高血糖素分泌，胰高血糖素可通过对乙酰辅酶 A 羧化酶的抑制作用导致酮体过量产生。β细胞功能明显下降或长期使用 SGLT2i 的 T2DM 患者发生酮症酸中毒的风险较高。SGLT2i 联合胰岛素治疗的患者如果大幅度减少胰岛素用量或停用胰岛素治疗可能增加此类风险。运动期间，胰高血糖素/胰岛素比例和多种应激激素的分泌增加，尤其是运动强度较大时。此外，过度运动可能导致水分丢失致血容量不足也是导致酮症和低血压的原因。美国临床内分泌学会的立场声明建议，在进行大运动量体力活动(如马拉松)前至少 24 h 停止应用 SGLT2i^[147]。SGLT2i 还可以使收缩压下降约 3.9 mmHg，舒张压下降约 1.6 mmHg，因此在应用此类药物，尤其是进行中等强度及以上运动时也需要进行血压监测^[148]。

建议服用 SGLT2i 的患者在运动前、中、后注意摄入充足的水分，并加强运动前后血糖、血压的监测。对于老年或使用利尿剂的患者应结合运动强度、时间调整药物治疗^[149]。建议应用 SGLT2i 应增加抗阻运动。

六、肠促胰素类药物

推荐意见：
推荐意见 64 应用 GLP-1RA 应合理饮食和运动以减少肌肉组织丢失(C)

常用的肠促胰素类药物包括二肽基肽酶 IV 抑制剂、GLP-1RA 和促胰岛素多肽(gastric inhibitory polypeptide, GIP)/GLP-1RA 等，可以有效控制血糖。二肽基肽酶 IV 抑制剂作用温和，消化道不良反应少，对体重的影响中性。GLP-1RA 具有减重和降低心血管危险因素的作用。常见的不良反应有恶心、呕吐、腹泻、腹胀等胃肠道症状，此类药物低血糖风险较低，但与其他药物联合使用要警惕低血糖的发生。GLP-1RA 类药物应用与瘦体重减少相关，因此，患者应在合理饮食、适当增加蛋白摄入、合理运动的前提下使用此类药物。研究显示，每周 150 min 中等至较大强度或 75 min 较大强度运动联合 GLP-1RA 治疗，可以更好地减少体脂肪、增加瘦体重、提高心肺耐力并改善血糖控制^[150]。

建议使用 GLP-1RA 类药物的患者达到世界卫生组织的体力活动推荐量，以优化身体成分，减少肌肉流失。

七、胰岛素

推荐意见：
推荐意见 65 已经使用胰岛素且血糖控制良好的 T2DM 患者进行 30 min 以上运动时应按需补充碳水化合物(A)。提高运动量时，应根据血糖水平及运动量大小，适当减少胰岛素剂量(A)。新起始胰岛素治疗的患者，优选低血糖风险较低的胰岛素(B)

使用基础胰岛素的 T2DM 患者，在小于 30 min 的短时间低强度至中等强度运动时可不调整胰岛素用量或补充碳水化合物，若运动时间延长或运动强度增加，适度按需补充碳水化合物。较大强度运动可能会导致血糖升高^[151]。

使用多针胰岛素注射治疗的 T2DM 患者，无论是进行持续中等强度运动或是高强度间歇运动，均需基于运动前血糖和平均运动强度调整短效/速效胰岛素的剂量，低强度运动时胰岛素剂量减少 25%，中等强度运动时减少 50%，较大强度运动时减少 75%^[102]。同时，

要警惕运动后 24 h 内的迟发低血糖^[129]。有研究提示,1 型糖尿病患者进行 45 min 中等强度运动后可以不减少超长效胰岛素类似物(如德谷胰岛素)的用量或推迟注射时间^[152]。建议选用低血糖风险相对低的胰岛素制剂进行治疗。对于长病程、胰岛功能较差、低血糖风险较高的患者,可采用动态血糖监测来预防运动后低血糖。

八、调脂药物

推荐意见:

推荐意见 66 规律运动的患者,新起始他汀类药物治疗时应从小剂量起始。已服用他汀类药物的患者计划开始规律的运动时,应从低强度、短时间的运动起始(B)

常用的调脂药物包括他汀类药物、烟酸类、贝特类及胆固醇螯合剂等。他汀类药物通过抑制羟甲基戊二酸辅酶 A 还原酶发挥作用。肌肉酸痛、无力及肌肉损伤是他汀类药物较常见的不良反应。老年、维生素 D 缺乏是他汀类药物相关肌肉不良反应的危险因素^[153]。单次较大强度长时间运动(如马拉松)可使服用他汀类药物的跑者运动后 24 h 肌酸激酶更明显升高。规律运动骨骼肌适应性提高,未发现服用他汀类药物者与未用药者之间肌酸激酶水平的差异^[154]。目前尚缺乏前蛋白转化酶枯草溶菌素 9(proprotein convertase subtilisin/kexin type 9, PCSK9)抑制剂类调脂药的相关研究。

建议老年人、无规律体力活动习惯的患者避免单次较大强度长时间运动。新起始他汀类药物治疗的患者应从小剂量起始。已服用他汀类药物的患者计划开始规律的运动时,应从低强度、短时间的运动处方起始,应避免较大强度的运动,每日运动时间控制在 40~45 min,并注意监测肌肉症状及肌酸激酶的变化。

九、降压药

推荐意见:

推荐意见 67 注意降压药物对血压、心率、血容量及电解质的影响,警惕运动后低血压,建议多重用药患者通过 RPE 判断运动强度(C)

β 受体阻滞剂会降低心输出量,因此静息时和运动时心率和血压(收缩压和舒张压)都会降低。 β 受体阻滞剂可能会阻断心率、血压反应,掩盖运动中低血糖的症状。服用此类药物的患者要警惕运动相关低血糖和

低血压,建议采用 RPE 判断运动强度。

血管紧张素转化酶抑制剂/血管紧张素 II 受体拮抗剂不影响心率,可提高非心力衰竭患者的运动能力,与多种降压药物联合使用时需警惕低血压。

所有钙通道阻滞剂都会降低血压,不同种类钙通道阻滞剂对心率、心电图和运动耐量有不同的影响。非二氢吡啶类药物对运动耐量几乎没有直接影响。

利尿剂是增加尿液排泄的药物,可用于减少心力衰竭症状、改变疾病进展并延长生存期。利尿剂不影响心率或心律,但会降低血压。螺内酯可以提高射血分数保留的心力衰竭患者的运动耐量。使用此类药物的患者运动时需注意补水,预防电解质紊乱。

警惕运动相关低血压,适当延长整理活动时间。

十、抗血小板药物

推荐意见:

推荐意见 68 使用抗血小板药物的患者避免较大强度运动或高撞击/冲击风险的运动,警惕运动损伤时出血时间延长及内出血(C)

抗血小板制剂是抑制血液中血小板活化或聚集的药物,部分患者在大剂量使用时会增加出血风险。目前认为抗血小板药物对心率、血压、心律或运动耐量没有影响。建议使用此类药物的患者避免较大强度运动或高撞击/冲击风险的运动,警惕运动损伤时出血时间延长及内出血。

第十二章 2 型糖尿病运动时机的选择

推荐意见:

推荐意见 69 规律运动可以提高心肺耐力,改善血糖控制,与运动时机无关(A)

推荐意见 70 单次傍晚运动可更好地改善夜间血糖;餐后 30 min HIIIE 可更好地降低餐后血糖峰值(B);餐后 60 min 运动可减少低血糖风险(E)

心肺耐力的改善与运动时机无关。5 d 结构化运动后,与早餐前(6 点 30 分)运动相比,晚餐前(18 点 30 分)运动可以更好地改善夜间血糖和其他代谢指标^[155]。为期 12 周、每周 3 次医务人员监督下的结构化运动(30 min 有氧运动+4 组抗阻运动)可有效改善超重及肥胖 T2DM 患者的血糖,8 至 10 点运动和 17 至 19 点

运动无明显差异^[156]。单次晚餐后 30 或 60 min 进行 40% HRR 的慢跑/健步走可以有效改善晚餐后血糖峰值及餐后 12 h 的血糖波动,且不增加夜间低血糖风险^[157]。多项评估早餐前或早餐后运动对血糖影响的研究表明,T2DM 患者早餐后进行低强度或中等强度有氧运动可以更好地控制血糖^[158-160],但这种益处可能无法延续到午餐之后^[158,159]。

与早餐后 60 或 90 min 运动相比,早餐后 30 min 进行基于功率自行车的 HIIE 可以有效控制二甲双胍治疗的 T2DM 患者的餐后血糖,并维持 24 h 血糖稳定^[161]。此外,与不进行抗阻训练相比,餐前抗阻训练仅可改善餐后血糖,而餐后抗阻运动可以降低餐后血糖和 TG 水平,因此能更有效地降低 CVD 风险^[162]。

总体而言,大多数研究结果表明,餐后运动通过降低餐后血糖峰值,从而更好地控制血糖。此外,无论何种运动强度或类型,餐后更多的能量消耗均能降低血糖,持续较长时间(≥ 45 min)的各种运动都有同样的获益^[58]。

第十三章 数字医疗与糖尿病运动

推荐意见:
推荐意见 71 推荐 T2DM 患者参与互联网健康管理项目(C)

糖尿病是一种慢性、复杂的疾病,需要良好的知识和自我管理技能来优化血糖控制和改善健康结局。体力活动/运动是糖尿病自我管理的关键行为,物联网/互联网电子健康(eHealth)技术能够有效帮助患者改善生活方式,优化疾病控制^[163,164]。健康相关的移动通信应用设施可以帮助改变生活方式,促进健康行为。这些应用程序可以提供医疗信息交换、短信、教育内容、基于网络的视频和照片维护的功能,并可以减少区域间医疗差距,提供更多慢性病管理的综合信息。对于糖尿病患者可以有效改善血糖控制、促进良好饮食及体力活动习惯养成、减重及改善临床检验、检测结果^[165]。PRODEMOS 研究显示,中国老年患者通过 mHealth(mobile health)智能手机软件可有效改善生活方式,预防痴呆和 CVD^[166]。

可穿戴设备中的运动手环或智能手表能够有效提高糖尿病患者的每日步数约 1 800 步^[163]。体感游戏能够有效提高糖尿病患者的身体活动能力,并有研究显示通过 12 周的体感游戏可改善 T2DM 患者体适能。

第十四章 运动中的血糖监测

推荐意见:
推荐意见 72 血糖监测是了解运动期间和运动之后血糖水平的最佳管理手段。持续葡萄糖监测(continuous glucose monitoring,CGM)可以提供包括警报在内的数据,以告知患者是否需要增加热量补充,特别是碳水化合物摄入,以保持最佳葡萄糖水平。对于不使用 CGM 的患者,应根据需要进行毛细血管血糖检测,建议首次运动或运动强度提升时每 30 分钟进行 1 次手指毛细血管血糖检测,并基于此制定运动处方前中后的调整决策(E)

血糖监测是糖尿病患者运动管理的重要内容,血糖监测结果可以反映糖尿病患者糖代谢紊乱的程度,用于制定合理的降糖方案,评价降糖治疗效果,指导调整治疗方案。自我血糖监测(self monitoring of blood glucose,SMBG)是血糖监测的基本形式,可以帮助糖尿病患者在运动前、运动期间以及运动后更好地了解自己的血糖控制状态,为其提供一种积极参与糖尿病管理、按需调整行为及药物干预的手段。

CGM 可提供连续、全面的全天血糖信息,了解血糖波动的趋势和特点。因此,CGM 可成为传统血糖监测方法的一种有效补充,在运动中可以实时监测糖尿病患者血糖的变化。需要指出的是,在 CGM 使用期间,SMBG 仍然具有重要的作用。除用于部分 CGM 系统的校正外,当 CGM 提示低血糖,或患者怀疑发生低血糖,或患者自身症状与 CGM 血糖值不匹配时,应进行毛细血管血糖检测以指导临床决策。

血糖监测是运动期间和运动之后管理血糖水平的最佳手段。CGM 可以提供包括警报在内的数据,以告知患者是否需要增加热量补充,特别是碳水化合物摄入,以保持最佳葡萄糖水平。对于那些不使用 CGM 的患者,应根据需要经常进行毛细血管血糖检测,建议首次运动或运动强度提升时每 30 分钟进行 1 次手指毛细血管血糖检测,并基于此制定运动前中后的调整决策^[167,168],详见附录 11。

第十五章 运动中的营养补充及运动损伤

推荐意见:

推荐意见 73 运动时补充营养既要保证能量摄入满足运动所需,还要尽可能使血糖稳定,在遵循一般原则的基础上强调个体化调整每日碳水化合物和蛋白质摄入量(E)。运动前应摄入适量的碳水化合物,以防止运动后低血糖(E)

推荐意见 74 T2DM 患者运动前、中、后要适量饮水(E)

推荐意见 75 T2DM 患者轻度运动损伤时遵循 RICE 原则进行急救处理,并及时就医(E)

碳水化合物是中等强度或更大强度有氧运动的主要能量来源。在运动前和运动时适量补充碳水化合物可以更好地维持血糖稳定并提高运动表现^[169]。运动后短时间内摄入高升糖指数食物,如饼干或香蕉有利于肌糖原的补充。糖尿病患者运动后同时摄入少量蛋白质(每小时 0.2~0.4 g/kg)和较少碳水化合物(每小时 0.8 g/kg)可在补充肌糖原的同时,更好地维持血糖稳定^[170]。空腹或仅使用基础胰岛素的患者,血液循环中胰岛素水平相对较低,30~60 min 低或中等强度运动,仅需补充 10~15 g 碳水化合物预防低血糖。如因服用胰岛素促泌剂或注射餐时胰岛素后运动而使血液循环中胰岛素水平较高时,每运动 1 h 需补充 30~60 g 碳水化合物以预防低血糖。医师或营养师可以策略性地选择蛋白质或脂肪,合理搭配营养素,以预防迟发性低血糖^[171]。适量增加蛋白质摄入对运动后肌肉修复及肌肉量增加非常重要,尤其是在抗阻运动之后。

运动前 1 h 应补充 500 ml 液体,确保开始运动时身体已经处于良好的水合状态。若运动前血糖 < 5.6 mmol/L,可补充含有碳水化合物的液体(如运动饮料),以预防运动相关低血糖。运动中每隔 15 min 可以补充 150 ml 液体,依运动强度、运动量和环境温度等增减。若在炎热或湿热环境中运动,应更频繁地补水,同时注意监视脱水的迹象。运动后可以通过监测体重来估算流失的水分量,以此作为补充水分的参照。若运动时间超过 1 h,或者在高温环境下运动,应补充含有电解质的饮料,以帮助恢复体内的水和电解质平衡,并加强血糖监测。此外,无论运动前还是运动后摄入酒精将可能增加低血糖发生风险^[168]。

运动创伤的处理原则:运动后出现肌肉拉伤、关节扭伤一般可进行冷冻加压包扎;一旦确定发生骨折应先行固定,再送医院。头部碰撞后,先止血、加压包扎,再送医院。对轻度运动损伤,遵循 RICE 原则进行急救

处理。具体包括:(1)休息(rest):受伤部位立即停止运动,充分休息。(2)冰敷(ice):将冰袋用毛巾包裹后置于受伤部位,使血管收缩,减少肿胀、疼痛及痉挛,缩短康复时间。每次冰敷 20~30 min 或皮肤感觉由冷、疼痛、灼热,最后变成麻木时移开冰敷袋。可每隔 0.5 或 1 h 冰敷 1 次,直至疼痛得到缓解或送医后遵医嘱处理。(3)压迫(compression):以弹性绷带包扎于受伤部位,减少内部出血。注意加压包扎力度适中,观察露出脚趾或手指的颜色。如疼痛、皮肤变色、麻痹、刺痛等症状出现,提示包扎得太紧,应解开弹性绷带重包,送至医院后遵医嘱处理。(4)抬高(elevation):尽可能在伤后 24 h 内持续抬高伤处(高于心脏部位)以减少伤处肿胀。相当严重的损伤、创伤应紧急送医院处理。

运动损伤的预防措施:运动前进行热身运动可以减少肌肉拉伤及关节扭伤的发生。有关节病变者运动时带上关节保护带(护膝、护腕、护腰带),穿舒适的运动鞋进行运动,禁止穿皮鞋、高跟鞋进行运动。老年人应避免运动量过大、过于激烈的活动。如果有周围神经病变或退化性关节炎应选择非负重运动方式,如固定自行车、游泳等,或者采用负重和非负重交替的运动方式。

第十六章 运动的依从性

推荐意见:

推荐意见 76 提高 T2DM 患者运动处方的依从性需注重运动处方的个体化,建立激励机制,结合社区资源,善用线上或智慧化管理方式,同时加强患者和医务人员运动促进健康的教育和培训(E)

由于患者个体差异、生活习惯等多种因素,运动处方的依从性普遍较低。因此,需要采取一系列策略来确保运动处方指南的有效实施,具体措施包括^[172-176]:(1)高度个性化制定运动处方,充分考虑患者的运动锻炼习惯,结合他们的兴趣和能力,选择适合的运动方式和强度。(2)利用社区资源为患者提供更多的运动机会和支持,与社区的体育团体合作,组织糖尿病患者参与集体运动活动,增强他们的运动动力和社交支持。(3)在线监督与随访,以了解患者的运动情况和依从性。同时,医疗服务提供者还可以通过在线聊天、视频通话等方式与患者进行沟通,提供个性化的指导和支持。(4)通过举办讲座、培训班等活动,向患者传授正确的运动知识和技能,增强他们的运动意识和自我管理能力。(5)为了激发患者参与运动的积极性,医疗服务提供者可以设立激励机制,完成为其设置运动目标后给

予一定的奖励或荣誉证书等。

第十七章 总结与展望

本指南为 T2DM 患者实施运动干预提供了较为详实的指导,也为在糖尿病患者中广泛开展体医融合及健康促进提供了基于目前临床实践和科学研究的支撑。然而,在研究领域层面,仍有诸多问题有待深入探索。比如,运动防控 T2DM 并发症的长期有效性证据不充足、符合国人地区特色行之有效的 T2DM 运动干预模式未能建立。除此以外,在临床实践层面,如何系统性开展 T2DM 运动干预也面临诸多挑战。一方面, T2DM 运动干预工作的开展对临床医师提出了更高的能力要求。临床医师除要掌握 T2DM 诊疗知识外,还需熟悉运动医学相关内容。而现阶段,我国体医融合复合型人才仍相对不足。另一方面, T2DM 运动干预工作的开展还存在难推广及难坚持等问题。究其原因,可能与运动干预适宜技术缺乏、运动干预实施路径不清、糖尿病人群主动健康意识淡薄、主观能动性不足等因素有关。再一方面,我国尚缺乏运动处方门诊及有效的运动门诊转诊机制,也缺乏运动健康促进中心和慢性疾病运动干预中心的标准化建设方案,而这在一定程度上也制约了 T2DM 运动干预的有效开展。因此,提高对运动在糖尿病治疗中重要性的认识,加强体医融合复合型人才培养、促进体育与医疗跨学科合作、研发运动干预适宜技术、完善运动干预实施路径及管理流程、探索新的运动干预糖尿病管理模式等,将有助于提升 T2DM 的管理水平,改善糖尿病患者的临床结局,助力实现健康中国 2030 宏伟目标。

执笔者:

张献博 北京医院内分泌科 国家老年医学中心
中国医学科学院老年医学研究院
蔡晓凌 北京大学人民医院内分泌科
邱山虎 东南大学附属中大医院全科医学科

编写专家委员会成员名单(按照姓氏拼音排序):

包玉倩 上海交通大学医学院附属第六人民医院
内分泌代谢科
陈 宏 南方医科大学珠江医院内分泌科
陈 丽 山东大学齐鲁医院内分泌科
陈莉明 天津医科大学朱宪彝纪念医院
陈世益 复旦大学运动医学研究所
段滨红 黑龙江省医院内分泌科
高 凌 武汉大学人民医院内分泌科
顾卫琼 上海交通大学医学院附属瑞金医院内分泌科

郭建军 首都体育学院体医融合创新中心
郭立新 北京医院内分泌科 国家老年医学中心
中国医学科学院老年医学研究院
郭晓蕙 北京大学第一医院内分泌科
洪天配 北京大学第三医院内分泌科
胡 吉 苏州大学附属第二医院内分泌科
姬秋和 西安国际医学中心医院内分泌科
纪立农 北京大学人民医院内分泌科
江伟新 东南大学体育系
匡洪宇 哈尔滨医科大学附属第一医院内分泌科
李 军 石河子大学医学院第一附属医院内分泌科
李全民 火箭军特色医学中心内分泌科
李小英 复旦大学附属中山医院内分泌科
李益明 复旦大学附属华山医院内分泌科
梁瑜祯 广西医科大学第二附属医院内分泌科
刘 铭 天津医科大学总医院内分泌科
刘国纯 重庆医科大学体育医学学院
陆大江 上海体育大学体育教育训练学院
罗曦娟 中山大学运动健康中心
马建华 南京医科大学附属南京医院
南京市第一医院内分泌科
母义明 解放军总医院第一医学中心内分泌科
潘 琦 北京医院内分泌科 国家老年医学中心
中国医学科学院老年医学研究院
秦贵军 郑州大学第一附属医院内分泌科
权金星 甘肃省人民医院内分泌科
冉兴无 四川大学华西医院内分泌科
苏 青 上海交通大学医学院附属新华医院内分泌科
孙亚东 吉林省人民医院内分泌科
孙子林 东南大学附属中大医院内分泌科
王正珍 北京体育大学运动医学与康复学院
魏宏文 北京体育大学体能训练学院
吴 浩 首都医科大学全科医学学院
奚 悦 锦州医科大学糖尿病中心
向光大 解放军中部战区总医院内分泌科
肖新华 北京协和医院内分泌科
谢晓敏 银川市第一人民医院内分泌科
徐 静 西安交通大学附属第二医院内分泌科
徐 勇 西南医科大学附属医院
徐积兄 南昌大学第一附属医院内分泌科
徐向进 解放军联勤保障部队第九〇〇医院内分泌科
徐玉善 昆明医科大学第一附属医院内分泌科
薛耀明 南方医科大学南方医院内分泌科
杨 涛 南京医科大学第一附属医院内分泌科
袁 鹏 上海体育大学竞技运动学院
袁慧娟 河南省人民医院内分泌科

张惠莉 青海大学附属医院内分泌科

章 秋 安徽医科大学第一附属医院内分泌科

周智广 中南大学湘雅二医院代谢内分泌研究所

朱大龙 南京大学医学院附属鼓楼医院内分泌科

祝 莉 中国体育科学学会

利益冲突: 所有作者声明无利益冲突。

附录1 证据分级体系说明

证据等级	说明
A 级	(1)从高质量、有广泛代表性和足够检验效能的随机对照临床试验中获得的明确证据,包括: ①从高质量的多中心试验中获得的证据; ②从有质量分级的荟萃分析中获得的证据。
	(2)令人信服的非试验性证据(即牛津大学循证医学中心制定的“全或无”规则)
	(3)从高质量、有足够检验效能的随机对照临床试验中获得的支持性证据,包括: ①从≥1家研究单位的高质量临床试验中获得的证据; ②从有质量分级的荟萃分析中获得的证据。
B 级	(1)从高质量队列研究中获得的支持性证据,包括: ①从高质量前瞻性队列研究或注册研究中获得的证据; ②从高质量队列研究荟萃分析中获得的证据。
	(2)从高质量病例对照研究中获得的支持性证据。
C 级	(1)从对照差或无对照的研究中获得的支持性证据,包括: ①从带有方法学缺陷可能导致结果无效的随机临床试验中获得的证据(≥1个主要缺陷或≥3个次要缺陷); ②从具有高度偏倚可能的观察性研究(例如与历史对照比较的病例系列报告)中获得的证据; ③从病例系列或病例报告获得的证据。
	(2)证据间有冲突,支持性证据的权重大。
E 级	专家共识或临床经验

附录2 简易身体表现功能量表(short physical performance battery, SPPB)评分标准

测试项目	动作要求	测试结果	评分(分)
平衡测试	双脚并拢站立	坚持时间<10 s	0
		坚持时间≥10 s	1
	双脚半前后站立(半串联站立)	坚持时间<10 s	0
		坚持时间≥10 s	1
	双脚前后站立(串联站立)	坚持时间≤3 s	0
		3 s<坚持时间<10 s	1
步行速度测试	以日常步速行走 4 m 两次(以更快时间为准)	坚持时间≥10 s	2
		无法行走 4 m	0
		所需时间>8.70 s	1
		6.21 s≤所需时间≤8.70 s	2
		4.82 s≤所需时间<6.21 s	3
椅子坐立测试	双臂交叉在胸前从椅子上坐立 5 次	所需时间<4.82 s	4
		完成时间≥60 s	0
		16.7 s≤完成时间<60 s	1
		13.7 s≤完成时间<16.7 s	2
		11.2 s≤完成时间<13.7 s	3
总分范围		完成时间<11.2 s	4
			0~12

附录3 2型糖尿病患者抗阻运动处方示例

运动处方	肌耐力	肌肥大	肌肉力量	爆发力
训练目标	提高肌肉在较长时间内持续工作的能力	增加肌肉体积	增加肌肉最大力量	提高肌肉在短时间内产生最大力量的能力
训练负荷	20%~70% 1-RM	初学者:70%~85% 1-RM	初学者:60%~70% 1-RM	上肢:30%~60% 1-RM; 下肢:0~60% 1-RM
训练量	10~25次/组,2~4组	初学者:8~12次/组,1~3组	初学者:8~12次/组,1~3组	3~6次/组,1~3组
休息时间	组间休息30 s至1 min	低强度、轻负荷运动之间间隔1~4 min; 较大负荷,高强度运动间歇时间2~3 min	低强度、轻负荷运动之间间隔1~2 min; 较大负荷,高强度运动间隔2~3 min	低强度、轻负荷运动之间间隔1~3 min; 较大负荷,高强度运动间隔2~3 min
频率	初学者:全身训练1~3 d/周; 中阶:全身训练3 d,或上、下肢分别训练4 d/周; 高阶:4~6 d/周,每个主要肌群2次/周,每次训练3个肌群			
进阶	为了降低运动损伤的风险,应避免大幅增加训练量 当个人能够在连续两次训练中轻松地执行当前工作量1~2次,重复次数超过所需次数时,建议增加2%~10%的负荷			

注:1-RM为1次最大重复阻力

附录4 2型糖尿病患者简易运动处方示例

姓名:		年龄(岁):			
运动强度:	<input type="checkbox"/> 低强度(如散步)	<input type="checkbox"/> 中等强度(如健步走)		<input type="checkbox"/> 较大强度(如慢跑)	
每日运动时间:	连续或累积达到 min/d				
每周运动天数:	至少 天				
运动类型:	<input type="checkbox"/> 走路	<input type="checkbox"/> 骑车	<input type="checkbox"/> 跑步	<input type="checkbox"/> 游泳/水中运动	<input type="checkbox"/> 其他
每日步数:	<input type="checkbox"/> 2 500	<input type="checkbox"/> 5 000	<input type="checkbox"/> 7 000	<input type="checkbox"/> 9 000或更多	<input type="checkbox"/> 其他
终止运动:	如果在运动中感到胸痛,或者呼吸困难及其他不适应终止运动				
签名:					

附录5 2型糖尿病患者运动处方示例

基本信息		年 月 日	
姓名	性别	年龄	
身高(cm)	体重(kg)	腰围(cm)	体脂百分比(%)
心率(次/min)	血压(mmHg)	心电图	
运动前筛查与评价			
家族史	<input type="checkbox"/> 高血压 <input type="checkbox"/> 糖尿病 <input type="checkbox"/> 心脏病 <input type="checkbox"/> 其他_____		
中等强度运动时间(min/周)	<input type="checkbox"/> <90 <input type="checkbox"/> ≥90 <input type="checkbox"/> ≥150 <input type="checkbox"/> ≥300		
筛查疾病	并发症及合并症: <input type="checkbox"/> 高血压 <input type="checkbox"/> 冠心病 <input type="checkbox"/> 慢性肾病 <input type="checkbox"/> 视网膜病变 <input type="checkbox"/> 神经病变 <input type="checkbox"/> 糖尿病足		
	实验室检查: <input type="checkbox"/> 空腹血糖 <input type="checkbox"/> HbA1c <input type="checkbox"/> TC <input type="checkbox"/> LDL-C <input type="checkbox"/> HDL-C <input type="checkbox"/> TG		
	主要症状、体征:		
	目前用药:		
	进一步医学检查		
测试运动	运动风险: <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高		
	心肺耐力: <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高		
	肌肉力量与耐力: <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高		
	柔韧性: <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高		

(续附录 5)

综合评价	主要问题
	患者诉求
运动处方	
目的	
每周运动天数(d)	<input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6
运动强度	<input type="checkbox"/> 目标心率 <input type="checkbox"/> RPE
运动方式	
运动时间(min/d)	
每周总运动量(min/周)	
运动中观察指标	运动前/后血糖 心率及呼吸 运动后血压 身体不适反应
注意事项	<input type="checkbox"/> 预防低血糖 <input type="checkbox"/> 避免脱水 <input type="checkbox"/> 环境温湿度 <input type="checkbox"/> 足部健康
回访时间	年 月 日
效果评价	<input type="checkbox"/> 体质状态 <input type="checkbox"/> 疾病控制 <input type="checkbox"/> 药物使用 <input type="checkbox"/> 心理状态
运动处方师	
机构名称	
时间	

注: HbA_{1c} 为糖化血红蛋白; TC 为总胆固醇; LDL-C 为低密度脂蛋白胆固醇; HDL-C 为高密度脂蛋白胆固醇; TG 为甘油三酯; RPE 为主观用力感觉量表; 1 mmHg=0.133 kPa

附录 6 2 型糖尿病患者民族传统体育运动处方示例

处方要素	2 型糖尿病患者的运动处方(八段锦)		
	第一阶段	第二阶段	第三阶段
运动目的	降低血糖、改善糖耐量、提高胰岛素敏感性和降低糖化血红蛋白值		
运动进度	1~4 周	5~8 周	9~12 周或以上
适用人群	2 型糖尿病和糖尿病前期患者		
运动方式	国家体育总局口令版八段锦		
运动强度	RPE 10~11 分 主观感受: 身体发热	RPE 11 分 主观感受: 呼吸加快, 微微出汗	RPE 11~12 分 主观感受: 呼吸加快, 有汗珠
运动频率	3~4 次/周	4~5 次/周	5~7 次/周
运动时间	准备活动 10 min; 正式运动 10~15 min(重复 1 次口令版八段锦); 拉伸 10 min	准备活动 10 min; 正式运动 20~30 min(重复 2 次口令版八段锦); 拉伸 10 min	准备活动 10 min; 正式运动 30~40 min(重复 3 次口令版八段锦); 拉伸 10 min

处方要素	2 型糖尿病患者的运动处方(太极拳)		
	第一阶段	第二阶段	第三阶段
运动目的	降低血糖、改善糖耐量、提高胰岛素敏感性和降低糖化血红蛋白值		
运动进度	1~4 周	5~8 周	9~12 周或以上
运动目标	养成运动习惯	达到目标运动量	适当提高运动强度
运动方式	24 式简化太极拳(高架势)	24 式简化太极拳(中架势)	24 式简化太极拳(中~低架势)
运动强度	RPE 12~13 分 心率为 60%~70%最大心率	RPE 13~14 分 心率为 60%~75%最大心率	RPE 14 分 心率为 60%~80%最大心率

运动频率	3~5 次/周	5~7 次/周	7 次/周
运动时间	准备活动 10 min; 正式运动 10~15 min (2~4 套 24 式简化太极拳); 拉伸 10 min	准备活动 10 min; 正式运动 20~30 min (5~7 套 24 式简化太极拳); 拉伸 10 min	准备活动 10 min; 正式运动 40~50 min (延长完成一套动作的时间); 拉伸 10 min

注: RPE 为主观用力感觉量表。太极拳高架势膝关节角度为 150°, 中架势膝关节角度为 135°, 低架势膝关节角度为 120°^[145]

附录 7 2 型糖尿病患者有氧运动处方示例(自行车)

适用人群: 适用于男性、年龄 45~65 周岁、超重、基础血糖控制不佳的 2 型糖尿病患者		
基本信息 年 月 日		
姓名	性别	年龄
运动前筛查与评价	体力活动水平: <input checked="" type="checkbox"/> 严重不足 <input type="checkbox"/> 不足 <input type="checkbox"/> 满足	
	安静心率: 78 次/min 血压 138/82 mmHg	
	疾病史: <input type="checkbox"/> 无 <input type="checkbox"/> 高血压 <input checked="" type="checkbox"/> 糖尿病 <input type="checkbox"/> 心脏病 <input type="checkbox"/> 肺脏疾病 <input type="checkbox"/> 其他_____	
	实验室检查:	
进一步医学检查	运动治疗前糖化血红蛋白水平 7.5%~8.5%, 血糖控制不佳	
运动风险分级	<input checked="" type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高	
运动测试结果	心肺耐力: <input type="checkbox"/> 低 <input checked="" type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高	
	肌肉力量: <input type="checkbox"/> 较差 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 较好	
	肌肉耐力: <input type="checkbox"/> 较差 <input checked="" type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 较好	
	柔韧性: <input checked="" type="checkbox"/> 较差 <input type="checkbox"/> 一般 <input type="checkbox"/> 较好	
	其他:	
营养调查结果	营养情况较好	
存在的主要问题	血糖控制不佳	
主诉需求	控制血糖达标	
运动处方		
目的	控制血糖	
频率	每周运动 3~5 次	
强度	利用公式 $(207 - 0.7 \times \text{年龄})$ 计算出运动处方对象的 HR_{\max} , 结合安静心率获得心率储备, 根据综合评价确定不同阶段的运动强度: (1) 在训练开始 1~2 周采用 40%~50% 的心率储备设定运动强度, 其目标心率为 116~125 次/min; (2) 训练第 3~8 周采用 45%~55% 的心率储备设定运动强度, 其目标心率为 120~130 次/min; (3) 采用第 9~12 周采用 50%~60% 的心率储备设定运动强度, 其目标心率为 125~134 次/min。	
运动时间	每天有氧运动时间连续或累计 50~60 min	
方式	有氧运动(自行车)	
周运动量	每周运动时间累计不少于 150 min	
注意事项	尽量选择餐后 1 h 开始运动, 其他时间开始运动前及运动后进行血糖监测, 谨防低血糖事件发生	
药物协同	降糖药物辅助减重及血糖控制	
实施情况	自我汇报依从性尚可	
运动效果评估	12 周规律运动后, 血糖水平基本达标	
运动处方师	LC, CJ	
机构名称	**医院	

注: HR_{\max} 为最大心率; 1 mmHg=0.133 kPa

附录 8 2 型糖尿病患者抗阻运动处方示例(弹力带)

基本信息	姓名	性别	年	月	日																
适用人群:成年糖尿病患者																					
运动前基础水平	体力活动水平: <input type="checkbox"/> 严重不足 <input type="checkbox"/> 不足 <input type="checkbox"/> 满足																				
	健康筛查结果:无运动禁忌证																				
	用药情况:																				
	并发症/合并症情况:																				
运动风险分级	<input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高																				
存在的主要问题	如体力活动水平不足、血糖控制欠佳																				
运动处方																					
目的	提高体力活动水平,改善血糖控制																				
方式	弹力带操																				
强度	抗阻运动:RPE 10~12 分																				
时间	每次参照视频练习 2~3 组																				
频率	每周 3~5 次																				
周运动量	累计 150 min/周																				
运动进阶	每 4 周调整 1 次运动量,先增加弹力带操练习组数,再增加弹力带阻力																				
运动周期	12 周																				
运动处方具体内容																					
热身	热身 5 min(原地踏步、动态拉伸、关节活动度练习)																				
正式运动	弹力带操																				
拉伸	5 min 整理运动(静态拉伸)																				
注意事项	(1)运动前后监测血糖、血压、心率,避免低血糖,避免运动过程中屏气用力的动作; (2)每次运动都需要进行热身、放松和拉伸,以避免各类运动损伤的发生; (3)若出现胸闷、胸痛、呼吸困难、心悸等不适,请中止运动,及时就医; (4)训练周期内若出现发热、腹泻、明显肌肉酸痛等不适,请及时就医,待好转后再恢复训练。																				
运动处方效果评估	12 周规律运动后,血糖水平基本达标																				
自我评估方法	自我血糖监测记录表																				
	<table><tr><td>日期</td><td>早餐前</td><td>早餐后 2 h</td><td>午餐前</td><td>午餐后 2 h</td><td>晚餐前</td><td>晚餐后 2 h</td><td>睡前</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					日期	早餐前	早餐后 2 h	午餐前	午餐后 2 h	晚餐前	晚餐后 2 h	睡前								
	日期	早餐前	早餐后 2 h	午餐前	午餐后 2 h	晚餐前	晚餐后 2 h	睡前													
	体重																				
低血糖事件																					
运动损伤事件																					
其他导致运动中止的事件																					
回访时间	可每 4 周进行一次评估																				
预期改善效果	运动习惯、血糖控制及运动安全性的评估																				
运动处方研制人员	ZXB, GLX																				
运动处方研制机构	**医院																				
时间																					

注:RPE 为主观用力感觉量表

附录9 2型糖尿病患者的抗阻运动处方示例(循环抗阻训练)

基本信息	姓名	性别	年	月	日																
适用人群:2型糖尿病合并肌少症患者																					
运动前基础水平	体力活动水平: <input type="checkbox"/> 严重不足 <input type="checkbox"/> 不足 <input type="checkbox"/> 满足																				
	健康筛查结果:无运动禁忌证																				
	用药情况:																				
	伴随疾病情况:																				
运动风险分级	<input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 高																				
存在的主要问题	如体力活动水平不足、血糖控制欠佳																				
运动处方																					
目的	提高体力活动水平,改善血糖控制,改善或延缓肌肉衰减																				
方式	液压抗阻器械循环训练																				
强度	每4周调整1次阻力: 1~4周低阻力,RPE 11~12分 5~8周中阻力,RPE 13~14分 9~12周高阻力,RPE 14~15分																				
时间	每次45 min																				
频率	每周3次																				
周运动量	135 min/周																				
运动进阶	每4周调整1次阻力																				
运动周期	12周																				
运动处方具体内容																					
热身	热身5 min(动态拉伸加静态拉伸)																				
正式运动	30 min 主运动(30 s器械、30 s原地踏步,循环训练,2~3个循环)																				
拉伸	10 min 整理运动(静态拉伸)																				
注意事项	(1)预防跌倒,从小负荷开始逐渐递进,运动前后充分热身整理,避免肌肉损伤,若出现明显肌肉酸痛,可延长训练间隔时间; (2)运动前后监测血糖、血压、心率,避免低血糖,避免运动过程中屏息的动作; (3)每次运动都需要进行热身、放松和拉伸,以减少各类运动损伤风险; (4)若出现胸闷、胸痛、呼吸困难、心悸等不适,立即中止运动,及时就医; (5)训练周期内若出现发热、腹泻、明显肌肉酸痛等不适,请及时就医,待好转后再恢复训练。																				
运动处方效果评估																					
自我评估方法	自我血糖监测记录表																				
	<table><tr><td>日期</td><td>早餐前</td><td>早餐后2 h</td><td>午餐前</td><td>午餐后2 h</td><td>晚餐前</td><td>晚餐后2 h</td><td>睡前</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>					日期	早餐前	早餐后2 h	午餐前	午餐后2 h	晚餐前	晚餐后2 h	睡前								
	日期	早餐前	早餐后2 h	午餐前	午餐后2 h	晚餐前	晚餐后2 h	睡前													
	低血糖事件																				
运动损伤事件																					
其他导致运动中止的事件																					
回访时间	可每4周进行一次评估																				
预期改善效果	运动习惯、血糖控制及运动安全性的评估																				
运动处方研制人员	ZXB, GLX																				
运动处方研制机构	**医院																				
时间																					

注:RPE为主观用力感觉量表

附录 10 有氧运动强度分级^[177]

强度分级	相对强度				绝对强度 (MET)
	HRR 百分比或 VO ₂ R 百分比 (%)	HR _{max} 百分比(%)	VO _{2max} 百分比(%)	RPE(6~20 分)	
低	<30	<57	<37	很轻松(<9 分)	<2.0
较低	30~39	57~63	37~45	很轻松到轻松(9~11 分)	2.0~2.9
中等	40~59	64~76	46~63	轻松到有些吃力(12~13 分)	3.0~5.9
较大	60~89	77~95	64~90	有些吃力到很吃力(14~17 分)	6.0~8.7
次最大到最大	≥90	≥96	≥91	很吃力(≥18 分)	≥8.8

强度分级	相对于最大运动能力 MET 值的强度			不同年龄段的绝对强度(MET)		
	20 MET VO _{2max} 百分比(%)	10 MET VO _{2max} 百分比(%)	5 MET VO _{2max} 百分比(%)	青年人 (20~39 岁)	中年人 (40~64 岁)	老年人 (≥65 岁)
低	<34	<37	<44	<2.4	<2.0	<1.6
较低	34~42	37~45	44~51	2.4~4.7	2.0~3.9	1.6~3.1
中等	43~61	46~63	52~67	4.8~7.1	4.0~5.9	3.2~4.7
较大	62~90	64~90	68~91	7.2~10.1	6.0~8.4	4.8~6.7
次最大到最大	≥91	≥91	≥92	≥10.2	≥8.5	≥6.8

注:HRR 为储备心率;VO₂R 为储备摄氧量;HR_{max} 为最大心率;VO_{2max} 为最大摄氧量;RPE 为主观用力感觉量表;MET 为代谢当量

附录 11 间歇扫描 CGM 和 CGM 技术在糖尿病患者运动中的准确性和安全性

准确性和安全性	说明
准确性	运动期间平均相对差增加 10%~13.6%
	血糖和传感器血糖之间的时滞从 5 min 延长到 12~24 min
	葡萄糖波动越快,血糖和传感器葡萄糖之间的时滞就越大
安全性	在运动过程中设置比平时更高的低血糖报警值,例如 5.6 mmol/L(100 mg/dl)
	根据运动经验和低血糖风险调整运动中的传感器血糖目标值
	如果传感器葡萄糖降低低于 3.0 mmol/L(54 mg/dl),则不应重新开始运动
	运动后使用传感器葡萄糖和趋势箭头来确定是否需要进食预防低血糖的碳水化合物
	鼓励家人或朋友在可接受的情况下在运动期间和运动后以及夜间提供支持
	对于没有警报的系统,鼓励在夜间进行定期检查

注:CGM 为持续葡萄糖监测

参考文献

[1] 吴静, 郭立新. 中国糖尿病地图[M]. 北京:人民卫生出版社, 2022.

[2] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. 10th ed [EB/OL]. [2024-03-27]. https://diabetesatlas.org/idfawp/resource-files/2021/07/IDF_Atlas_10th_Edition_2021.pdf.

[3] 中华医学会糖尿病学分会. 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/cma.j.cn115791-20210221-00095.

[4] Peng W, Chen S, Chen X, et al. Trends in major non-communicable diseases and related risk factors in China 2002-2019: an analysis of nationally representative survey data[J]. Lancet Reg Health West Pac, 2024, 43: 100809. DOI: 10.1016/j.lanwpc. 2023.100809.

[5] Pan XR, Li GW, Hu YH, 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/diaccare.20.4.537.

[6] Zhang L, Zhang Y, Shen S, et al. Safety and effectiveness of metformin plus lifestyle intervention compared with lifestyle intervention alone in preventing progression to diabetes in a Chinese population with impaired glucose regulation: a multicentre, open-label, randomised controlled trial[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2023, 11

- (8):567-577. DOI: 10.1016/S2213-8587(23)00132-8.
- [7] Lindström J, Louheranta A, Mannelin M, et al. The Finnish diabetes prevention study (DPS): lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity [J]. *Diabetes Care*, 2003, 26 (12):3230- 3236. DOI: 10.2337/diacare.26.12.3230.
- [8] Diabetes Prevention Program (DPP) Research Group. The diabetes prevention program (DPP): description of lifestyle intervention[J]. *Diabetes Care*, 2002, 25 (12): 2165-2171. DOI: 10.2337/diacare.25.12.2165.
- [9] Diabetes Prevention Program Research Group. Long-term effects of lifestyle intervention or metformin on diabetes development and microvascular complications over 15-year follow-up: the Diabetes Prevention Program Outcomes Study[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2015, 3 (11):866-875. DOI: 10.1016/S2213-8587(15)00291-0.
- [10] 潘孝仁, 李光伟, 胡英华, 等. 饮食和运动干预治疗对糖尿病发病率的影响——530 例糖耐量低减人群六年前瞻性观察[J]. *中华内科杂志*, 1995, 34(2):108-112.
- [11] Bowden Davies KA, Sprung VS, Norman JA, et al. Physical activity and sedentary time: association with metabolic health and liver fat[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2019, 51 (6):1169- 1177. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001901.
- [12] Stine JG. Editorial: twenty minutes of moderate-to-vigorous physical activity a day keeps the NAFLD away[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2022, 55 (1):116- 117. DOI: 10.1111/apt.16662.
- [13] 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.
- [14] 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/cma.j.cn.115791-20220113-00032.
- [15] Hu S, Lin C, Cai X, et al. Trends in baseline HbA1c and body-mass index in randomised placebo-controlled trials of type 2 diabetes from 1987 to 2022: a systematic review and meta-analysis[J]. *EClinicalMedicine*, 2023, 57:101868. DOI: 10.1016/j.eclinm.2023.101868.
- [16] GBD 2021 Diabetes Collaborators. Global, regional, and national burden of diabetes from 1990 to 2021, with projections of prevalence to 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2023, 402 (10397):203- 234. DOI: 10.1016/S0140- 6736 (23)01301-6.
- [17] He S, Wang J, Shen X, et al. Cancer and its predictors in Chinese adults with newly diagnosed diabetes and impaired glucose tolerance (IGT): a 30-year follow-up of the Da Qing IGT and Diabetes Study[J]. *Br J Cancer*, 2022, 127(1):102-108. DOI: 10.1038/s41416-022-01758-x.
- [18] Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour[J]. *Br J Sports Med*, 2020, 54(24): 1451-1462. DOI: 10.1136/bjsports-2020-102955.
- [19] Heiskanen MA, Motiani KK, Mari A, et al. Exercise training decreases pancreatic fat content and improves beta cell function regardless of baseline glucose tolerance: a randomised controlled trial[J]. *Diabetologia*, 2018, 61 (8):1817-1828. DOI: 10.1007/s00125-018-4627-x.
- [20] Kirwan JP, Solomon TP, Wojta DM, et al. Effects of 7 days of exercise training on insulin sensitivity and responsiveness in type 2 diabetes mellitus[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2009, 297 (1):E151- E156. DOI: 10.1152/ajpendo.00210.2009.
- [21] Magalhães JP, Melo X, Correia IR, et al. Effects of combined training with different intensities on vascular health in patients with type 2 diabetes: a 1-year randomized controlled trial[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2019, 18 (1):34. DOI: 10.1186/s12933-019-0840-2.
- [22] Naylor LH, Davis EA, Kalic RJ, et al. Exercise training improves vascular function in adolescents with type 2 diabetes[J]. *Physiol Rep*, 2016, 4(4): e12713. DOI: 10.14814/phy2.12713.
- [23] Motiani KK, Collado MC, Eskelinen JJ, et al. Exercise training modulates gut microbiota profile and improves endotoxemia[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2020, 52(1):94-104. DOI: 10.1249/MSS.00000000000002112.
- [24] Hu P, Li Y, Zhou X, et al. Association between physical activity and abnormal glucose metabolism—a population-based cross-sectional study in China[J]. *J Diabetes Complications*, 2018, 32(8):746-752. DOI: 10.1016/j.jdiacomp.2018.05.021.
- [25] Zhu X, Zhang F, Chen J, et al. The effects of supervised exercise training on weight control and other metabolic outcomes in patients with type 2 diabetes: a meta-analysis[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2022, 32(3): 186-194. DOI: 10.1123/ijnsnem.2021-0168.
- [26] Zhu X, Zhao L, Chen J, et al. The effect of physical activity on glycemic variability in patients with diabetes: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2021, 12: 767152. DOI: 10.3389/fendo.2021.767152.
- [27] Pi-Sunyer X, Blackburn G, Brancati FL, et al. Reduction in weight and cardiovascular disease risk factors in individuals with type 2 diabetes: one-year results of the look AHEAD trial[J]. *Diabetes Care*, 2007, 30(6):1374-1383. DOI: 10.2337/dc07-0048.
- [28] Gong Q, Zhang P, Wang J, et al. Morbidity and mortality after lifestyle intervention for people with impaired glucose tolerance: 30-year results of the Da Qing Diabetes Prevention Outcome Study[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2019, 7(6):452-461. DOI: 10.1016/S2213-8587 (19)30093-2.
- [29] Kanaley JA, Colberg SR, Corcoran MH, et al. Exercise/physical activity in individuals with type 2 diabetes: a consensus statement from the American College of Sports Medicine[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2022, 54 (2):353-368. DOI: 10.1249/MSS.00000000000002800.

- [30] Yang X, Li J, Hu D, et al. Predicting the 10-year risks of atherosclerotic cardiovascular disease in Chinese population: the China-PAR project (prediction for ASCVD risk in China) [J]. *Circulation*, 2016, 134 (19): 1430–1440. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.022367.
- [31] Duvivier BM, Schaper NC, Hesselink MK, et al. Breaking sitting with light activities vs structured exercise: a randomised crossover study demonstrating benefits for glycaemic control and insulin sensitivity in type 2 diabetes [J]. *Diabetologia*, 2017, 60 (3):490–498. DOI: 10.1007/s00125-016-4161-7.
- [32] Little JP, Gillen JB, Percival ME, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes [J]. *J Appl Physiol* (1985), 2011, 111 (6):1554–1560. DOI: 10.1152/japphysiol.00921.2011.
- [33] Armstrong MJ, Rabi DM, Southern DA, et al. Clinical utility of pre-exercise stress testing in people with diabetes [J]. *Can J Cardiol*, 2019, 35 (2): 185–192. DOI: 10.1016/j.cjca.2018.11.007.
- [34] 中国医药卫生文化协会心血管健康与科学运动分会. 运动相关心血管事件风险的评估与监测中国专家共识 [J]. *中国循环杂志*, 2022, 37 (7):659–668. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2022.07.002.
- [35] Jayedi A, Emadi A, Shab-Bidar S. Dose-dependent effect of supervised aerobic exercise on HbA_{1c} in patients with type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Sports Med*, 2022, 52 (8):1919–1938. DOI: 10.1007/s40279-022-01673-4.
- [36] Tipton CM. Historical perspective: the antiquity of exercise, exercise physiology and the exercise prescription for health [J]. *World Rev Nutr Diet*, 2008, 98:198–245. DOI: 10.1159/000152989.
- [37] Yates T, Haffner SM, Schulte PJ, et al. Association between change in daily ambulatory activity and cardiovascular events in people with impaired glucose tolerance (NAVIGATOR trial): a cohort analysis [J]. *Lancet*, 2014, 383 (9922):1059–1066. DOI: 10.1016/S0140-6736 (13)62061-9.
- [38] Paluch AE, Bajpai S, Bassett DR, et al. Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts [J]. *Lancet Public Health*, 2022, 7 (3): e219–e228. DOI: 10.1016/S2468-2667(21)00302-9.
- [39] Lee IM, Shiroma EJ, Kamada M, et al. Association of step volume and intensity with all-cause mortality in older women [J]. *JAMA Intern Med*, 2019, 179 (8):1105–1112. DOI: 10.1001/jamainternmed.2019.0899.
- [40] Jayedi A, Zargar MS, Emadi A, et al. Walking speed and the risk of type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis [J]. *Br J Sports Med*, 2024, 58 (6):334–342. DOI: 10.1136/bjsports-2023-107336.
- [41] Gunnar B. The Borg CR Scales® Folder [EB/OL]. [2024-03-27]. <https://www.borgperception.se/wp-content/uploads/2019/10/The-Borg-CR-Scales-Folder.pdf>.
- [42] Pesta DH, Goncalves R, Madiraju AK, et al. Resistance training to improve type 2 diabetes: working toward a prescription for the future [J]. *Nutr Metab (Lond)*, 2017, 14:24. DOI: 10.1186/s12986-017-0173-7.
- [43] Dunstan DW, Daly RM, Owen N, et al. High-intensity resistance training improves glycemic control in older patients with type 2 diabetes [J]. *Diabetes Care*, 2002, 25 (10):1729–1736. DOI: 10.2337/diacare.25.10.1729.
- [44] Kobayashi Y, Long J, Dan S, et al. Strength training is more effective than aerobic exercise for improving glycaemic control and body composition in people with normal-weight type 2 diabetes: a randomised controlled trial [J]. *Diabetologia*, 2023, 66 (10):1897–1907. DOI: 10.1007/s00125-023-05958-9.
- [45] Ishiguro H, Kodama S, Horikawa C, et al. In search of the ideal resistance training program to improve glycemic control and its indication for patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Med*, 2016, 46 (1):67–77. DOI: 10.1007/s40279-015-0379-7.
- [46] Behm DG, Granacher U, Warneke K, et al. Minimalist training: is lower dosage or intensity resistance training effective to improve physical fitness? A narrative review [J]. *Sports Med*, 2024, 54 (2):289–302. DOI: 10.1007/s40279-023-01949-3.
- [47] Featherstone JF, Holly RG, Amsterdam EA. Physiologic responses to weight lifting in coronary artery disease [J]. *Am J Cardiol*, 1993, 71 (4):287–292. DOI: 10.1016/0002-9149(93)90792-b.
- [48] Pan B, Ge L, Xun YQ, et al. Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis [J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2018, 15 (1):72. DOI: 10.1186/s12966-018-0703-3.
- [49] Church TS, Blair SN, Cocreham S, et al. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A_{1c} levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial [J]. *JAMA*, 2010, 304 (20):2253–2262. DOI: 10.1001/jama.2010.1710.
- [50] Mukherji AB, Lu D, Qin F, et al. Effectiveness of a community-based structured physical activity program for adults with type 2 diabetes: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5 (12):e2247858. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2022.47858.
- [51] Umpierre D, Ribeiro PA, Kramer CK, et al. Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA_{1c} levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA*, 2011, 305 (17):1790–1799. DOI: 10.1001/jama.2011.576.
- [52] Boulé NG, Haddad E, Kenny GP, et al. Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials [J]. *JAMA*, 2001, 286 (10):1218–1227. DOI: 10.1001/jama.286.10.1218.

- [53] Abate M, Schiavone C, Pelotti P, et al. Limited joint mobility in diabetes and ageing: recent advances in pathogenesis and therapy[J]. *Int J Immunopathol Pharmacol*, 2010, 23 (4):997–1003. DOI: 10.1177 / 039463201002300404.
- [54] Jayawardena R, Ranasinghe P, Chathuranga T, et al. The benefits of yoga practice compared to physical exercise in the management of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis[J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2018, 12 (5):795–805. DOI: 10.1016/j.dsx.2018.04.008.
- [55] Chudyk A, Petrella RJ. Effects of exercise on cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: a meta-analysis[J]. *Diabetes Care*, 2011, 34 (5):1228–1237. DOI: 10.2337/dc10-1881.
- [56] Chapman A, Meyer C, Renehan E, et al. Exercise interventions for the improvement of falls-related outcomes among older adults with diabetes mellitus: a systematic review and meta-analyses[J]. *J Diabetes Complications*, 2017, 31 (3):631–645. DOI: 10.1016/j.jdia-comp.2016.09.015.
- [57] Snowling NJ, Hopkins WG. Effects of different modes of exercise training on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: a meta-analysis [J]. *Diabetes Care*, 2006, 29 (11):2518–2527. DOI: 10.2337/dc06-1317.
- [58] 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.
- [59] Morrison S, Colberg SR, Mariano M, et al. Balance training reduces falls risk in older individuals with type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33 (4):748–750. DOI: 10.2337/dc09-1699.
- [60] Morrison S, Simmons R, Colberg SR, et al. Supervised balance training and wii fit-based exercises lower falls risk in older adults with type 2 diabetes[J]. *J Am Med Dir Assoc*, 2018, 19 (2):185. e7–e13. DOI: 10.1016/j.jamda.2017.11.004.
- [61] Young LH, Wackers FJ, Chyun DA, et al. Cardiac outcomes after screening for asymptomatic coronary artery disease in patients with type 2 diabetes: the DIAD study: a randomized controlled trial[J]. *JAMA*, 2009, 301 (15):1547–1555. DOI: 10.1001/jama.2009. 476.
- [62] van der Berg JD, Stehouwer CD, Bosma H, et al. Associations of total amount and patterns of sedentary behaviour with type 2 diabetes and the metabolic syndrome: the Maastricht Study[J]. *Diabetologia*, 2016, 59 (4):709–718. DOI: 10.1007/s 00125-015-3861-8.
- [63] Cooper AJ, Brage S, Ekelund U, et al. Association between objectively assessed sedentary time and physical activity with metabolic risk factors among people with recently diagnosed type 2 diabetes[J]. *Diabetologia*, 2014, 57(1):73–82. DOI: 10.1007/ s00125-013-3069-8.
- [64] Dempsey PC, Larsen RN, Sethi P, et al. Benefits for type 2 diabetes of interrupting prolonged sitting with brief bouts of light walking or simple resistance activities [J]. *Diabetes Care*, 2016, 39(6):964–972. DOI: 10.2337/dc15-2336.
- [65] 《运动处方中国专家共识(2023)》专家组. 运动处方中国专家共识(2023)[J]. *中国运动医学杂志*, 2023, 42(1):3–13. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6710.2023.01. 001.
- [66] Holmstrup M, Fairchild T, Keslacy S, et al. Multiple short bouts of exercise over 12-h period reduce glucose excursions more than an energy-matched single bout of exercise[J]. *Metabolism*, 2014, 63 (4):510–519. DOI: 10.1016/j.metabol.2013.12.006.
- [67] Li S, Lear SA, Rangarajan S, et al. Association of sitting time with mortality and cardiovascular events in high-income, middle-income, and low-income countries [J]. *JAMA Cardiol*, 2022, 7(8):796–807. DOI: 10.1001/jamacardio.2022.1581.
- [68] Oppert JM, Bellicha A, van Baak MA, et al. Exercise training in the management of overweight and obesity in adults: synthesis of the evidence and recommendations from the European Association for the Study of Obesity Physical Activity Working Group[J]. *Obes Rev*, 2021, 22 (Suppl 4):e13273. DOI: 10.1111/obr.13273.
- [69] Grace A, Chan E, Giallauria F, et al. Clinical outcomes and glycaemic responses to different aerobic exercise training intensities in type II diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2017, 16(1):37. DOI: 10.1186/s12933-017-0518-6.
- [70] Gillen JB, Little JP, Punthakee Z, et al. Acute high-intensity interval exercise reduces the postprandial glucose response and prevalence of hyperglycaemia in patients with type 2 diabetes[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2012, 14 (6):575–577. DOI: 10.1111/j.1463-1326.2012.01564.x.
- [71] American College of Sports Medicine. ACSM 运动测试与运动处方指南. 王正珍, 译. 10 版[M]. 北京:北京体育大学出版社, 2019.
- [72] Karstoft K, Winding K, Knudsen SH, et al. The effects of free-living interval-walking training on glycemic control, body composition, and physical fitness in type 2 diabetic patients: a randomized, controlled trial[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(2):228–236. DOI: 10.2337/dc12-0658.
- [73] Nieuwoudt S, Fealy CE, Foucher JA, et al. Functional high-intensity training improves pancreatic β -cell function in adults with type 2 diabetes[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2017, 313 (3):E314–E320. DOI: 10.1152/ajpendo.00407.2016.
- [74] Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, 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.
- [75] Mitranun W, Deerochanawong C, Tanaka H, et al. Continuous vs interval training on glycemic control and macro-and microvascular reactivity in type 2 diabetic patients

- [J]. Scand J Med Sci Sports, 2014, 24 (2):e69- e76. DOI: 10.1111/sms.12112.
- [76] Hollekim- Strand SM, Bjørngaas MR, Albrektsen G, et al. High- intensity interval exercise effectively improves cardiac function in patients with type 2 diabetes mellitus and diastolic dysfunction: a randomized controlled trial[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 64(16):1758- 1760. DOI: 10.1016/j.jacc.2014. 07.971.
- [77] Tsang T, Orr R, Lam P, et al. Effects of Tai Chi on glucose homeostasis and insulin sensitivity in older adults with type 2 diabetes: a randomised double-blind sham-exercise-controlled trial[J]. Age Ageing, 2008, 37 (1):64-71. DOI: 10.1093/ageing /afm127.
- [78] Xiang GD, Wang YL. Regular aerobic exercise training improves endothelium-dependent arterial dilation in patients with impaired fasting glucose[J]. Diabetes Care, 2004, 27(3):801-802. DOI: 10.2337 /diacare.27.3.801.
- [79] Qiu J, Yang J, Lu M, et al. Chinese compilation of physical activities in healthy adults aged 18-64: Categories and metabolic intensities[J]. Sports Med Health Sci, 2022, 4(3):160-171. DOI: 10.1016/j.smhs. 2022.06.004.
- [80] Lee MS, Jun JH, Lim HJ, et al. A systematic review and meta-analysis of tai chi for treating type 2 diabetes [J]. Maturitas, 2015, 80 (1):14- 23. DOI: 10.1016/j.maturitas.2014.09.008.
- [81] Chan A, Chair SY, Lee D, et al. Tai Chi exercise is more effective than brisk walking in reducing cardiovascular disease risk factors among adults with hypertension: a randomised controlled trial[J]. Int J Nurs Stud, 2018, 88:44-52. DOI: 10.1016/j.ijnurstu. 2018.08.009.
- [82] Wang C, Schmid CH, Iversen MD, et al. Comparative effectiveness of Tai Chi versus physical therapy for knee osteoarthritis: a randomized trial[J]. Ann Intern Med, 2016, 165(2):77-86. DOI: 10.7326/ M15-2143.
- [83] Li F, Harmer P, Fitzgerald K, et al. Tai chi and postural stability in patients with Parkinson's disease[J]. N Engl J Med, 2012, 366(6):511-519. DOI: 10.1056/NEJ-Moa1107911.
- [84] Wang C, Schmid CH, Fielding RA, et al. Effect of tai chi versus aerobic exercise for fibromyalgia: comparative effectiveness randomized controlled trial[J]. BMJ, 2018, 360:k851. DOI: 10.1136/bmj. k851.
- [85] Khosravizade Tabasi H, Madarshahian F, Khoshniat Nikoo M, et al. Impact of family support improvement behaviors on anti diabetic medication adherence and cognition in type 2 diabetic patients[J]. J Diabetes Metab Disord, 2014, 13 (1):113. DOI: 10. 1186/s40200-014-0113-2.
- [86] 高洪刚.气功应用于2型糖尿病患者HbA1c及提高免疫功能水平的影响观察[J].中医临床研究, 2017, 9(24):61-62. DOI:10.3969/j.issn.1674-7860.2017.24. 026.
- [87] 牛鹏,王爱民,张玲,等.八段锦对2型糖尿病患者血糖控制效果的影响[J].中华护理杂志, 2012, 47(8):701-703. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2012. 08.009.
- [88] 李兴海. 健身气功·八段锦对2型糖尿病内皮依赖性血管舒张功能影响的研究[J].沈阳体育学院学报, 2009, 28 (1):50-51,55.
- [89] Zou L, Pan Z, Yeung A, et al. A review study on the beneficial effects of Baduanjin[J]. J Altern Complement Med, 2018, 24 (4):324- 335. DOI: 10. 1089/ acm.2017.0241.
- [90] Zierath JR, He L, Gumà A, et al. Insulin action on glucose transport and plasma membrane GLUT4 content in skeletal muscle from patients with NIDDM[J]. Diabetologia, 1996, 39 (10):1180- 1189. DOI: 10.1007/ BF02658504.
- [91] Kennedy JW, Hirshman MF, Gervino EV, et al. Acute exercise induces GLUT4 translocation in skeletal muscle of normal human subjects and subjects with type 2 diabetes[J]. Diabetes, 1999, 48 (5):1192- 1197. DOI: 10.2337/diabetes.48.5.1192.
- [92] Musi N, Fujii N, Hirshman MF, et al. AMP-activated protein kinase (AMPK) is activated in muscle of subjects with type 2 diabetes during exercise[J]. Diabetes, 2001, 50(5):921-927. DOI: 10.2337/diabetes.50.5.921.
- [93] Bussau VA, Ferreira LD, Jones TW, et al. A 10-s sprint performed prior to moderate-intensity exercise prevents early post-exercise fall in glycaemia in individuals with type 1 diabetes[J]. Diabetologia, 2007, 50(9):1815- 1818. DOI: 10.1007/ s00125-007-0727-8.
- [94] Bussau VA, Ferreira LD, Jones TW, et al. The 10-s maximal sprint: a novel approach to counter an exercise-mediated fall in glycemia in individuals with type 1 diabetes[J]. Diabetes Care, 2006, 29 (3):601- 606. DOI: 10.2337/diacare.29.03.06.dc05-1764.
- [95] Fahey AJ, Paramalingam N, Davey RJ, et al. The effect of a short sprint on postexercise whole-body glucose production and utilization rates in individuals with type 1 diabetes mellitus[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2012, 97(11):4193-4200. DOI: 10.1210/jc. 2012-1604.
- [96] Maran A, Pavan P, Bonsembiante B, et al. Continuous glucose monitoring reveals delayed nocturnal hypoglycemia after intermittent high-intensity exercise in non-trained patients with type 1 diabetes[J]. Diabetes Technol Ther, 2010, 12 (10): 763- 768. DOI: 10.1089/ dia.2010.0038.
- [97] Iscoe KE, Riddell MC. Continuous moderate-intensity exercise with or without intermittent high-intensity work: effects on acute and late glycaemia in athletes with type 1 diabetes mellitus[J]. Diabet Med, 2011, 28 (7):824- 832. DOI: 10.1111/j.1464-5491.2011.03274.x.
- [98] Campbell MD, West DJ, Bain SC, et al. Simulated games activity vs continuous running exercise: a novel comparison of the glycemic and metabolic responses in T1DM patients[J]. Scand J Med Sci Sports, 2015, 25(2): 216-222. DOI: 10.1111/sms. 12192.
- [99] Yardley JE, Kenny GP, Perkins BA, et al. Effects of performing resistance exercise before versus after aerobic exercise on glycemia in type 1 diabetes[J]. Diabetes Care, 2012, 35(4):669-675. DOI: 10.2337/ dc11-1844.

- [100] Tsalikian E, Mauras N, Beck RW, et al. Impact of exercise on overnight glycemic control in children with type 1 diabetes mellitus[J]. *J Pediatr*, 2005, 147 (4): 528–534. DOI: 10.1016/j.jpeds.2005.04.065.
- [101] Campbell MD, Walker M, Bracken RM, et al. Insulin therapy and dietary adjustments to normalize glycemia and prevent nocturnal hypoglycemia after evening exercise in type 1 diabetes: a randomized controlled trial[J]. *BMJ Open Diabetes Res Care*, 2015, 3 (1):e000085. DOI: 10.1136/bmjdr-2015-000085.
- [102] Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2017, 5 (5):377–390. DOI: 10.1016/S2213-8587(17)30014-1.
- [103] Gordon BA, Bird SR, MacIsaac RJ, et al. Does a single bout of resistance or aerobic exercise after insulin dose reduction modulate glycaemic control in type 2 diabetes? A randomised cross-over trial[J]. *J Sci Med Sport*, 2016, 19 (10):795–799. DOI: 10.1016/j.jsams.2016.01.004.
- [104] Kjaer M, Hollenbeck CB, Frey-Hewitt B, et al. Glucoregulation and hormonal responses to maximal exercise in non-insulin-dependent diabetes[J]. *J Appl Physiol* (1985), 1990, 68 (5):2067–2074. DOI: 10.1152/jap-1990.68.5.2067.
- [105] Hernandez-Quiles C, Ramirez-Duque N, Acosta-Delgado D. Ketoacidosis due to empagliflozin, a paradigm shift: case report and review of literature[J]. *Curr Diabetes Rev*, 2019, 15 (4):259–262. DOI: 10.2174/1573399814666180726114044.
- [106] American Diabetes Association. 11. Microvascular complications and foot care: standards of medical care in diabetes–2021[J]. *Diabetes Care*, 2021, 44 (Suppl 1):S151–S167. DOI: 10.2337/dc21-S011.
- [107] American Diabetes Association. 10. Cardiovascular disease and risk management: standards of medical care in diabetes–2021[J]. *Diabetes Care*, 2021, 44 (Suppl 1):S125–S150. DOI: 10.2337/dc21-S010.
- [108] Rossboth S, Lechleitner M, Oberaigner W. Risk factors for diabetic foot complications in type 2 diabetes—a systematic review[J]. *Endocrinol Diabetes Metab*, 2021, 4 (1):e00175. DOI: 10.1002/edm2.175.
- [109] Biswas A, Oh PI, Faulkner GE, et al. Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ann Intern Med*, 2015, 162 (2):123–132. DOI: 10.7326/M14-1651.
- [110] Wilmot EG, Edwardson CL, Achana FA, et al. Sedentary time in adults and the association with diabetes, cardiovascular disease and death: systematic review and meta-analysis[J]. *Diabetologia*, 2012, 55 (11):2895–2905. DOI: 10.1007/s00125-012-2677-z.
- [111] Riebe D, Franklin BA, Thompson PD, et al. Updating ACSM's recommendations for exercise preparticipation health screening[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2015, 47 (11):2473–2479. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000664.
- [112] Johansen KL. Exercise and chronic kidney disease: current recommendations[J]. *Sports Med*, 2005, 35 (6):485–499. DOI: 10.2165/00007256-200535060-00003.
- [113] King DS, Baldus PJ, Sharp RL, et al. Time course for exercise-induced alterations in insulin action and glucose tolerance in middle-aged people[J]. *J Appl Physiol* (1985), 1995, 78 (1):17–22. DOI: 10.1152/jap-1995.78.1.17.
- [114] Painter P. Exercise after renal transplantation[J]. *Adv Ren Replace Ther*, 1999, 6 (2):159–164. DOI: 10.1016/s1073-4449(99)70034-8.
- [115] 中华医学会糖尿病学分会神经并发症学组. 糖尿病神经病变诊治专家共识(2021年版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13 (6):540–557. DOI: 10.3760/cma.j.cn.115791-20210310-00143.
- [116] Chen P, Vilorio NC, Dhatariya K, et al. Guidelines on interventions to enhance healing of foot ulcers in people with diabetes (IWGDF 2023 update)[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2024, 40 (3):e3644. DOI: 10.1002/dmrr.3644.
- [117] Yardley JE, Stapleton JM, Sigal RJ, et al. Do heat events pose a greater health risk for individuals with type 2 diabetes?[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2013, 15 (6):520–529. DOI: 10.1089/dia.2012.0324.
- [118] Ghilarducci LE, Holly RG, Amsterdam EA. Effects of high resistance training in coronary artery disease[J]. *Am J Cardiol*, 1989, 64 (14):866–870. DOI: 10.1016/0002-9149(89)90833-3.
- [119] Notley SR, Poirier MP, Sigal RJ, et al. Exercise heat stress in patients with and without type 2 diabetes[J]. *JAMA*, 2019, 322 (14):1409–1411. DOI: 10.1001/jama.2019.10943.
- [120] Kenny GP, Stapleton JM, Yardley JE, et al. Older adults with type 2 diabetes store more heat during exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45 (10):1906–1914. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3182940836.
- [121] Layton JB, Li W, Yuan J, et al. Heatwaves, medications, and heat-related hospitalization in older Medicare beneficiaries with chronic conditions[J]. *PLoS One*, 2020, 15 (12):e0243665. DOI: 10.1371/journal.pone.0243665.
- [122] Ross R, Dagnone D, Jones PJ, et al. Reduction in obesity and related comorbid conditions after diet-induced weight loss or exercise-induced weight loss in men. A randomized, controlled trial[J]. *Ann Intern Med*, 2000, 133 (2):92–103. DOI: 10.7326/0003-4819-133-2-200007180-00008.
- [123] Giannopoulou I, Fernhall B, Carhart R, et al. Effects of diet and/or exercise on the adipocytokine and inflammatory cytokine levels of postmenopausal women with type 2 diabetes[J]. *Metabolism*, 2005, 54 (7):866–875. DOI: 10.1016/j.metabol.2005.01.033.
- [124] Mingrone G, Panunzi S, De Gaetano A, et al. Metabolic surgery versus conventional medical therapy in patients with type 2 diabetes: 10-year follow-up of an

- open-label, single-centre, randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2021, 397 (10271):293–304. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)32649-0.
- [125] Schauer PR, Bhatt DL, Kirwan JP, et al. Bariatric surgery versus intensive medical therapy for diabetes—5-year outcomes[J]. *N Engl J Med*, 2017, 376 (7):641–651. DOI: 10.1056/NEJMoa1600869.
- [126] Gilbertson NM, Gaitán JM, Osinski V, et al. Pre-operative aerobic exercise on metabolic health and surgical outcomes in patients receiving bariatric surgery: a pilot trial[J]. *PLoS One*, 2020, 15 (10):e0239130. DOI: 10.1371/journal.pone.0239130.
- [127] Gilbertson NM, Eichner N, Khurshid M, et al. Impact of pre-operative aerobic exercise on cardiometabolic health and quality of life in patients undergoing bariatric surgery[J]. *Front Physiol*, 2020, 11:1018. DOI: 10.3389/fphys.2020.01018.
- [128] Baillot A, Mampuya WM, Dionne IJ, et al. Impacts of supervised exercise training in addition to interdisciplinary lifestyle management in subjects awaiting bariatric surgery: a randomized controlled study[J]. *Obes Surg*, 2016, 26 (11):2602–2610. DOI: 10.1007/s11695-016-2153-9.
- [129] Berglind D, Willmer M, Eriksson U, et al. Longitudinal assessment of physical activity in women undergoing Roux-en-Y gastric bypass[J]. *Obes Surg*, 2015, 25 (1): 119–125. DOI: 10.1007/s11695-014-1331-x.
- [130] Bond DS, Jakicic JM, Unick JL, et al. Pre-to postoperative physical activity changes in bariatric surgery patients: self report vs. objective measures[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2010, 18 (12):2395–2397. DOI: 10.1038/oby.2010.88.
- [131] 中华医学会内分泌学分会, 中华医学会糖尿病学分会. 中国成人 2 型糖尿病合并非酒精性脂肪性肝病管理专家共识[J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2021, 37 (7):589–598. DOI: 10.3760/cma.j.cn311282-20210105-00016.
- [132] Cruz-Jentoft AJ, Sayer AA. Sarcopenia[J]. *Lancet*, 2019, 393(10191):2636–2646. DOI: 10.1016/S0140-6736(19)31138-9.
- [133] 徐娟兰, 汪亚男, 宋红玲. 2 型糖尿病合并肌少症患者抗阻运动研究进展[J]. *中华现代护理杂志*, 2016, 22(31): 4577–4580. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-2907.2016.31.038.
- [134] Izquierdo M, Merchant RA, Morley JE, et al. International exercise recommendations in older adults (ICF-SR): expert consensus guidelines[J]. *J Nutr Health Aging*, 2021, 25(7):824–853. DOI: 10.1007/s12603-021-1665-8.
- [135] Adams V. Electromyostimulation to fight atrophy and to build muscle: facts and numbers[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2018, 9 (4):631–634. DOI: 10.1002/jcsm.12332.
- [136] Centner C, Ritzmann R, Gollhofer A, et al. Effects of whole-body vibration training and blood flow restriction on muscle adaptations in women: a randomized controlled trial[J]. *J Strength Cond Res*, 2020, 34(3):603–608. DOI: 10.1519/JSC.0000000000.003401.
- [137] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中华医学会心血管病学分会中国医师协会高血压专业委员会, 等. 中国高血压防治指南(2018 年修订版)[J]. *中国心血管杂志*, 2019, 24 (1):24–56. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2019.01.002.
- [138] Wright JT Jr, Williamson JD, Whelton PK, et al. A randomized trial of intensive versus standard blood-pressure control[J]. *N Engl J Med*, 2015, 373(22): 2103–2116. DOI: 10.1056/NEJMoa1511939.
- [139] Palatini P, Agabiti-Rosei E, Mancia G. Blood pressure changes following isometric resistance exercise therapy [M]// Palatini P, Agabiti-Rosei E, Mancia G. Exercise, sports and hypertension (Updates in hypertension and cardiovascular protection). Berlin:Springer, 2022.
- [140] Edwards JJ, Deenmamode A, Griffiths M, et al. Exercise training and resting blood pressure: a large-scale pairwise and network meta-analysis of randomised controlled trials[J]. *Br J Sports Med*, 2023, 57 (20):1317–1326. DOI: 10.1136/bjsports-2022-106503.
- [141] American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. Guidelines for Cardiac Rehabilitation Programs. 6th ed[M]. Champaign: Human Kinetics, 2020.
- [142] 胡大一. 中国心血管疾病康复/二级预防指南:2015 版[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2015.
- [143] Pate RR, Durstine JL. Exercise physiology and its role in clinical sports medicine[J]. *South Med J*, 2004, 97 (9):881–885. DOI: 10.1097/01.SMJ.0000140116.17258.F1.
- [144] Nikolaidis S, Virgiliou C, Vekiou M, et al. Effect of exercise on key pharmacokinetic parameters related to metformin absorption in healthy humans: a pilot study[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2020, 30 (5):858–864. DOI: 10.1111/sms.13628.
- [145] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 成人糖尿病食养指南(2023 年版)[J]. *全科医学临床与教育*, 2023, 21(5): 388–391. DOI: 10.13558/j.cnki.issn1672-3686.2023.005.002.
- [146] 国家体育总局. 糖尿病患者如何科学运动[EB/OL]. (2023-05-24) [2024-03-27]. <https://www.sport.gov.cn/n20001280/n20001265/n20066978/c25618580/content.html>.
- [147] Handelsman Y, Henry RR, Bloomgarden ZT, et al. American association of clinical endocrinologists and american college of endocrinology position statement on the association of SGLT-2 inhibitors and diabetic ketoacidosis[J]. *Endocr Pract*, 2016, 22 (6):753–762. DOI: 10.4158/EP161292.PS.
- [148] Toyama T, Neuen BL, Jun M, et al. Effect of SGLT2 inhibitors on cardiovascular, renal and safety outcomes in patients with type 2 diabetes mellitus and chronic kidney disease: a systematic review and meta-analysis[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2019, 21 (5): 1237–1250. DOI: 10.1111/dom.13648.
- [149] Liew A, Lydia A, Matawaran BJ, et al. Practical con-

- siderations for the use of SGLT-2 inhibitors in the Asia-Pacific countries—an expert consensus statement[J]. *Nephrology (Carlton)*, 2023, 28 (8):415–424. DOI: 10.1111/nep.14167.
- [150] Lundgren JR, Janus C, Jensen S, et al. Healthy weight loss maintenance with exercise, liraglutide, or both combined[J]. *N Engl J Med*, 2021, 384 (18): 1719–1730. DOI: 10.1056/NEJMoa2028198.
- [151] Shetty VB, Fournier PA, Davey RJ, et al. Effect of exercise intensity on glucose requirements to maintain euglycemia during exercise in type 1 diabetes[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2016, 101 (3): 972–980. DOI: 10.1210/jc.2015–4026.
- [152] Drenthen L, Ajie M, Abbink EJ, et al. No insulin degludec dose adjustment required after aerobic exercise for people with type 1 diabetes: the ADREM study[J]. *Diabetologia*, 2023, 66 (6):1035–1044. DOI: 10.1007/s00125-023-05893-9.
- [153] Deichmann RE, Lavie CJ, Asher T, et al. The interaction between statins and exercise: mechanisms and strategies to counter the musculoskeletal side effects of this combination therapy[J]. *Ochsner J*, 2015, 15 (4):429–437.
- [154] Bonfim MR, Oliveira AS, do Amaral SL, et al. Treatment of dyslipidemia with statins and physical exercises: recent findings of skeletal muscle responses[J]. *Arq Bras Cardiol*, 2015, 104 (4):324–331. DOI: 10.5935/abc.20150005.
- [155] Moholdt T, Parr EB, Devlin BL, 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.
- [156] Teo S, Kanaley JA, Guelfi KJ, et al. The effect of exercise timing on glycemic control: a randomized clinical trial[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2020, 52 (2):323–334. DOI: 10.1249/MSS.00000000000002139.
- [157] 李政, 胡蕴, 马建华. 晚餐后不同时段运动对 2 型糖尿病患者餐后血糖谱的影响[J]. *南方医科大学学报*, 2018, 38 (10):1165–1170. DOI: 10.1212/j.issn.1673-4254.2018.10.03.
- [158] Larsen JJ, Dela F, Madsbad S, et al. The effect of intense exercise on postprandial glucose homeostasis in type II diabetic patients[J]. *Diabetologia*, 1999, 42 (11): 1282–1292. DOI: 10.1007/s001250051440.
- [159] Derave W, Mertens A, Muls E, et al. Effects of post-absorptive and postprandial exercise on glucoregulation in metabolic syndrome[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2007, 15 (3):704–711. DOI: 10.1038/oby.2007.548.
- [160] Poirier P, Mawhinney S, Grondin L, et al. Prior meal enhances the plasma glucose lowering effect of exercise in type 2 diabetes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2001, 33 (8):1259–1264. DOI: 10.1097/00005768-200108000-00003.
- [161] Huang T, Lu C, Schumann M, et al. Timing of exercise affects glycemic control in type 2 diabetes patients treated with metformin[J]. *J Diabetes Res*, 2018: 2483273. DOI: 10.1155/2018/2483273.
- [162] Colberg SR, 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.
- [163] Rollo ME, Aguiar EJ, Williams RL, et al. eHealth technologies to support nutrition and physical activity behaviors in diabetes self-management[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2016, 9:381–390. DOI: 10.2147/DMSO.S95247.
- [164] Chen S, Lu J, Peng D, et al. Effect of a mobile health technology-based diabetes education program on glucose control in patients with type 2 diabetes initiating premixed insulin: a prospective, multicenter, observational study[J]. *Diabetes Care*, 2023, 46 (1): e6–e7. DOI: 10.2337/dc22-0510.
- [165] Sahin C, Naylor PJ. Mixed-methods research in diabetes management via mobile health technologies: a scoping review[J]. *JMIR Diabetes*, 2017, 2 (1):e3. DOI: 10.2196/diabetes.6667.
- [166] Zhang J, Eggink E, Zhang X, et al. Needs and views on healthy lifestyles for the prevention of dementia and the potential role for mobile health (mHealth) interventions in China: a qualitative study[J]. *BMJ Open*, 2022, 12 (11):e061111. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-061111.
- [167] 中华医学会糖尿病学分会. 中国血糖监测临床应用指南 (2021 年版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13 (10):936–948. DOI: 10.3760/cma.j.cn115791-20210810-00436.
- [168] Adolfsson P, Taplin CE, Zaharieva DP, et al. ISPAD clinical practice consensus guidelines 2022: exercise in children and adolescents with diabetes[J]. *Pediatr Diabetes*, 2022, 23 (8):1341–1372. DOI: 10.1111/pedi.13452.
- [169] Baker LB, Rollo I, Stein KW, et al. Acute effects of carbohydrate supplementation on intermittent sports performance[J]. *Nutrients*, 2015, 7 (7):5733–5763. DOI: 10.3390/nu7075249.
- [170] Cermak NM, van Loon LJ. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid[J]. *Sports Med*, 2013, 43 (11):1139–1155. DOI: 10.1007/s40279-013-0079-0.
- [171] Smart CE, Evans M, O’Connell SM, et al. Both dietary protein and fat increase postprandial glucose excursions in children with type 1 diabetes, and the effect is additive[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36 (12): 3897–3902. DOI: 10.2337/dc13-1195.
- [172] Collado-Mateo D, Lavín-Pérez AM, Peñacoba C, et al. Key factors associated with adherence to physical exercise in patients with chronic diseases and older adults: an umbrella review[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18 (4):2023. DOI: 10.3390/ijerph18042023.
- [173] McElrath E, Arena S, Scully J. Exercise prescription considerations to optimize home program adherence[J]. *Home Healthc Now*, 2023, 41 (2):112–113. DOI: 10.1097/NHH.0000000000001156.

- [174] Ward S, Orme M, Zatloukal J, et al. Adherence to walking exercise prescription during pulmonary rehabilitation in COPD with a commercial activity monitor: a feasibility trial[J]. BMC Pulm Med, 2021, 21(1):30. DOI: 10.1186/s12890-021-01406-9.
- [175] Sun T, Xu Y, Xie H, et al. Intelligent personalized exercise prescription based on an ehealth promotion system to improve health outcomes of middle-aged and older adult community dwellers: pretest-posttest study[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(5):e28221. DOI: 10.2196/28221.
- [176] Johnson RW, Williams SA, Gucciardi DF, et al. Can an online exercise prescription tool improve adherence to home exercise programmes in children with cerebral palsy and other neurodevelopmental disabilities? A randomised controlled trial[J]. BMJ Open, 2020, 10(12): e040108. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-040108.
- [177] American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 11th ed[EB/OL].[2023-11-12]. <https://www.acsm.org/education-resources/books/guidelines-exercise-testing-prescription>.