

美国糖尿病学会立场声明:体力活动/运动与糖尿病

张献博 郝丽 刘新康 卢玮 张灵婕 王正珍

作者单位:100731 北京,北京医院内分泌科(张献博);100731 北京,国家老年医学中心(张献博);100084 北京,北京体育大学运动医学与康复学院(郝丽、刘新康、卢玮、张灵婕、王正珍);100084 北京,运动与体质健康教育重点实验室(郝丽、王正珍);100084 北京,运动处方研究中心(郝丽、刘新康、卢玮、张灵婕、王正珍)

通信作者:王正珍,Email:zhengzhenwang1005@126.com

本文首次发表在 Diabetes Care, 2016, 39(11): 2065-2079, 经授权翻译发表

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-0815.2017.04.002

基金项目:中国健康促进基金会健康体适能测评与运动管理多中心研究项目(CHPF2014-FITEX);北京医院博士启动基金(BJ-2015-097)

Activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association Zhang Xiaobo, Hao Li, Liu Xinkang, Lu Wei, Zhang Lingjie, Wang Zhengzhen

Endocrinology Department, Beijing Hospital, Beijing 100731, China (Zhang XB); National Center of Gerontology, Beijing 100731, China (Zhang XB); School of Sport Medicine and Rehabilitation, Beijing Sport University, Beijing 100084, China (Hao L, Liu XK, Lu W, Zhang LJ, Wang ZZ); Laboratory of Exercise and Physical Fitness of the Ministry of Education(Beijing Sport University), Beijing 100084, China (Hao L, Wang ZZ); Exercise Prescription Research Center, Beijing Sport University, Beijing 100084, China(Hao L, Liu XK, Lu W, Zhang LJ, Wang ZZ)

Corresponding author: Wang Zhengzhen, Email: zhengzhenwang1005@126.com

This article is based on a paper first published in Diabetes Care, 2016, 39(11): 2065-2079

Fund program: China Health Promotion Foundation(CHPF2014-FITEX); Foundation for Start-up Doctoral Research of Beijing Hospital(BJ-2015-097)

参与并坚持进行体力活动是糖尿病及糖尿病前期人群血糖和整体健康管理的重点。个体特征和健康状况是制定推荐意见和预防措施的依据。此立场声明以临床为导向,以研究证据为基础,提出了针对1型糖尿病、2型糖尿病、妊娠期糖尿病患者及糖尿病前期人群的体力活动和运动建议。

体力活动包括各项能够使能量消耗增加的活动,而运动则是有计划、结构化的体力活动。运动可改善2型糖尿病患者的血糖控制,降低心血管危险因素,减轻体重,提高生活质量^[1-2]。规律运动可以预防或延缓2型糖尿病的发展^[3]。定期锻炼也有益于1型糖尿病患者(例如:改善心血管健康、增加肌肉力量和提高胰岛素敏感性等)^[4]。针对不同糖尿病类型、活动类型和糖尿病相关并发症,制定血糖管理策略时需要面对多种挑战^[5-6]。因此,体力活动和运动建议应个体化以满足不同人群的需求。

一、糖尿病的类型、分类方式及糖尿病前期

体力活动的建议和预防策略因糖尿病类型不同而异。糖尿病主要分为1型和2型糖尿病。1型糖尿病(占5%~10%)是细胞介导的自身免疫缺陷导致胰岛β细胞破坏,使胰岛素生成缺乏^[7]。它可以发生在任何年龄,β细胞的破坏程度变异较大,经典1型糖尿病与成年人相比,多在青年人中快速发病。2型糖尿病(占90%~95%)主要由于胰岛素分泌能力逐渐丧失,通常多伴有胰岛素抵抗。妊娠糖尿病发生在妊娠期间,经筛查通常发生在孕24~28周的孕妇中,且之前并未被诊断为糖尿病。糖尿病前期是指血糖水平高于正常范围,但还未达到糖尿病诊断标准,这类人群发展为2型糖尿病的风险较高^[7],但可通过增加体力活动、改变生活方式来预防或延缓糖尿病的发生^[8]。

二、体力活动及运动的类型

有氧运动主要指包括大肌肉群反复持续参与

的运动^[9],主要由有氧能量系统供能,包括步行、骑自行车、慢跑和游泳等。抗阻(力量)练习包括器械练习、自重练习或弹力带练习等。柔韧性练习主要改善关节活动度^[10]。平衡练习改善步态并防止跌倒^[11]。太极和瑜伽等活动将柔韧性、平衡性和抗阻练习结合在一起。

三、运动和体力活动的益处

1. 有氧运动:有氧运动增加线粒体密度,提高胰岛素敏感性,增强氧化酶活性,改善血管的顺应性和反应性,提高肺功能和免疫功能,并增加心输出量^[12]。中到大量的有氧运动可显著降低1型和2型糖尿病患者的心血管疾病和全因死亡风险^[13]。有氧运动增强1型糖尿病患者的心肺耐力,降低胰岛素抵抗,改善血脂水平和内皮功能^[14]。2型糖尿病患者进行规律训练可降低糖化血红蛋白(HbA1c)、三酰甘油、血压和胰岛素抵抗水平^[15]。高强度间歇训练(HIIT)是有氧运动的另一种选择,它可快速改善成年2型糖尿病患者骨骼肌有氧能力及胰岛素敏感性^[16-17],1型糖尿病患者运动时也不会导致血糖控制的恶化^[18-19]。

2. 抗阻练习:糖尿病是低肌肉力量的独立危险因素^[20],并导致肌肉力量和肌肉功能状态的快速下降^[21]。所有成年人通过抗阻练习均可以增加肌肉重量,改善身体成分,增强力量和身体功能,改善精神健康,增加骨密度,提高胰岛素敏感性,降低血压和血脂,促进心血管健康^[22]。抗阻练习对1型糖尿病患者血糖控制的作用目前尚不清楚^[19]。但抗阻练习有助于降低1型糖尿病患者运动相关低血糖的风险^[23]。抗阻练习和有氧运动组合练习时,先进行抗阻练习比先进行有氧运动发生低血糖次数少^[23]。抗阻练习对2型糖尿病患者的益处包括改善血糖控制、降低胰岛素抵抗、减少体脂肪量、控制血压水平、增加力量和瘦体重^[24]。

3. 其他类型体力活动的获益:柔韧性和平衡性运动对老年糖尿病患者很重要。关节活动度受限是糖基化终产物形成的部分原因,正常老化会导致其积聚,而高血糖使其积聚加速^[25]。拉伸练习可增加关节活动度和柔韧性^[10],但不影响血糖控制。

平衡练习可以通过改善平衡和步态降低跌倒风险,即使已经出现周围神经病变也有助于预防跌倒^[11]。组合运动干预(抗阻和平衡训练,太极拳课程)可使跌倒风险下降28%~29%^[26]。尽管瑜伽可能会改善2型糖尿病患者的血糖控制、调节血脂和改善身体成分,但诸如瑜伽和太极拳等其他训练的获益还未完全证实^[27]。虽然缺乏高质量的研究结

果,但目前已知练习太极拳可改善血糖控制、平衡能力、神经病变症状,并可以提高合并神经病变糖尿病患者生活质量^[28]。

四、减少静坐少动时间的获益及建议

建议

1. 所有成年人,特别是2型糖尿病患者应减少日常的静坐少动行为的时间。B级证据
2. 至少对成年2型糖尿病患者而言,应每30 min打断1次较长时间的久坐并进行一些轻体力活动。C级证据
3. 以上2个建议是对增加结构化运动和碎片化活动的补充,并不能替代它们。C级证据

静坐少动行为是一种低能量消耗觉醒行为(看电视、伏案工作等),普遍存在并且显著影响心血管及代谢健康^[29-30]。长时间静坐少动导致死亡率和患病率升高,且多数独立于参加中等至较大强度体力活动^[31-35]。2型糖尿病患者或高危人群长期静坐少动使血糖控制变差,并导致代谢风险聚集^[36-39]。每20~30 min打断1次静坐状态,并进行短时间(≤5 min)的站立^[40-42]或低强度行走^[41,43-44]均有利于超重/肥胖人群及糖调节受损女性的血糖控制。2型糖尿病患者通过进行15 min饭后步行打断长时间静坐状态^[45],和每30 min进行3 min慢速步行及自重抗阻练习^[46]均有利于血糖控制。针对糖尿病或非糖尿病患者打断静坐少动行为的远期健康获益和打断时间周期,还需要进一步探讨。

五、体力活动和2型糖尿病

建议

1. 建议每日运动,或间隔不超过2 d的运动用以增强胰岛素的作用。B级证据
2. 成年2型糖尿病患者的理想方案应包括有氧运动和抗阻练习,以更好地控制血糖并获得良好的健康效益。C级证据
3. 鼓励儿童和青少年2型糖尿病患者努力达到健康青年人的体力活动目标。C级证据
4. 建议2型糖尿病高危人群和糖尿病前期人群通过结构化的生活方式干预,包括至少150 min/周的运动和改变饮食结构使体重降低5%~7%,以预防或延缓2型糖尿病的发生。A级证据

1. 胰岛素作用与体力活动: 单次运动和规律体力活动可改善肌肉和肝脏中的胰岛素作用^[47]。有氧运动通过胰岛素依赖机制使骨骼肌葡萄糖摄取能力显著提高 5 倍。运动后, 非胰岛素依赖的葡萄糖摄取仍持续较高水平(不超过 2 h), 如果运动时间更长, 胰岛素依赖的葡萄糖摄取作用可以最长持续 48 h^[48]并与肌糖原储备相关^[49-50]。如果运动强度间断达到次大强度, 短时间活动(不超过 20 min)改善胰岛素作用的效果可持续 24 h^[51-52]。即使是低强度有氧运动, 若运动时间 ≥ 60 min 也可至少在 24 h 内增强肥胖或胰岛素抵抗成年人的胰岛素作用效果^[53]。如果运动的目标是增强胰岛素作用, 最佳选择应该是每日进行中等至较大强度运动^[54]。

规律运动能够增加肌肉毛细血管密度、细胞氧化能力、脂代谢和胰岛素信号通路中的蛋白水平^[47], 停止运动后上述作用又会消失^[55]。即使体重没有减低, 有氧运动和抗阻练习均可促进骨骼肌的适应性、脂肪组织代谢及增强肝脏的胰岛素作用^[56-57]。规律的有氧运动可增加糖尿病前期^[58]及 2 型糖尿病患者^[59]胰岛素的敏感性, 且随运动量增加效果更显著^[60]。即使低运动量(400 kcal/周), 也可以改善久坐少动成年人的胰岛素作用^[60]。基线胰岛素抵抗水平较高的患者运动后改善最明显, 并且运动量在不超过 2 500 kcal/周时可以观察到剂量依赖的改善效果^[60]。抗阻练习也可以增强胰岛素的作用^[61], 进行 HIIT 模式或其他方式^[2, 15-17]也有同样的效果。结合有氧运动与抗阻练习, 可以更好地改善胰岛素作用^[61], 成年糖尿病患者进行 HIIT 训练的效果可优于持续有氧运动^[16]。

2. 成年 2 型糖尿病患者与体力活动: 糖尿病患者健康行动研究(the Look AHEAD trial)^[62]旨在评估生活方式干预及糖尿病支持和教育对老年 2 型糖尿病患者的影响, 是目前该领域最大规模的随机对照试验。强化生活方式干预组的目标是, 通过适度的饮食控制和至少 175 min/周无医务监督的运动使体重至少减轻 7%。2 组主要心血管事件相同, 推测可能原因是由于糖尿病支持和教育组使用了更全面的心血管保护药物^[62]。然而, 正如 Pi-Sunyer^[63]所述, 强化生活方式干预组通过服用较少的药物达到更好的减重, 改善心肺耐力, 控制血糖、血压和血脂的效果; 这些患者中睡眠呼吸暂停、严重糖尿病肾病和视网膜病变、抑郁症、性功能障碍、尿失禁和膝关节疼痛的发生率更低, 身体活动能力和生活质量更高。这项研究也为强化生活方

式干预、降低整体医疗保健成本提供了非常有力的证据。此外, 有氧运动明确可以改善 2 型糖尿病的血糖控制, 尤其是进行至少 150 min/周的有氧运动^[64]。抗阻练习(自由练习器或器械练习)使成年 2 型糖尿病患者力量提高约 50%^[24], 可使 HbA1c 下降 0.57%^[64]。纳入了 12 个有关成年 2 型糖尿病患者临床研究的荟萃分析指出, 与抗阻练习相比, 有氧运动能更好地降低 HbA1c(差异为 -0.18%), 而心血管危险因素的下降低并无差异^[65]。控制血糖升高, 综合训练优于任何一种单独的锻炼形式^[61, 66]。因此, 成人 2 型糖尿病应该进行有氧运动和抗阻相结合的形式降低血糖, 改善健康。

3. 青年 2 型糖尿病患者与体力活动: 评估青少年 2 型糖尿病运动干预的随机试验数量有限, 且尚无确切结论, 但体力活动的获益类似于成年人。青少年和青年 2 型糖尿病治疗选择研究(TODAY 研究)^[67]中, 将 10~17 岁服用二甲双胍治疗的青少年 2 型糖尿病患者随机分为二甲双胍加安慰剂组、二甲双胍加罗格列酮组及二甲双胍加生活方式干预组, 并进行平均 3.86 年的随访。生活方式干预包括饮食能量限制和增加体力活动(至少 200 min/周的中等至较大强度的体力活动, 体力活动活跃的青年应 >300 min/周), 同时使用二甲双胍。二甲双胍加生活方式干预组与单药二甲双胍组或二甲双胍加罗格列酮组相比, 血糖控制失败率(HbA1c > 8.0% 或需要启用胰岛素)并无显著减少。基于有限的证据, 儿童和青少年 2 型糖尿病患者应达到健康青少年体力活动推荐量(<http://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/children>): 最少 60 min/d 中等至较大强度体力活动, 包括至少 3 d/周的力量练习相关运动。

4. 生活方式干预预防和治疗 2 型糖尿病: 已经证实, 通过 150~175 min/周的体力活动和饮食能量限制使体重下降 5%~7% 的结构式生活方式干预, 可使糖耐量受损人群发展成为 2 型糖尿病的风险减少 40%~70%^[66]。近期发表的一项纳入了 53 项研究、涉及 66 种生活方式干预的系统性综述(30 项饮食和体力活动促进计划对比常规治疗, 13 个强化干预计划与非强化干预计划对比, 和 13 项单一计划)提示, 与常规治疗相比, 饮食和体力活动促进项目不仅降低了罹患 2 型糖尿病风险, 还降低体重以及空腹血糖, 并改善了其他心血管代谢危险因素^[68]。多项研究证实较低强度运动生活方式干预也同样有效^[3], 尽量达到指南的推荐运动量, 可以获

得更好的减重效果^[69]。

六、体力活动与1型糖尿病

建议

1. 青少年和成年人1型糖尿病患者可以从体力活动中受益,而且应推荐给所有人。B级证据
2. 1型糖尿病人群体力活动时的血糖反应程度应该基于活动类型和时间区别调整。B级证据
3. 为了维持血糖稳定,在体力活动中和活动结束后,通常需要额外摄入碳水化合物和(或)减少胰岛素用量。多次监测血糖是调整碳水化合物和胰岛素剂量的依据。B级证据
4. 采用餐时注射胰岛素或胰岛素泵(CSII)治疗的患者均可以运动,但是2种给药方式各有利弊。C级证据
5. 体力活动时进行连续血糖监测有助于识别低血糖,较末梢血糖检查效果更好。C级证据

1. 青年和成年1型糖尿病患者的体力活动与运动:青年人通过参加体力活动获得多种健康益处^[9]。一项纳入10项研究的荟萃分析发现,运动可使<18岁的1型糖尿病患者HbA1c明显改善^[70],参与3次/周较长时间(>1 h/次)的运动及有氧运动和抗阻练习结合的运动效果更好^[70]。就成年人而言,规律的体力活动与全因死亡率下降相关^[71]。目前对于优化血糖控制理想的运动类型、运动时间、运动强度和运动持续时间仍缺乏充足的研究证据。

2. 体力活动/运动类型和时间对血糖控制的影响:1型糖尿病患者参与体力活动时血糖的反应因人而异^[72]。一般而言,餐前遵医嘱注射胰岛素,在餐后进行有氧运动可降低血糖^[73],延长运动时间降糖

作用更明显^[74-76]。空腹运动的降糖作用并不明显,偶尔还会使血糖有轻微升高^[77]。较大强度体力活动可使血糖更稳定^[22],若短时间内(≤10min)相对运动强度更大,血糖会上升^[78]。混合型运动项目(如间歇训练、团队/个人田径运动),与有氧运动为主的运动相比,可以更稳定地控制血糖^[18,79-82],但HIIT的各种研究结果还不完全一致^[80]。

3. 体力活动时饮食及胰岛素管理:针对不同体力活动的血糖反应,很难给出统一的食物摄入和胰岛素调整剂量^[72]。为了预防低血糖,在进行时间较长(>30 min)、以有氧运动为主的运动时,应补充碳水化合物和(或)减少胰岛素剂量。在低循环胰岛素状态(如空腹或基础胰岛素注射状态)进行持续30~60 min低至中等强度的有氧运动时,补充不超过10~15 g碳水化合物可预防低血糖的发生^[83]。当在相对高胰岛素血症状态下(餐时胰岛素注射后)运动时,每小时运动应补充30~60 g碳水化合物^[84],这与改善伴有^[85]或不伴有^[86]1型糖尿病的运动员低血糖事件所需补充的碳水化合物量类似。1型糖尿病患者应在运动前检测血糖浓度。运动前血糖的理想范围为90~250 mg/dl(5.0~13.9 mmol/L)。碳水化合物摄入需求随着胰岛素、运动时间、运动类型和其他情况的变化而变化^[87],但也取决于起始血糖水平。作为补充碳水化合物的另一个选择或补充方案,减少胰岛素单次注射剂量和(或)基础用量也可预防运动诱导低血糖的发生。降低活动时胰岛素水平,可减少或不需要摄入碳水化合物(表1^[88])。例如,需多次皮下胰岛素注射(MDI)的患者,减20%基础胰岛素用量,可能在运动前后不需要补充碳水化合物,但是并不能完全避免运动所导致的低血糖^[89]。CSII使用者在运动之初可减少^[90]或推迟胰岛素的注射,但这些并不能彻底避免低血糖^[91-92]。速效胰岛素类似物CSII治疗的患者,运动

表1 基于运动前血糖水平补充碳水化合物或其他措施的建议^[88]

运动前血糖	碳水化合物摄入或其他措施
< 90 mg/dl (< 5.0 mmol/L)	根据体重和运动计划决定空腹运动前摄入15~30 g碳水化合物;短时间运动(< 30 min或较大强度运动力量练习、间歇训练等)不需要增加碳水化合物的摄入 较长时间中等强度运动时应根据血糖监测结果,按需增加碳水化合物摄入(每次运动0.5~1.0 g/kg)
90~150 mg/dl (5.0~8.3 mmol/L)	根据运动类型和胰岛素活性在运动前需摄入碳水化合物(每次运动0.5~1.0 g/kg)
150~250 mg/dl (8.3~13.9 mmol/L)	可以进行运动,当血糖< 150 mg/dl (8.3 mmol/L)时再考虑补充碳水化合物
250~350 mg/dl (13.9~19.4 mmol/L)	监测酮体。如果出现中到大量的酮体,不应进行任何运动 酮体阴性可以开始低至中等强度的运动。血糖< 250 mg/dl后才可以进行较大强度运动,避免诱发高渗状态
≥350 mg/dl (≥19.4 mmol/L)	监测酮体。如果出现酮体则不应进行任何运动 如果酮体阴性或微量,运动前根据胰岛素的活性状态可考虑追加胰岛素(如50%)纠正血糖在血糖下降之前可进行低至中等强度的运动,应避免较大强度运动

前 30~60 min 减少基础量胰岛素泵入可通过药代动力学原理减少低血糖发生^[93]。通过 CSII 或 MDI 给予餐前胰岛素注射 2~3 h 内运动的患者,可通过减少 25%~75% 的胰岛素用量控制低血糖的发生(表 2^[94-97])。当补充胰岛素或调整碳水化合物摄入时,需要频繁监测血糖。

表 2 使用餐时胰岛素并在进餐后 90 min 运动的患者的胰岛素调整方案

运动强度	运动持续时间(min)	
	30	60
低强度有氧运动 (~25%VO _{2max})	-25% ^a	-50%
中等强度有氧运动 (~50%VO _{2max})	-50%	-75%
较大强度有氧运动 (70%~75%VO _{2max})	-75%	N-A
大强度有氧运动/无氧运动 (>80%VO _{2max})	不建议减少 剂量	N-A

注:以上推荐来自于 4 项研究^[94-97]。N-A 表示因运动强度大,无法持续 60 min 运动导致无法评估。^a 根据文献^[95]估计

4. 在体力活动或运动中使用 CSII 和 MDI: 使用 CSII 或 MDI 进行基础-餐时注射方案的患者可在一些限制条件下运动。CSII 与 MDI 相比可以更灵活地调节基础胰岛素给药速度,并限制运动后高血糖^[98],同时也有一些局限性。例如,有氧运动加速皮下存储的基础胰岛素吸收^[74],但是基础甘精胰岛素吸收基本不受影响^[99]。同时也要考虑皮肤损伤、CSII 管和佩戴 CSII 会引起他人关注等因素^[100]。在具体的运动中,比如篮球或其他接触类运动,比赛中禁止佩戴 CSII 或其他设备。佩戴 CSII 设备的挫败感和运动项目的限制可能会导致 CSII 治疗的终止^[100]。

5. 在活动中使用动态血糖监测: 动态血糖监测(continuous glucose monitoring, CGM)可帮助用户通过监测血糖变化趋势,尽快预防和治疗低血糖,从而降低 1 型糖尿病患者对运动诱发低血糖的担心^[83]。虽然一些研究已发现运动中 CGM 准确度尚可^[101-104],但另一些研究表明其准确度欠佳^[105]和其他问题,比如传感器导丝破损^[103-104]、无法矫正^[102]和血糖变化与 CGM 测试时间的延迟^[106]。传感器性能不同也被关注^[107-109]。虽然 CGM 在运动中和运动后的应用潜力巨大^[110],但是治疗方案更改前,习惯上仍需测试指尖血糖确认 CGM 值,但批准应用于非辅助治疗设备在不久的将来会成为现实。

七、糖尿病患者体力活动推荐

建议

1. 无症状个体在锻炼初期进行不高于健步走或日常生活要求的低或中等强度体力活动时,无需进行运动前医学筛查。B 级证据
2. 大多数成年糖尿病患者应参加每周至少 150 min 的中等到较大强度体力活动,分布在至少 3 d 内,不活动的时间不超过连续 2 d。进行较短时间较大强度或间歇训练(最少 75 min/周),可适用于年轻人或身体素质更好的个体。2 型糖尿病 B 级证据,1 型糖尿病 C 级证据。
3. 患 1 型或 2 型糖尿病的儿童和青少年应该参加每天至少 60 min 中等或较大强度有氧运动,及至少每周 3 d 的较大强度肌肉力量和增强骨强度的活动。C 级证据
4. 成年糖尿病患者应在非相邻日参加抗阻练习,2~3 次/周。2 型糖尿病 B 级证据,1 型糖尿病 C 级证据。
5. 老年糖尿病患者,应进行每周 2~3 次的柔韧性和平衡性练习。基于个人偏好,可选择瑜伽和太极,以增加柔韧性、肌肉力量和平衡能力。C 级证据
6. 鼓励糖尿病前期或糖尿病患者增加日常生活中的体力活动(非运动)获得更多健康益处。C 级证据
7. 在医务监督下参加体力活动项目与无监督相比,可获得更多的健康益处。B 级证据

1. 运动前的健康筛查和评估: 美国运动医学会(ACSM)近期发表一项有关运动前的健康筛查新模型,该模型基于:(1)个体目前的体力活动水平;(2)症状或体征的表现和(或)已知的心血管疾病、代谢性疾病或肾脏疾病;(3)期望的运动强度,以上均为运动相关心血管事件的危险控制因素^[111]。ACSM 不再将危险因素评估纳入运动前的健康筛查,但他们建议静坐少动糖尿病患者希望开始任何强度(甚至是低强度)体力活动时,均应通过健康护理专家的医学筛查^[111]。我们认为这个建议过于保守。

体力活动确实会给糖尿病患者带来一些潜在的健康风险,包括心血管事件、低血糖和高血糖等急性并发症。成年 2 型糖尿病患者进行低至中等强度活动时,运动诱发的不良事件发生率较低。任

何年龄的1型糖尿病患者唯一常见的运动诱发不良事件为低血糖。目前没有证据表明,在无症状糖尿病患者中,任何超出常规糖尿病护理筛查方案可减少运动诱发不良事件的风险^[112-113]。因此,对于那些无症状并接受与指南一致糖尿病护理的患者来说,起始运动强度不超过健步走或日常活动要求的低或中等强度体力活动时,运动前医学筛查不是必需的。

然而,一些计划增加运动强度或达到较高风险筛查标准的患者,在开始活动前应至健康护理中心进行筛查,必要时进行运动负荷试验^[6]。除此之外,大多数成年糖尿病患者可受益于糖尿病运动生理专家或经过认证的体适能专家制定的安全有效的运动处方。综合基于个人疾病史及体格检查等多种因素考虑,将确定他们急性并发症发生风险及应当避免或限制的某些体力活动。

2. 有氧运动:糖尿病患者应进行规律的有氧运动。2型糖尿病患者每次应进行不短于10 min的有氧运动,运动目标是每周多数天中进行30 min/d或更长时间的有氧运动。建议任何类型的糖尿病患者为了改善胰岛素抵抗均应每日运动,至少2个运动日间隔不超过2 d^[16,19]。应逐渐增加强度、频率和(或)持续时间以达到至少150 min/周中等强度运动。可以6英里/h(9.7 km/h)的速度跑步25 min以上的成年人,可在更短时间较大强度活动(75 min/周)中充分获益。许多成年人包括大部分2型糖尿病患者,无法达到或不愿意参加这种强度

运动时,应进行中等强度运动并达到推荐的持续时间(表3)。

青年1型或2型糖尿病患者应参照儿童和青少年的一般建议,包括至少60 min/d中等或较大强度有氧运动,及至少3 d/周的肌肉力量练习和增强骨骼力量活动^[9]。包括短时间大强度运动间以略长时间低至中等强度的恢复运动的低剂量HIIT,是替代持续有氧运动的一种方法^[16,19]。然而,对于成年糖尿病患者,这种运动方式的安全性和有效性尚未明确^[114-115]。希望进行HIIT的患者应满足临床状况稳定,有不低于中等强度运动的习惯,参与HIIT初期可以进行医务监督^[116]。进展期疾病患者参与此项运动的风险不明^[116],持续中等强度运动相对更安全^[117]。最理想的HIIT训练方法尚未明确。

3. 抗阻练习:成年糖尿病患者应该在非连续日进行2~3次/周的抗阻练习^[9](表3)。尽管使用较大负荷自由力量练习器和器械练习可以更好地改善血糖控制和增强力量^[118],但建议个体在全生命周期中进行任何强度的抗阻练习以增强力量、平衡能力和自理能力。

4. 柔韧性、平衡性和其他训练:每个主要的肌肉-肌腱群进行不少于2 d/周的柔韧性练习,可以保持关节活动度^[12](表3)。虽然对于所有类型的糖尿病患者都需要进行柔韧性训练,但不应替代其他推荐的活动(即有氧和抗阻练习),因为柔韧性训练并

表3 运动训练建议:运动的类型、强度、持续时间、频率和进展

项目	有氧	抗阻	柔韧和平衡
运动的类型	持续时间长的、使用大肌肉群有节律的活动(如:步行、骑车和游泳) 可以持续完成或如同HIIT	抗阻器械、自由力量练习器、弹力带和(或)自身重量练习都是抗阻练习	拉伸:静态、动态和其他拉伸; 瑜伽 平衡(对于老年人):练习单足站,使用平衡器械的练习、下肢和核心力量练习、太极
强度	中等至较大强度(主观地感受是“适度”到“非常疲劳”)	中等(如一项练习重复15次且只能完成15次)到大强度(如一项练习重复6~8次且只能完成6~8次)	拉伸到紧张或轻度不适的程度 轻或中等强度的平衡练习
持续时间	大多数成年糖尿病患者,至少150 min/周中等至较大强度运动 对于有能力连续以6英里/h(9.7 km/h)的速度跑步25 min的成年人,75 min/周的较大强度活动可以提供相似的心血管保护和代谢益处	在训练早期,每个肌群练习完成1~3组,每组10~15次以临近疲劳状态,至少8~10个肌群练习	保持平衡或进行动态拉伸10~30 s;每项练习重复2~4次 平衡训练不要求持续时间
频率	3~7 d/周,运动日间隔时间不超过2 d	最少不连续的2 d/周,但最好3 d	柔韧:≥2~3 d/周 平衡:≥2~3 d/周
进度	如果增强体适能是运动的首要目标,且并发症无禁忌证时,应强调较大强度的有氧运动 HIIT和持续运动训练适用于大部分糖尿病患者	开始时训练强度应中等,包括10~15次/组,在每组的目标重复数量始终可以被超量完成时,增加重量或阻力减少重复次数 ^[8-10] 在更多组数后可以增加阻力,最后增加训练频率	继续进行柔韧和平衡训练,一段时间后,通过增加持续时间(和)频率来进阶

注:HIIT为高强度间歇训练

不能影响血糖控制、身体成分或胰岛素作用^[6]。成年糖尿病患者(50岁及以上)应进行2~3次/周维持或改善平衡的锻炼^[11-12](表3),特别是患有周围神经病变的患者^[11]。许多下肢和核心力量训练也可以同时改善平衡,应该包括在内。可以根据个人喜好进行瑜伽和太极,以增加柔韧性、肌肉力量和平衡能力。

5. 日常体力活动:增加非结构化的体力活动(例如走动、家务、遛狗或园艺)以增加日常能量消耗,并协助体重管理^[119-121]。非结构化的活动也减少每天的静坐时间。即使是短暂的间断(3~15 min),增加非运动性的活动也可有效地快速降低餐后高血糖、改善糖尿病前期1型及2型糖尿病患者的血糖控制,尤其是餐后血糖控制^[41,43-46,75,122-124]。应该鼓励患者增加非结构性的体力活动,并作为全天活动安排的一部分;亦可作为静坐少动者或者不能或不情愿参加更多结构化运动患者开始运动的起点。

6. 监督与非监督训练:有监督的有氧运动或抗阻练习可降低成年2型糖尿病患者的HbA1c,无论其是否同时接受饮食干预;但无监督的运动仅在联合饮食干预时才能降低HbA1c^[64]。同样,进行有监督有氧运动和抗阻练习的个体在HbA1c、体质指数、腰围、血压、体适能、肌肉力量和高密度脂蛋白胆固醇方面得到更大改善^[125]。因此,建议至少2型糖尿病患者应在有条件的情况下进行有监督的训练。

八、运动、体力活动、妊娠与糖尿病

建议

1. 应鼓励孕前已经患有任意类型糖尿病的女性在孕前和妊娠期进行规律的体力活动。C级证据
2. 建议妊娠期糖尿病患者或高危孕妇应该在每周的大多数日子里或每天进行20~30 min的中等强度运动。B级证据

妊娠期进行体力活动和运动已被证明可以通过改善心血管健康和一般体适能状况让大多数女性受益,同时降低先兆子痫和剖宫产分娩等并发症的风险^[126]。妊娠期规律体力活动也可降低妊娠期糖尿病风险^[127-128]。推荐在每周多数天或每天进行至少20~30 min中等强度的运动^[126]。一旦确诊妊娠糖尿病,有氧运动或抗阻练习都可以改善胰岛素作用和血糖控制^[129]。在妊娠糖尿病的女性患者中,尤

其是超重和肥胖者(指孕前体质指数大于25 kg/m²),孕期进行较大强度运动可减少妊娠期体重过高的机率^[130]。理想情况下,为了降低妊娠糖尿病风险,应在妊娠前开始体力活动^[131],但对于没有运动禁忌证的患者在怀孕后开始运动是安全的^[126]。任何使用胰岛素的孕妇都应了解运动具有胰岛素增敏作用,并增加低血糖风险,特别是在妊娠的前3个月^[129]。

九、减少糖尿病患者的运动相关不良事件

建议

1. 应调整胰岛素治疗方案和碳水化合物摄入量来预防运动相关的低血糖。其他策略包括短距离冲刺跑、在一次运动训练中先进行抗阻练习,然后再进行有氧运动,以及控制活动时间。B级证据
2. 减少基础胰岛素剂量,以及睡前加餐和(或)使用动态血糖监测,可以减少体力活动后的夜间低血糖风险。C级证据
3. 运动诱发的高血糖在1型糖尿病患者中更为常见,但可以通过调整胰岛素给药量或进行较低强度有氧整理活动来调节。不建议在高血糖和血酮体升高时进行锻炼。C级证据
4. 除了胰岛素外,某些药物可能会增加运动相关的低血糖风险,需要根据运动训练调整剂量。C级证据
5. 老年糖尿病患者,或患有自主神经病变、心血管并发症或肺部疾病患者,应避免在非常炎热和(或)潮湿的环境进行户外运动,以防止热射病。C级证据
6. 运动锻炼应循序渐进,以减少受伤风险。C级证据

1. 低血糖:运动诱发低血糖在1型糖尿病患者中很常见,使用胰岛素或胰岛素促泌剂的2型糖尿病患者也可见到。在调整胰岛素方案和碳水化合物摄入量以外,在中等强度运动之前^[132]或之后^[133]进行短暂(10 s)的最大强度冲刺跑也可以减少低血糖^[134]的发生。在中等强度有氧运动期间,间歇性地进行高强度运动^[81,135-136]或在抗阻练习之后立即进行有氧运动^[23]也可以减缓血糖下降的速度。

运动诱发夜间低血糖是一个主要问题^[137]。

低血糖事件通常发生在运动后 6~15 h^[138],其风险可以延长至 48 h^[139]。对于那些使用 MDI 的患者,可以通过减少 20% 日常基础胰岛素剂量,减少餐时胰岛素剂量,运动后增加低升糖指数碳水化合物的摄入^[89]等策略最大限度地降低夜间低血糖风险。对于使用 CSII 的患者午后运动、基础胰岛素减量 20%,可减少夜间低血糖^[140]。也可通过睡前加餐、血糖夜间监测和(或)使用具有警报和自动停止泵入的 CGM 等措施^[141-142]。

2. 高血糖:运动诱发的高血糖在 1 型糖尿病患者中更常见。运动前有意未注射胰岛素可导致血糖升高,也可能是由于注射装置故障^[143]。2 型糖尿病患者在有氧运动或抗阻练习后也可能会出现血糖升高,尤其是使用胰岛素的患者因为餐后运动而过少的注射餐时胰岛素^[144]。运动前或运动期间过多摄入碳水化合物,过快地减少胰岛素用量,都可以造成任何运动期间的高血糖^[89]。

非常剧烈的运动,如冲刺跑^[134],短暂但剧烈的有氧运动^[145]和举重^[146-147]会促进高血糖,特别是运动开始前血糖水平升高者^[145]。如果大强度运动散布在中等强度的有氧运动之间,高血糖风险就会减低^[82,148]。同样地,结合抗阻练习(首先完成)和有氧训练(后完成)可以帮助 1 型糖尿病患者稳定葡萄

糖水平^[23]。为了纠正运动后高血糖,可以采用保守的(常规推荐的 50%)矫正方案^[77],或者在有氧运动后进行放松整理来降低血糖水平。运动后胰岛素注射过多会增加夜间低血糖风险,有可能导致死亡^[149]。

1 型糖尿病患者如果出现不明原因的高血糖(≥ 250 mg/dl),应进行血酮体测试。如果血酮体水平升高(≥ 1.5 mmol/L),应推迟或暂停运动,因为即使是轻体力活动,血糖水平和酮体也可能进一步升高。

3. 药物作用:糖尿病成人患者通常服用多种治疗糖尿病和其他共患疾病的药物。某些药物(除胰岛素外)可增加运动风险,需要调整药物剂量^[150-151],应进行个性化的剂量调整,表 4 仅列出了药物的一般注意事项和指导原则。

4. 体力活动相关的热病:体力活动增加了身体的产热和核心温度,导致皮肤血流增加和出汗。在相对年轻的 1 型糖尿病患者中,仅在高强度运动时体温调节功能受损^[152-153]。随着年龄的增长、血糖控制变差及合并神经病变等因素,1 型^[152,154]和 2 型^[155]糖尿病患者,皮肤血流和出汗功能可能受损,增加了热射病的风险。慢性高血糖会增加渗透利尿导致的脱水风险,某些降压药物也可能影响水合和电解质平衡。老年糖尿病患者或任何自主神经病变、

表 4 运动对糖尿病、高血压、胆固醇用药及安全性和剂量调整的影响

药物类型	运动注意事项	剂量调整
糖尿病		
胰岛素	不足:高血糖,酮症酸中毒 过量:运动中或运动后低血糖	增加运动前后胰岛素剂量 减少餐时和(或)基础胰岛素剂量
胰岛素促泌剂	运动诱发的低血糖	如果发生过运动诱发的低血糖,减少运动当天药物剂量以降低低血糖风险
二甲双胍	无	总体安全,运动时无需调整剂量
噻唑烷二酮类	液体滞留	总体安全,运动时无需调整剂量
二肽基肽酶 4 抑制剂	沙格列汀和阿格列汀具有充血性心力衰竭的轻微风险	总体安全,运动时无需调整剂量
胰高血糖素样肽 1 受体激动剂	与胰岛素或磺脲类合用会增加低血糖的风险,但单独用时不会出现	总体安全,运动时无需调整剂量,但有时需要调整胰岛素或磺脲类药物剂量
钠-葡萄糖协同转运蛋白 2 抑制剂	与胰岛素或磺脲类合用会增加低血糖的风险,但单独用时不会出现	总体安全,运动时无需调整剂量
高血压		
β 受体阻滞剂	无法察觉和无症状的低血糖,可能会降低最大的运动能力	监控运动前后的血糖,及时补充葡萄糖
其他药物	规律运动可降低血压,有些药物会增加脱水风险	应根据锻炼情况及时调整剂量避免脱水
胆固醇		
他汀类药物	少数人群中出现肌肉无力,不适和痉挛反应	总体安全,运动时无需调整剂量
纤维酸衍生物	罕见肌炎或横纹肌溶解,合并吉非贝齐和他汀类药物会增加相应风险	如果出现肌肉受损,应避免运动会增加相应风险

心血管并发症或肺部疾病的患者应避免在非常炎热和(或)潮湿环境进行户外运动。

5. 骨科问题及劳损: 活跃的 1 型糖尿病患者肌腱损伤的风险并没有增加^[156], 但这并不适用于久坐少动或老年糖尿病患者。可能与此类患者因血糖变化导致关节结构变化而较易出现运动劳损有关^[157], 糖尿病患者的运动锻炼应循序渐进, 以避免关节表面组织和结构劳损, 特别是服用他汀类药物控制血脂的患者^[158]。

十、体力活动与糖尿病并发症的管理

建议

1. 血管疾病患者可以安全地实施体力活动, 但需要适当的预防措施。B 级证据
2. 周围神经疾病患者的体力活动必须进行适当的足部护理来预防、检测及尽早避免溃疡和截肢问题。B 级证据
3. 自主神经的病变可能使活动变得更复杂, 活动过程中适当的预防措施是预防问题出现的关键。C 级证据
4. 严重的非增殖性和不稳定性糖尿病视网膜膜病变的患者应避免较大强度有氧运动或者抗阻练习、跳跃、震动性强、低头和憋气的活动。E 级证据
5. 锻炼不会加剧肾脏病的进程, 即使处在透析阶段也可以安全地进行。C 级证据
6. 应适当地进行拉伸练习及伸展活动, 有助于糖尿病相关骨关节病的管理。C 级证据

血糖控制欠佳可导致糖尿病大血管和微血管并发症^[159-160]。糖尿病血管和神经并发症会使体力活动受限, 不同程度的身体残疾者运动时的注意事项不同, 见表 5^[161-172]推荐。

十一、体力活动的促进和保持

建议

1. 有针对性的行为改变策略应用于提高 2 型糖尿病患者的体力活动。B 级证据
2. 在使用计步器时, 成年 2 型糖尿病患者制定更高运动目标前应制定一个能够实现的初级(步数/d)目标。C 级证据
3. 成年 2 型糖尿病患者可应用基于网络的体力活动促进措施来提高效果。C 级证据

1. 行为改变策略: 行为方式干预措施能显著提高 2 型糖尿病患者的体力活动^[173], 并可维持 24 个月降低 HbA1c 的效果^[174]。已经确定了 5 个关键技术: (1) 关注过去的成功; (2) 障碍识别/问题解决; (3) 使用随访; (4) 提供具体何地、何时做出行为改变; (5) 及时回顾行为改善目标^[175]。然而, 动机干预并不优于普通护理^[176], 与减重相关的其他干预措施, 如随访次数和间隔时间, 与更高的参与性相悖或不相关^[177]。

计步器是一种被广泛研究的用于改变行为方式的设备。佩戴此类设备能促进体力活动, 并提供自我监控反馈。成年 2 型糖尿病患者使用计步器每日可增加 1 882 步, 但并不改善 HbA1c^[178]。使用每日步数目标(如 10 000 步)能增加参与度, 即使使用自我选择的步数目标亦可^[178]。因此, 成年 2 型糖尿病患者在进入下一个更高目标之前应该设定一个可行的、能实现的每日步数目标。成人的步行数量不应该少于 5 000 步/d^[179-181], 应力图 $\geq 7 500$ 步/d^[182]。对于计步器的阳性结果并不具有普遍性^[172], 因此某些个体需得到更大的支持。长期疗效和确定哪些人群可以从计步器或其他可穿戴设备^[183]中获益, 需要进一步评估。

2. 基于技术的策略: 鉴于大多数 2 型糖尿病患者都能使用互联网, 基于技术的策略有望扩展临床干预范围。对于成年 2 型糖尿病患者而言, 互联网发布的行为方式干预方法比普通护理更有效^[184]。基于互联网的有效干预措施包括: 通过电话或电子邮件来监控体力活动、反馈、目标设置及教练支持^[184]。鉴于社会和同伴支持在糖尿病患者自我管理中的作用, 需要更多的证据来证明社会媒体的作用^[185]。

十二、结论

体力活动和运动作为血糖控制和整体健康管理的一部分, 应推荐和制定运动处方给所有糖尿病患者。应根据糖尿病类型、年龄、体力活动水平及存在的糖尿病相关并发症制定详细的建议和预防措施。应根据个人的需求制定个体化的推荐方案。除了进行有规律的体力活动外, 应鼓励所有成年人减少久坐少动时间, 并通过频繁活动打断久坐少动。最后, 促进行为方式改变的策略可以用来提高或者保持日常体力活动水平。

利益冲突 无

表5 健康相关并发症的运动注意事项、预防措施及体力活动建议

健康相关并发症	运动注意事项	体力活动推荐量及预防措施
心血管疾病		
冠状动脉疾病	较大强度有氧运动或抗阻练习可切实增加冠状动脉的灌注	所有的体力活动都可以 至少在初期,应考虑在监督下进行心脏康复计划
劳力型心绞痛	劳力性发作性胸痛,运动诱发的缺血可能在糖尿病患者中无明显表现	所有的活动都可以,但心率应控制在诱发心绞痛心率至少10次/min以下
高血压	有氧和抗阻练习均可降低安静血压,应鼓励参与 某些降压药物可能会导致运动性低血压	确保运动期间充足的水合 抗阻练习中避免进行Valsalva动作
心肌梗死	在体力活动中出现心肌梗死症状(如胸痛、放射性疼痛、气短或其他症状)应立即停止运动,并及时就医	心肌梗死患者在有监控的心脏康复计划中恢复运动 以低强度运动开始,逐渐参加中等强度运动 有氧运动和抗阻练习都可以参加
卒中	糖尿病增加缺血性卒中的风险 出现卒中症状(如突发单侧肢体活动障碍)应立即停止运动	中风患者在有监控的心脏康复计划中恢复运动 以低强度运动开始,逐渐参加中等强度运动 有氧运动和抗阻练习都可以参加
充血性心力衰竭	最常见的原因是冠状动脉疾病并经常伴有心肌梗死	避免参加造成心率快速升高的运动 主要参加低强度或中等强度运动
外周动脉疾病	下肢抗阻练习可以提高功能活动 ^[61]	低-中等强度的步行,上肢功率车和下肢功率车是首选的有氧运动方式 ^[62] 所有其他活动均可参加
神经疾病		
外周神经病变	规律的有氧运动可以预防或延缓1型和2型糖尿病患者的周围神经病变 ^[63]	正确的足部护理是预防足部溃疡和降低截肢风险的必要方式 ^[6] 保持脚部干燥并使用适当的鞋袜、硅胶或者气垫鞋底,以及聚酯或混纺的袜子(不是纯棉) 考虑参加非负重运动,特别是在步态发生改变的情况下
局部足畸形	选择合适的鞋袜和活动方式可以降低足底压力和溃疡风险 ^[64]	主要参加非负重活动,以减小不适当的足底压力 每天检查足部,以便尽早发现早治疗水疱、压疮或溃疡
足部溃疡/截肢	中等强度步行并不增加足部溃疡或者周围神经病变反复溃疡的风险 ^[65]	有未愈合的溃疡时,应避免负重活动 每天检查足部,以便尽早发现早治疗水疱、压疮或者溃疡 每天应妥善照顾截肢部位 避免慢跑
自主神经病变	可能会导致体位性低血压、变时功能障碍、胃排空延迟、体温调节改变或者运动中脱水 ^[6] 胃排空障碍患者发生运动相关低血糖时更难治疗	体位性低血压患者应避免参加迅速改变身体姿态或者迅速改变方向的运动,以免晕倒或摔倒 心脏自主神经病变的患者,在参加运动前应获得医师的批准并在运动前进行症状限制性运动试验 ^[66] 因心率反应迟钝,用储备心率和主观疲劳感觉评分来监测运动强度 ^[67] 伴有自主神经病变的患者,避免在炎热环境中进行运动并及时饮水
眼部疾病		
轻至中度非增殖性视网膜病变	体力活动不会对轻至中度非增殖性视网膜病变患者造成眼部损伤	可参加所有较柔和的运动,但每年应进行眼科检查以监测病情进展情况 中度非增殖性视网膜病变的患者应避免参加使血压显著升高的活动,例如举重
重度非增殖性和不稳定的增殖性视网膜病变	患有不稳定性糖尿病视网膜病变的个体存在玻璃体出血和视网膜脱落的风险	避免参加任何使血压显著升高的活动,例如任何类型的较大强度运动 避免参加较大强度的运动,诸如跳跃、震动、低头或者憋气的活动 ^[6] 玻璃体出血时不应进行任何运动
白内障	白内障不会影响运动能力,但因视力受损应注意运动安全	避免因视力受限而风险增加的运动,例如户外骑自行车 某些活动应进行监控

续表 5

健康相关并发症	运动注意事项	体力活动推荐量及预防措施
肾脏疾病		
微量白蛋白尿	即使运动后尿蛋白短时间增加,运动并不加速肾脏疾病的进展 ^[6,159] 更多地参与中等至较大强度的休闲运动和较高体力活动水平可延缓糖尿病肾病的发生和发展 ^[168-170]	可参加所有活动,但在尿蛋白测试前 1 d 应避免剧烈运动以防止假阳性结果
严重的肾脏疾病	有氧运动和抗阻练习能提高肾脏疾病患者的功能活动和日常活动能力 应鼓励患者多参加体力活动	可参加所有的活动,但对于有氧能力和肌肉功能大幅度降低的患者应从低强度和低运动量开始
末期肾病	在透析阶段进行有监控的、中等的有氧体力活动可能是有益的,并增加依从性 ^[171]	在透析期间进行活动时,应监测电解质水平
骨科疾病		
关节结构的改变	糖尿病患者更易发生关节结构性改变,导致活动受限,包括肩关节囊粘连、腕管综合征、趾骨骨折和其他神经相关的关节损伤(Charcot 足)	除了参加能做的其他活动,应该有规律地进行柔韧性训练以保持更大的关节活动度 ^[10,12] 热身或活动结束之后进行牵拉练习能最大程度地增加关节活动度 ^[172] 通过力量训练增加受累关节周围的肌肉力量 Charcot 足患者避免参加增加足底压力的活动
关节炎	常见于下肢关节,尤其是超重或肥胖老年患者 应鼓励患者规律地参加体力活动 适度的活动可以改善关节炎症状并缓解疼痛	可以参加大多数低-中等强度的活动,但应更多地进行非负重的或低冲击的运动来减小关节的压力 进行受累关节的活动度练习和低负荷的抗阻练习以增加关节周围的肌肉力量 避免参加关节损伤风险较高的活动,如接触性运动和快速变向的运动

参 考 文 献

- [1] Chen L, Pei JH, Kuang J, et al. Effect of lifestyle intervention in patients with type 2 diabetes: a meta-analysis[J]. *Metabolism*, 2015, 64(2): 338-347. DOI: 10.1016/j.metabol.2014.10.018.
- [2] Lin X, Zhang X, Guo J, et al. Effects of Exercise Training on Cardiorespiratory Fitness and Biomarkers of Cardiometabolic Health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials[J]. *J Am Heart Assoc*, 2015, 4(7). DOI: 10.1161/JAHA.115.002014.
- [3] Schellenberg ES, Dryden DM, Vandemeer B, et al. Lifestyle interventions for patients with and at risk for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ann Intern Med*, 2013, 159(8): 543-551. DOI: 10.7326/0003-4819-159-8-201310150-00007.
- [4] Yardley JE, Hay J, Abou-Setta AM, et al. A systematic review and meta-analysis of exercise interventions in adults with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2014, 106(3): 393-400. DOI: 10.1016/j.diabetes.2014.09.038.
- [5] American Diabetes Association. 3. Foundations of Care and Comprehensive Medical Evaluation[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39 Suppl 1: S23-35. DOI: 10.2337/dc16-S006.
- [6] Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, et al. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(12): e147-167. DOI: 10.2337/dc10-9990.
- [7] American Diabetes Association. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39 Suppl 1: S13-22. DOI: 10.2337/dc16-S005.
- [8] American Diabetes Association. 4. Prevention or delay of type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39 Suppl 1: S36-38. DOI: 10.2337/dc16-S007.
- [9] Physical Activity Guidelines Advisory Committee report, 2008. To the Secretary of Health and Human Services. Part A: executive summary[J]. *Nutr Rev*, 2009, 67(2): 114-120. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2008.00136.x.
- [10] Herriott MT, Colberg SR, Parson HK, et al. Effects of 8 weeks of flexibility and resistance training in older adults with type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2004, 27(12): 2988-2989.
- [11] 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.
- [12] Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(7): 1334-1359. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318213fefb.
- [13] Sluik D, Buijsse B, Muckelbauer R, et al. Physical Activity and Mortality in Individuals With Diabetes Mellitus: A Prospective Study and Meta-analysis[J]. *Arch Intern Med*, 2012, 172(17): 1285-1295. DOI: 10.1001/archinternmed.2012.3130.
- [14] Chimen M, Kennedy A, Nirantharakumar K, et al. What are the health benefits of physical activity in type 1 diabetes mellitus? A literature review[J]. *Diabetologia*, 2012, 55(3): 542-551. DOI: 10.1007/s00125-011-2403-2.
- [15] 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/

- de06-1317.
- [16] Jelleyman C, Yates T, O'Donovan G, et al. The effects of high-intensity interval training on glucose regulation and insulin resistance: a meta-analysis[J]. *Obes Rev*, 2015, 16(11): 942-961. DOI: 10.1111/obr.12317.
- [17] 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/jappphysiol.00921.2011.
- [18] Dubé MC, Lavoie C, Weisnagel SJ. Glucose or intermittent high-intensity exercise in glargine/glutalinsine users with T1DM [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(1): 3-7. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31826c6ad3.
- [19] Tonoli C, Heyman E, Roelands B, et al. Effects of different types of acute and chronic (training) exercise on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: a meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2012, 42(12): 1059-1080. DOI: 10.2165/11635380-000000000-00000.
- [20] Nishitani M, Shimada K, Sunayama S, et al. Impact of diabetes on muscle mass, muscle strength, and exercise tolerance in patients after coronary artery bypass grafting[J]. *J Cardiol*, 2011, 58(2): 173-180. DOI: 10.1016/j.jjcc.2011.05.001.
- [21] Anton SD, Karabetian C, Naugle K, et al. Obesity and diabetes as accelerators of functional decline: can lifestyle interventions maintain functional status in high risk older adults?[J]. *Exp Gerontol*, 2013, 48(9): 888-897. DOI: 10.1016/j.exger.2013.06.007.
- [22] Yardley JE, Kenny GP, Perkins BA, et al. Resistance versus aerobic exercise: acute effects on glycemia in type 1 diabetes [J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(3): 537-542. DOI: 10.2337/dc12-0963.
- [23] 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.
- [24] Gordon BA, Benson AC, Bird SR, et al. Resistance training improves metabolic health in type 2 diabetes: a systematic review[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2009, 83(2): 157-175. DOI: 10.1016/j.diabres.2008.11.024.
- [25] 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.
- [26] Gillespie LD, Robertson MC, Gillespie WJ, et al. Interventions for preventing falls in older people living in the community[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012 (9): CD007146. DOI: 10.1002/14651858.CD007146.pub3.
- [27] Innes KE, Selfe TK. Yoga for Adults with Type 2 Diabetes: A Systematic Review of Controlled Trials[J]. *J Diabetes Res*, 2016, 2016: 6979370. DOI: 10.1155/2016/6979370.
- [28] Ahn S, Song R. Effects of Tai Chi Exercise on glucose control, neuropathy scores, balance, and quality of life in patients with type 2 diabetes and neuropathy[J]. *J Altern Complement Med*, 2012, 18(12): 1172-1178. DOI: 10.1089/acm.2011.0690.
- [29] Owen N, Sugiyama T, Eakin EE, et al. Adults' sedentary behavior determinants and interventions[J]. *Am J Prev Med*, 2011, 41(2): 189-196. DOI: 10.1016/j.amepre.2011.05.013.
- [30] Dempsey PC, Owen N, Biddle SJ, et al. Managing sedentary behavior to reduce the risk of diabetes and cardiovascular disease[J]. *Curr Diab Rep*, 2014, 14(9): 522. DOI: 10.1007/s11892-014-0522-0.
- [31] 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.
- [32] Chau JY, Grunseit AC, Chey T, et al. Daily sitting time and all-cause mortality: a meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2013, 8(11): e80000. DOI: 10.1371/journal.pone.0080000.
- [33] Hu FB, Leitzmann MF, Stampfer MJ, et al. Physical activity and television watching in relation to risk for type 2 diabetes mellitus in men[J]. *Arch Intern Med*, 2001, 161(12): 1542-1548.
- [34] Hu FB, Li TY, Colditz GA, et al. Television watching and other sedentary behaviors in relation to risk of obesity and type 2 diabetes mellitus in women[J]. *JAMA*, 2003, 289(14): 1785-1791. DOI: 10.1001/jama.289.14.1785.
- [35] 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.
- [36] Dunstan DW, Salmon J, Healy GN, et al. Association of television viewing with fasting and 2-h postchallenge plasma glucose levels in adults without diagnosed diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2007, 30(3): 516-522. DOI: 10.2337/dc06-1996.
- [37] Healy GN, Dunstan DW, Salmon J, et al. Objectively measured light-intensity physical activity is independently associated with 2-h plasma glucose[J]. *Diabetes Care*, 2007, 30(6): 1384-1389. DOI: 10.2337/dc07-0114.
- [38] Healy GN, Dunstan DW, Salmon J, et al. Breaks in sedentary time: beneficial associations with metabolic risk[J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(4): 661-666. DOI: 10.2337/dc07-2046.
- [39] Fritschi C, Park H, Richardson A, et al. Association Between Daily Time Spent in Sedentary Behavior and Duration of Hyperglycemia in Type 2 Diabetes[J]. *Biol Res Nurs*, 2016, 18(2): 160-166. DOI: 10.1177/1099800415600065.
- [40] Buckley JP, Mellor DD, Morris M, et al. Standing-based office work shows encouraging signs of attenuating post-prandial glycaemic excursion[J]. *Occup Environ Med*, 2014, 71(2): 109-111. DOI: 10.1136/oemed-2013-101823.
- [41] Henson J, Davies MJ, Bodicoat DH, et al. Breaking Up Prolonged Sitting With Standing or Walking Attenuates the Postprandial Metabolic Response in Postmenopausal Women: A Randomized Acute Study[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39(1): 130-138. DOI: 10.2337/dc15-1240.
- [42] Thorp AA, Kingwell BA, Sethi P, et al. Alternating bouts of sitting and standing attenuate postprandial glucose responses [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(11): 2053-2061. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000337.
- [43] Dunstan DW, Kingwell BA, Larsen R, et al. Breaking up prolonged sitting reduces postprandial glucose and insulin responses[J]. *Diabetes Care*, 2012, 35(5): 976-983. DOI: 10.2337/dc11-1931.
- [44] Larsen RN, Kingwell BA, Robinson C, et al. Breaking up of prolonged sitting over three days sustains, but does not enhance, lowering of postprandial plasma glucose and insulin in overweight and obese adults[J]. *Clin Sci (Lond)*, 2015, 129(2): 117-127. DOI: 10.1042/CS20140790.

- [45] van Dijk JW, Venema M, van Mechelen W, et al. Effect of moderate-intensity exercise versus activities of daily living on 24-hour blood glucose homeostasis in male patients with type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(11): 3448-3453. DOI: 10.2337/dc12-2620.
- [46] 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.
- [47] Roberts CK, Hevener AL, Barnard RJ. Metabolic syndrome and insulin resistance: underlying causes and modification by exercise training[J]. *Compr Physiol*, 2013, 3(1): 1-58. DOI: 10.1002/cphy.c110062.
- [48] Magkos F, Tsekouras Y, Kavouras SA, et al. Improved insulin sensitivity after a single bout of exercise is curvilinearly related to exercise energy expenditure[J]. *Clin Sci (Lond)*, 2008, 114(1): 59-64. DOI: 10.1042/CS20070134.
- [49] Wang X, Patterson BW, Smith GI, et al. A~60-min brisk walk increases insulin-stimulated glucose disposal but has no effect on hepatic and adipose tissue insulin sensitivity in older women[J]. *J Appl Physiol (1985)*, 2013, 114(11): 1563-1568. DOI: 10.1152/jappphysiol.01364.2012.
- [50] Wojtaszewski JF, Nielsen JN, Richter EA. Invited review: effect of acute exercise on insulin signaling and action in humans[J]. *J Appl Physiol (1985)*, 2002, 93(1): 384-392. DOI: 10.1152/jappphysiol.00043.2002.
- [51] 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.
- [52] Manders RJ, Van Dijk JW, van Loon LJ. Low-intensity exercise reduces the prevalence of hyperglycemia in type 2 diabetes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(2): 219-225. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181b3b16d.
- [53] Newsom SA, Everett AC, Hinko A, et al. A single session of low-intensity exercise is sufficient to enhance insulin sensitivity into the next day in obese adults[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(9): 2516-2522. DOI: 10.2337/dc12-2606.
- [54] Hawley JA, Lessard SJ. Exercise training-induced improvements in insulin action[J]. *Acta Physiol (Oxf)*, 2008, 192(1): 127-135. DOI: 10.1111/j.1748-1716.2007.01783.x.
- [55] Olsen RH, Krogh-Madsen R, Thomsen C, et al. Metabolic responses to reduced daily steps in healthy nonexercising men [J]. *JAMA*, 2008, 299(11): 1261-1263. DOI: 10.1001/jama.299.11.1259.
- [56] Bacchi E, Negri C, Targher G, et al. Both resistance training and aerobic training reduce hepatic fat content in type 2 diabetic subjects with nonalcoholic fatty liver disease (the RAED2 Randomized Trial) [J]. *Hepatology*, 2013, 58(4): 1287-1295. DOI: 10.1002/hep.26393.
- [57] Hallsworth K, Fattakhova G, Hollingsworth KG, et al. Resistance exercise reduces liver fat and its mediators in non-alcoholic fatty liver disease independent of weight loss[J]. *Gut*, 2011, 60(9): 1278-1283. DOI: 10.1136/gut.2011.242073.
- [58] Dubé JJ, Amati F, Toledo FG, et al. Effects of weight loss and exercise on insulin resistance, and intramyocellular triacylglycerol, diacylglycerol and ceramide[J]. *Diabetologia*, 2011, 54(5): 1147-1156. DOI: 10.1007/s00125-011-2065-0.
- [59] 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): E151-156. DOI: 10.1152/ajpendo.00210.2009.
- [60] Dubé JJ, Allison KF, Rousson V, et al. Exercise dose and insulin sensitivity: relevance for diabetes prevention[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44(5): 793-799. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31823f679f.
- [61] Sigal RJ, Kenny GP, Boulé NG, et al. Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes: a randomized trial[J]. *Ann Intern Med*, 2007, 147(6): 357-369.
- [62] Wing RR, Bolin P, Brancati FL, et al. Cardiovascular effects of intensive lifestyle intervention in type 2 diabetes[J]. *N Engl J Med*, 2013, 369(2): 145-154. DOI: 10.1056/NEJMoa1212914.
- [63] Pi-Sunyer X. The Look AHEAD Trial: A Review and Discussion Of Its Outcomes[J]. *Curr Nutr Rep*, 2014, 3(4): 387-391. DOI: 10.1007/s13668-014-0099-x.
- [64] Umpierre D, Ribeiro PA, Kramer CK, et al. Physical activity advice only or structured exercise training and association with HbA1c levels in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. *JAMA*, 2011, 305(17): 1790-1799. DOI: 10.1001/jama.2011.576.
- [65] Yang Z, Scott CA, Mao C, et al. Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2014, 44(4): 487-499. DOI: 10.1007/s40279-013-0128-8.
- [66] Church TS, Blair SN, Cocroham S, et al. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial[J]. *JAMA*, 2010, 304(20): 2253-2262. DOI: 10.1001/jama.2010.1710.
- [67] Zeitler P, Hirst K, Pyle L, et al. A clinical trial to maintain glycemic control in youth with type 2 diabetes[J]. *N Engl J Med*, 2012, 366(24): 2247-2256. DOI: 10.1056/NEJMoa1109333.
- [68] Balk EM, Earley A, Raman G, et al. Combined Diet and Physical Activity Promotion Programs to Prevent Type 2 Diabetes Among Persons at Increased Risk: A Systematic Review for the Community Preventive Services Task Force[J]. *Ann Intern Med*, 2015, 163(6): 437-451. DOI: 10.7326/M15-0452.
- [69] Dunkley AJ, Bodicoat DH, Greaves CJ, et al. Diabetes prevention in the real world: effectiveness of pragmatic lifestyle interventions for the prevention of type 2 diabetes and of the impact of adherence to guideline recommendations: a systematic review and meta-analysis[J]. *Diabetes Care*, 2014, 37(4): 922-933. DOI: 10.2337/dc13-2195.
- [70] MacMillan F, Kirk A, Mutrie N, et al. A systematic review of physical activity and sedentary behavior intervention studies in youth with type 1 diabetes: study characteristics, intervention design, and efficacy[J]. *Pediatr Diabetes*, 2014, 15(3): 175-189. DOI: 10.1111/pedi.12060.
- [71] Moy CS, Songer TJ, LaPorte RE, et al. Insulin-dependent diabetes mellitus, physical activity, and death[J]. *Am J Epidemiol*, 1993, 137(1): 74-81.
- [72] Biankin SA, Jenkins AB, Campbell LV, et al. Target-seeking behavior of plasma glucose with exercise in type 1 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2003, 26(2): 297-301.
- [73] Tansey MJ, Tsalikian E, Beck RW, et al. The effects of aerobic exercise on glucose and counterregulatory hormone concentrations in children with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2006, 29(1): 20-25.

- [74] Mallad A, Hinshaw L, Schiavon M, et al. Exercise effects on postprandial glucose metabolism in type 1 diabetes: a triple-tracer approach[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2015, 308(12): E1106-1115. DOI: 10.1152/ajpendo.00014.2015.
- [75] Manohar C, Levine JA, Nandy DK, et al. The effect of walking on postprandial glycemic excursion in patients with type 1 diabetes and healthy people[J]. *Diabetes Care*, 2012, 35(12): 2493-2499. DOI: 10.2337/dc11-2381.
- [76] Dubé MC, Weisnagel SJ, Prud'homme D, et al. Is early and late post-meal exercise so different in type 1 diabetic lispro users?[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2006, 72(2): 128-134. DOI: 10.1016/j.diabres.2005.09.017.
- [77] Turner D, Luzio S, Gray BJ, et al. Algorithm that delivers an individualized rapid-acting insulin dose after morning resistance exercise counters post-exercise hyperglycaemia in people with Type 1 diabetes[J]. *Diabet Med*, 2016, 33(4): 506-510. DOI: 10.1111/dme.12870.
- [78] Mitchell TH, Abraham G, Schiffrin A, et al. Hyperglycemia after intense exercise in IDDM subjects during continuous subcutaneous insulin infusion[J]. *Diabetes Care*, 1988, 11(4): 311-317.
- [79] Bally L, Zueger T, Buehler T, et al. Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: a randomised crossover study[J]. *Diabetologia*, 2016, 59(4): 776-784. DOI: 10.1007/s00125-015-3854-7.
- [80] García-García F, Kumareswaran K, Hovorka R, et al. Quantifying the acute changes in glucose with exercise in type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sports Med*, 2015, 45(4): 587-599. DOI: 10.1007/s40279-015-0302-2.
- [81] Maran A, Pavan P, Bonsembiante B, et al. Continuous glucose monitoring reveals delayed nocturnal hypoglycemia after intermittent high-intensity exercise in nontrained patients with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2010, 12(10): 763-768. DOI: 10.1089/dia.2010.0038.
- [82] Guelfi KJ, Ratnam N, Smythe GA, et al. Effect of intermittent high-intensity compared with continuous moderate exercise on glucose production and utilization in individuals with type 1 diabetes[J]. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 2007, 292(3): E865-870. DOI: 10.1152/ajpendo.00533.2006.
- [83] Riddell MC, Milliken J. Preventing exercise-induced hypoglycemia in type 1 diabetes using real-time continuous glucose monitoring and a new carbohydrate intake algorithm: an observational field study[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2011, 13(8): 819-825. DOI: 10.1089/dia.2011.0052.
- [84] Francescato MP, Stel G, Stenner E, et al. Prolonged exercise in type 1 diabetes: performance of a customizable algorithm to estimate the carbohydrate supplements to minimize glycemic imbalances[J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0125220. DOI: 10.1371/journal.pone.0125220.
- [85] Adolfsson P, Mattsson S, Jendle J. Evaluation of glucose control when a new strategy of increased carbohydrate supply is implemented during prolonged physical exercise in type 1 diabetes[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2015, 115(12): 2599-2607. DOI: 10.1007/s00421-015-3251-4.
- [86] 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.
- [87] Colberg SR, Laan R, Dassau E, et al. Physical activity and type 1 diabetes: time for a rewire?[J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2015, 9(3): 609-618. DOI: 10.1177/1932296814566231.
- [88] Zaharieva DP, Riddell MC. Prevention of exercise-associated dysglycemia: a case study-based approach[J]. *Diabetes Spectr*, 2015, 28(1): 55-62. DOI: 10.2337/diaspect.28.1.55.
- [89] 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.
- [90] Franc S, Daoudi A, Pochat A, et al. Insulin-based strategies to prevent hypoglycaemia during and after exercise in adult patients with type 1 diabetes on pump therapy: the DIABRASPORT randomized study[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2015, 17(12): 1150-1157. DOI: 10.1111/dom.12552.
- [91] Tsalikian E, Kollman C, Tamborlane WB, et al. Prevention of hypoglycemia during exercise in children with type 1 diabetes by suspending basal insulin[J]. *Diabetes Care*, 2006, 29(10): 2200-2204. DOI: 10.2337/dc06-0495.
- [92] Admon G, Weinstein Y, Falk B, et al. Exercise with and without an insulin pump among children and adolescents with type 1 diabetes mellitus[J]. *Pediatrics*, 2005, 116(3): e348-355. DOI: 10.1542/peds.2004-2428.
- [93] Heinemann L, Nosek L, Kapitza C, et al. Changes in basal insulin infusion rates with subcutaneous insulin infusion: time until a change in metabolic effect is induced in patients with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2009, 32(8): 1437-1439. DOI: 10.2337/dc09-0595.
- [94] Campbell MD, Walker M, Trenell MI, et al. Metabolic implications when employing heavy pre- and post-exercise rapid-acting insulin reductions to prevent hypoglycaemia in type 1 diabetes patients: a randomised clinical trial[J]. *PLoS One*, 2014, 9(5): e97143. DOI: 10.1371/journal.pone.0097143.
- [95] Rabasa-Lhoret R, Bourque J, Ducros F, et al. Guidelines for premeal insulin dose reduction for postprandial exercise of different intensities and durations in type 1 diabetic subjects treated intensively with a basal-bolus insulin regimen (ultralente-lispro)[J]. *Diabetes Care*, 2001, 24(4): 625-630.
- [96] Moser O, Tschakert G, Mueller A, et al. Effects of High-Intensity Interval Exercise versus Moderate Continuous Exercise on Glucose Homeostasis and Hormone Response in Patients with Type 1 Diabetes Mellitus Using Novel Ultra-Long-Acting Insulin[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0136489. DOI: 10.1371/journal.pone.0136489.
- [97] 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.
- [98] Yardley JE, Iscoe KE, Sigal RJ, et al. Insulin pump therapy is associated with less post-exercise hyperglycemia than multiple daily injections: an observational study of physically active type 1 diabetes patients[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2013, 15(1): 84-88. DOI: 10.1089/dia.2012.0168.
- [99] Peter R, Luzio SD, Dunseath G, et al. Effects of exercise on the absorption of insulin glargine in patients with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2005, 28(3): 560-565.
- [100] Binek A, Rembierz-Knoll A, Polańska J, et al. Reasons for the discontinuation of therapy of personal insulin pump in children with type 1 diabetes[J]. *Pediatr Endocrinol Diabetes Metab*, 2016, 21(2): 65-69. DOI: 10.18544/PEDM-21.02.0026.
- [101] Yardley JE, Sigal RJ, Kenny GP, et al. Point accuracy of

- interstitial continuous glucose monitoring during exercise in type 1 diabetes[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2013, 15(1):46-49. DOI: 10.1089/dia.2012.0182.
- [102] Bally L, Zueger T, Pasi N, et al. Accuracy of continuous glucose monitoring during differing exercise conditions[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2016, 112: 1-5. DOI: 10.1016/j.diabres.2015.11.012.
- [103] Fayolle C, Brun JF, Bringer J, et al. Accuracy of continuous subcutaneous glucose monitoring with the GlucoDay in type 1 diabetic patients treated by subcutaneous insulin infusion during exercise of low versus high intensity[J]. *Diabetes Metab*, 2006, 32(4): 313-320.
- [104] Radermecker RP, Fayolle C, Brun JF, et al. Accuracy assessment of online glucose monitoring by a subcutaneous enzymatic glucose sensor during exercise in patients with type 1 diabetes treated by continuous subcutaneous insulin infusion [J]. *Diabetes Metab*, 2013, 39(3): 258-262. DOI: 10.1016/j.diabet.2012.12.004.
- [105] Herrington SJ, Gee DL, Dow SD, et al. Comparison of glucose monitoring methods during steady-state exercise in women[J]. *Nutrients*, 2012, 4(9): 1282-1292. DOI: 10.3390/nu4091282.
- [106] Iscoe KE, Davey RJ, Fournier PA. Is the response of continuous glucose monitors to physiological changes in blood glucose levels affected by sensor life?[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2012, 14(2): 135-142. DOI: 10.1089/dia.2011.0194.
- [107] Matuleviciene V, Joseph JI, Andelin M, et al. A clinical trial of the accuracy and treatment experience of the Dexcom G4 sensor (Dexcom G4 system) and Enlite sensor (guardian REAL-time system) tested simultaneously in ambulatory patients with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2014, 16(11):759-767. DOI: 10.1089/dia.2014.0238.
- [108] Kropff J, Bruttomesso D, Doll W, et al. Accuracy of two continuous glucose monitoring systems: a head-to-head comparison under clinical research centre and daily life conditions[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2015, 17(4): 343-349. DOI: 10.1111/dom.12378.
- [109] Leelarathna L, Nodale M, Allen JM, et al. Evaluating the accuracy and large inaccuracy of two continuous glucose monitoring systems[J]. *Diabetes Technol Ther*, 2013, 15(2): 143-149. DOI: 10.1089/dia.2012.0245.
- [110] Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, et al. Continuous glucose monitoring in diabetic long distance runners[J]. *Int J Sports Med*, 2005, 26(9): 774-780. DOI: 10.1055/s-2004-830561.
- [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] Lièvre MM, Moulin P, Thivolet C, et al. Detection of silent myocardial ischemia in asymptomatic patients with diabetes: results of a randomized trial and meta-analysis assessing the effectiveness of systematic screening[J]. *Trials*, 2011, 12: 23. DOI: 10.1186/1745-6215-12-23.
- [113] 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.
- [114] Biddle SJ, Batterham AM. High-intensity interval exercise training for public health: a big HIT or shall we HIT it on the head?[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2015, 12: 95. DOI: 10.1186/s12966-015-0254-9.
- [115] 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): e69-76. DOI: 10.1111/sms.12112.
- [116] Levinger I, Shaw CS, Stepto NK, et al. What Doesn't Kill You Makes You Fitter: A Systematic Review of High-Intensity Interval Exercise for Patients with Cardiovascular and Metabolic Diseases[J]. *Clin Med Insights Cardiol*, 2015, 9: 53-63. DOI: 10.4137/CMC.S26230.
- [117] Holloway TM, Spriet LL. CrossTalk opposing view: High intensity interval training does not have a role in risk reduction or treatment of disease[J]. *J Physiol*, 2015, 593(24): 5219-5221. DOI: 10.1113/JP271039.
- [118] Willey KA, Singh MA. Battling insulin resistance in elderly obese people with type 2 diabetes: bring on the heavy weights [J]. *Diabetes Care*, 2003, 26(5): 1580-1588.
- [119] Levine JA, McCrady SK, Lanningham-Foster LM, et al. The role of free-living daily walking in human weight gain and obesity[J]. *Diabetes*, 2008, 57(3): 548-554. DOI: 10.2337/db07-0815.
- [120] Levine JA, Lanningham-Foster LM, McCrady SK, et al. Interindividual variation in posture allocation: possible role in human obesity[J]. *Science*, 2005, 307(5709): 584-586. DOI: 10.1126/science.1106561.
- [121] Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD. Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans[J]. *Science*, 1999, 283(5399): 212-214.
- [122] DiPietro L, Gribov A, Stevens MS, et al. Three 15-min bouts of moderate postmeal walking significantly improves 24-h glycemic control in older people at risk for impaired glucose tolerance[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(10): 3262-3268. DOI: 10.2337/dc13-0084.
- [123] Nygaard H, Tomten SE, Høstmark AT. Slow postmeal walking reduces postprandial glycemia in middle-aged women[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2009, 34(6): 1087-1092. DOI: 10.1139/H09-110.
- [124] 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.
- [125] Balducci S, Zanuso S, Nicolucci A, et al. Effect of an intensive exercise intervention strategy on modifiable cardiovascular risk factors in subjects with type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial: the Italian Diabetes and Exercise Study (IDES)[J]. *Arch Intern Med*, 2010, 170(20): 1794-1803. DOI: 10.1001/archinternmed.2010.380.
- [126] ACOG Committee Opinion No. 650: Physical Activity and Exercise During Pregnancy and the Postpartum Period[J]. *Obstet Gynecol*, 2015, 126(6): e135-142. DOI: 10.1097/AOG.0000000000001214.
- [127] Sanabria-Martínez G, García-Hermoso A, Poyatos-León R, et al. Effectiveness of physical activity interventions on preventing gestational diabetes mellitus and excessive maternal weight gain: a meta-analysis[J]. *BJOG*, 2015, 122(9): 1167-1174. DOI: 10.1111/1471-0528.13429.
- [128] Russo LM, Nobles C, Ertel KA, et al. Physical activity interventions in pregnancy and risk of gestational diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis[J]. *Obstet*

- Gynecol, 2015, 125(3): 576-582. DOI: 10.1097/AOG.0000000000000691.
- [129] Colberg SR, Castorino K, Jovanović L. Prescribing physical activity to prevent and manage gestational diabetes[J]. *World J Diabetes*, 2013, 4(6): 256-262. DOI: 10.4239/wjd.v4.i6.256.
- [130] Ehrlich SF, Sternfeld B, Krefman AE, et al. Moderate and Vigorous Intensity Exercise During Pregnancy and Gestational Weight Gain in Women with Gestational Diabetes[J]. *Matern Child Health J*, 2016, 20(6): 1247-1257. DOI: 10.1007/s10995-016-1926-z.
- [131] Zhang C, Solomon CG, Manson JE, et al. A prospective study of pregravid physical activity and sedentary behaviors in relation to the risk for gestational diabetes mellitus[J]. *Arch Intern Med*, 2006, 166(5): 543-548. DOI: 10.1001/archinte.166.5.543.
- [132] 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.
- [133] 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.
- [134] 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.
- [135] 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.
- [136] 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.
- [137] Frier BM. Hypoglycaemia in diabetes mellitus: epidemiology and clinical implications[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2014, 10(12): 711-722. DOI: 10.1038/nrendo.2014.170.
- [138] 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.
- [139] MacDonald MJ. Postexercise late-onset hypoglycemia in insulin-dependent diabetic patients[J]. *Diabetes Care*, 1987, 10(5): 584-588.
- [140] Taplin CE, Cobry E, Messer L, et al. Preventing post-exercise nocturnal hypoglycemia in children with type 1 diabetes[J]. *J Pediatr*, 2010, 157(5): 784-788.e1. DOI: 10.1016/j.jpeds.2010.06.004.
- [141] Garg SK, Brazg RL, Bailey TS, et al. Hypoglycemia begets hypoglycemia: the order effect in the ASPIRE in-clinic study [J]. *Diabetes Technol Ther*, 2014, 16(3):125-130. DOI: 10.1089/dia.2013.0219.
- [142] Wilson D, Chase HP, Kollman C, et al. Low-fat vs. high-fat bedtime snacks in children and adolescents with type 1 diabetes[J]. *Pediatr Diabetes*, 2008, 9(4 Pt 1):320-325. DOI: 10.1111/j.1399-5448.2008.00393.x.
- [143] Yardley JE, Zaharieva DP, Jarvis C, et al. The "ups" and "downs" of a bike race in people with type 1 diabetes: dramatic differences in strategies and blood glucose responses in the Paris-to-Ancaster Spring Classic[J]. *Can J Diabetes*, 2015, 39(2):105-110. DOI: 10.1016/j.cjcd.2014.09.003.
- [144] 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.
- [145] Marliss EB, Vranic M. Intense exercise has unique effects on both insulin release and its roles in glucoregulation: implications for diabetes[J]. *Diabetes*, 2002, 51 Suppl 1: S271-283.
- [146] Turner D, Gray BJ, Luzio S, et al. Similar magnitude of post-exercise hyperglycemia despite manipulating resistance exercise intensity in type 1 diabetes individuals[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2016, 26(4):404-412. DOI: 10.1111/sms.12472.
- [147] Turner D, Luzio S, Gray BJ, et al. Impact of single and multiple sets of resistance exercise in type 1 diabetes[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2015, 25(1):e99-109. DOI: 10.1111/sms.12202.
- [148] Gueffi KJ, Jones TW, Fournier PA. The decline in blood glucose levels is less with intermittent high-intensity compared with moderate exercise in individuals with type 1 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2005, 28(6):1289-1294.
- [149] Tanenberg RJ, Newton CA, Drake AJ. Confirmation of hypoglycemia in the "dead-in-bed" syndrome, as captured by a retrospective continuous glucose monitoring system[J]. *Endocr Pract*, 2010, 16(2):244-248. DOI: 10.4158/EPO9260.CR.
- [150] Larsen JJ, Dela F, Madsbad S, et al. Interaction of sulfonylureas and exercise on glucose homeostasis in type 2 diabetic patients[J]. *Diabetes Care*, 1999, 22(10):1647-1654.
- [151] McDonnell ME. Combination therapy with new targets in Type 2 diabetes: a review of available agents with a focus on pre-exercise adjustment[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2007, 27(4): 193-201. DOI: 10.1097/01.HCR.0000281762.29287.a6.
- [152] Carter MR, McGinn R, Barrera-Ramirez J, et al. Impairments in local heat loss in type 1 diabetes during exercise in the heat [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(12): 2224-2233. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000350.
- [153] Stapleton JM, Yardley JE, Boulay P, et al. Whole-body heat loss during exercise in the heat is not impaired in type 1 diabetes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(9): 1656-1664. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31829002f3.
- [154] Yardley JE, Stapleton JM, Carter MR, et al. Is whole-body thermoregulatory function impaired in type 1 diabetes mellitus? [J]. *Curr Diabetes Rev*, 2013, 9(2): 126-136.
- [155] 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.
- [156] Wong AM, Docking SI, Cook JL, et al. Does type 1 diabetes mellitus affect Achilles tendon response to a 10 km run? A case control study[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16: 345. DOI: 10.1186/s12891-015-0803-z.
- [157] Ranger TA, Wong AM, Cook JL, et al. Is there an association between tendinopathy and diabetes mellitus? A systematic review with meta-analysis[J]. *Br J Sports Med*, 2016, 50(16): 982-989. DOI: 10.1136/bjsports-2015-094735.

- [158] de Oliveira LP, Vieira CP, Guerra FD, et al. Structural and biomechanical changes in the Achilles tendon after chronic treatment with statins[J]. *Food Chem Toxicol*, 2015, 77: 50-57. DOI: 10.1016/j.fct.2014.12.014.
- [159] American Diabetes Association. 9. Microvascular Complications and Foot Care[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39 Suppl 1: S72-80. DOI: 10.2337/dc16-S012.
- [160] American Diabetes Association. 8. Cardiovascular Disease and Risk Management[J]. *Diabetes Care*, 2016, 39 Suppl 1: S60-71. DOI: 10.2337/dc16-S011.
- [161] McDermott MM, Ades P, Guralnik JM, et al. Treadmill exercise and resistance training in patients with peripheral arterial disease with and without intermittent claudication: a randomized controlled trial[J]. *JAMA*, 2009, 301(2): 165-174. DOI: 10.1001/jama.2008.962.
- [162] Pena KE, Stopka CB, Barak S, et al. Effects of low-intensity exercise on patients with peripheral artery disease[J]. *Phys Sportsmed*, 2009, 37(1): 106-110. DOI: 10.3810/psm.2009.04.1689.
- [163] Balducci S, Iacobellis G, Parisi L, et al. Exercise training can modify the natural history of diabetic peripheral neuropathy [J]. *J Diabetes Complications*, 2006, 20(4): 216-223. DOI: 10.1016/j.jdiacomp.2005.07.005.
- [164] Barn R, Waaijman R, Nollet F, et al. Predictors of barefoot plantar pressure during walking in patients with diabetes, peripheral neuropathy and a history of ulceration[J]. *PLoS One*, 2015, 10(2): e0117443. DOI: 10.1371/journal.pone.0117443.
- [165] Lemaster JW, Mueller MJ, Reiber GE, et al. Effect of weight-bearing activity on foot ulcer incidence in people with diabetic peripheral neuropathy: feet first randomized controlled trial[J]. *Phys Ther*, 2008, 88(11): 1385-1398. DOI: 10.2522/ptj.20080019.
- [166] Colberg SR, Vinik AI. Exercising with peripheral or autonomic neuropathy: what health care providers and diabetic patients need to know[J]. *Phys Sportsmed*, 2014, 42(1): 15-23. DOI: 10.3810/psm.2014.02.2043.
- [167] Colberg SR, Swain DP, Vinik AI. Use of heart rate reserve and rating of perceived exertion to prescribe exercise intensity in diabetic autonomic neuropathy[J]. *Diabetes Care*, 2003, 26(4): 986-990.
- [168] Wadén J, Tikkanen HK, Forsblom C, et al. Leisure-time physical activity and development and progression of diabetic nephropathy in type 1 diabetes: the FinnDiane Study[J]. *Diabetologia*, 2015, 58(5): 929-936. DOI: 10.1007/s00125-015-3499-6.
- [169] Robinson-Cohen C, Littman AJ, Duncan GE, et al. Physical activity and change in estimated GFR among persons with CKD[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2014, 25(2): 399-406. DOI: 10.1681/ASN.2013040392.
- [170] Effect of a long-term behavioural weight loss intervention on nephropathy in overweight or obese adults with type 2 diabetes: a secondary analysis of the Look AHEAD randomised clinical trial[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2014, 2(10): 801-809. DOI: 10.1016/S2213-8587(14)70156-1.
- [171] Koh KP, Fassett RG, Sharman JE, et al. Effect of intradialytic versus home-based aerobic exercise training on physical function and vascular parameters in hemodialysis patients: a randomized pilot study[J]. *Am J Kidney Dis*, 2010, 55(1): 88-99. DOI: 10.1053/j.ajkd.2009.09.025.
- [172] Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, et al. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2016, 41(1): 1-11. DOI: 10.1139/apnm-2015-0235.
- [173] Avery L, Flynn D, van Wersch A, et al. Changing physical activity behavior in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of behavioral interventions[J]. *Diabetes Care*, 2012, 35(12): 2681-2689. DOI: 10.2337/dc11-2452.
- [174] Müller N, Stengel D, Kloos C, et al. Improvement of HbA(1c) and stable weight loss 2 years after an outpatient treatment and teaching program for patients with type 2 diabetes without insulin therapy based on urine glucose self-monitoring[J]. *Int J Gen Med*, 2012, 5: 241-247. DOI: 10.2147/IJGM.S28505.
- [175] Avery L, Flynn D, Dombrowski SU, et al. Successful behavioural strategies to increase physical activity and improve glucose control in adults with Type 2 diabetes[J]. *Diabet Med*, 2015, 32(8): 1058-1062. DOI: 10.1111/dme.12738.
- [176] Ekong G, Kavookjian J. Motivational interviewing and outcomes in adults with type 2 diabetes: A systematic review [J]. *Patient Educ Couns*, 2016, 99(6): 944-952. DOI: 10.1016/j.pec.2015.11.022.
- [177] Greaves CJ, Sheppard KE, Abraham C, et al. Systematic review of reviews of intervention components associated with increased effectiveness in dietary and physical activity interventions[J]. *BMC Public Health*, 2011, 11: 119. DOI: 10.1186/1471-2458-11-119.
- [178] Qiu S, Cai X, Chen X, et al. Step counter use in type 2 diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *BMC Med*, 2014, 12: 36. DOI: 10.1186/1741-7015-12-36.
- [179] Tudor-Locke C, Craig CL, Aoyagi Y, et al. How many steps/day are enough? For older adults and special populations[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2011, 8: 80. DOI: 10.1186/1479-5868-8-80.
- [180] Tudor-Locke C, Craig CL, Aoyagi Y, et al. How many steps/day are enough? For older adults and special populations[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2011, 8: 80. DOI: 10.1186/1479-5868-8-80.
- [181] Tudor-Locke C, Craig CL, Thyfault JP, et al. A step-defined sedentary lifestyle index: <5000 steps/day[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2013, 38(2): 100-114. DOI: 10.1139/apnm-2012-0235.
- [182] Tudor-Locke C, Leonardi C, Johnson WD, et al. Accelerometer steps/day translation of moderate-to-vigorous activity[J]. *Prev Med*, 2011, 53(1-2): 31-33. DOI: 10.1016/j.ypmed.2011.01.014.
- [183] Lyons EJ, Lewis ZH, Mayrsohn BG, et al. Behavior change techniques implemented in electronic lifestyle activity monitors: a systematic content analysis[J]. *J Med Internet Res*, 2014, 16(8): e192. DOI: 10.2196/jmir.3469.
- [184] Connelly J, Kirk A, Masthoff J, et al. The use of technology to promote physical activity in Type 2 diabetes management: a systematic review[J]. *Diabet Med*, 2013, 30(12): 1420-1432. DOI: 10.1111/dme.12289.
- [185] Merolli M, Gray K, Martin-Sanchez F. Health outcomes and related effects of using social media in chronic disease management: a literature review and analysis of affordances [J]. *J Biomed Inform*, 2013, 46(6): 957-969. DOI: 10.1016/j.jbi.2013.04.010.

(收稿日期:2017-07-09)

(本文编辑:付晓霞)