



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eng](http://www.elsevier.com/locate/eng)



Research

Glucose and Lipid Metabolism—Article

2型糖尿病患者的身体活动、久坐行为与心血管疾病患病风险的关系——MIDIab研究

武亚飞<sup>a,b,#</sup>, 秦贵军<sup>c,#</sup>, 王桂侠<sup>d,#</sup>, 刘礼斌<sup>e,#</sup>, 陈兵<sup>f,#</sup>, 管庆波<sup>a,b</sup>, 袁中尚<sup>g</sup>, 侯旭<sup>a,b</sup>, 高聆<sup>a,b</sup>, 徐潮<sup>a,b</sup>, 张海清<sup>a,b</sup>, 张栩<sup>a,b</sup>, 李秋<sup>a,b</sup>, 宋勇峰<sup>a,b</sup>, 景斐<sup>a,b</sup>, 马世瞻<sup>a,b</sup>, 邵珊珊<sup>a,b</sup>, 赵萌<sup>a,b</sup>, 郭庆玲<sup>a,b</sup>, 童南伟<sup>h</sup>, 赵红燕<sup>i</sup>, 谢晓敏<sup>j</sup>, 刘超<sup>k</sup>, 单忠艳<sup>l</sup>, 成志锋<sup>m</sup>, 余学峰<sup>n</sup>, 陈述林<sup>o</sup>, 杨涛<sup>p</sup>, 王刚刚<sup>q</sup>, 李冬梅<sup>r</sup>, 闫朝丽<sup>s</sup>, 郭立新<sup>t,\*</sup>, 姬秋和<sup>u,\*</sup>, 王文绢<sup>v,\*</sup>, 赵家军<sup>a,b,w,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Endocrinology & Shandong Clinical Research Center of Diabetes and Metabolic Diseases, Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan 250021, China

<sup>b</sup> Shandong Key Laboratory of Endocrinology and Lipid Metabolism & Shandong Prevention and Control Engineering Laboratory of Endocrine and Metabolic Diseases, Shandong First Medical University, Jinan 250021, China

<sup>c</sup> Department of Endocrine and Metabolic Diseases, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

<sup>d</sup> Department of Endocrinology and Metabolism, First Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China

<sup>e</sup> Department of Endocrinology and Metabolism, Fujian Medical University Union Hospital, Fuzhou 350001, China

<sup>f</sup> Endocrinology Department, The Southwest Hospital of AMU, Chongqing 400038, China

<sup>g</sup> Department of Biostatistics, School of Public Health, Shandong University, Jinan 250012, China

<sup>h</sup> Department of Endocrinology and Metabolism, West China Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, China

<sup>i</sup> Department of Endocrine and Metabolic Diseases, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200020, China

<sup>j</sup> Department of Endocrinology, The First People's Hospital of Yinchuan, Yinchuan 750001, China

<sup>k</sup> Department of Endocrinology, Nanjing Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital (the Affiliated Hospital of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine) Nanjing 210046, China

<sup>l</sup> Department of Endocrinology and Metabolism & Institute of Endocrinology, the First Hospital of China Medical University, Shenyang 110000, China

<sup>m</sup> Department of Endocrinology, the Fourth Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150001, China

<sup>n</sup> Division of Endocrinology, Department of Internal Medicine, Tongji Hospital, Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

<sup>o</sup> Department of Endocrinology, Yantai Yuhuangding Hospital Affiliated to Qingdao University Medical College, Yantai 264000, China

<sup>p</sup> Department of Endocrinology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

<sup>q</sup> Department of Endocrinology and Metabolic Diseases, the Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266000, China

<sup>r</sup> Division of Endocrinology, Department of Internal Medicine, Inner Mongolia Autonomous Region People's Hospital, Hohhot 010017, China

<sup>s</sup> Department of Endocrinology, the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010030, China

<sup>t</sup> Department of Endocrinology & Beijing Institute of Geriatrics, National Health Commission, Beijing Hospital, Beijing 100000, China

<sup>u</sup> Division of Endocrinology, Department of Internal Medicine, Xijing Hospital of Air Force Military Medical University, Xi'an 710032, China

<sup>v</sup> National Center for Chronic and Noncommunicable Disease Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100032, China

<sup>w</sup> Department of Endocrinology, Shandong Provincial Hospital, Shandong University, Jinan 250021, China

ARTICLE INFO

摘要

Article history:

Received 21 January 2022

Revised 20 May 2022

Accepted 30 May 2022

Available online 30 June 2022

关键词

2型糖尿病

身体活动

久坐时间

心血管疾病

本研究的目的是探讨中国2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)患者的中等至剧烈强度身体活动(moderate-to-vigorous-intensity physical activity, MVPA)时间和久坐(sedentary, SED)时间与心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)风险和多种因素[即血压(blood pressure, BP)、体重指数(body mass index, BMI)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)和糖化血红蛋白A1c(glycated hemoglobin A1c, HbA1c)]控制状况的关系。本研究为一项基于9152名T2DM人群的横断面研究,数据来自于“Multifactorial Intervention on Type 2 Diabetes Study”,简称MIDIab研究。根据患者自我报告的MVPA时间和SED时间,将身体活动水平分为:低(<150 min·周<sup>-1</sup>)、中(150~450 min·周<sup>-1</sup>)、高(≥450 min·周<sup>-1</sup>)三组;久坐行为水平也分为:低(<4 h·d<sup>-1</sup>)、中(4~8 h·d<sup>-1</sup>)、高(≥8 h·d<sup>-1</sup>)三组。本研究的主要结局指标是CVD,将有自我报告CVD疾病史的患者定义为有CVD风险。采用混合效应逻辑回归模型估计与

\* Corresponding authors.

E-mail addresses: glxwork2016@163.com (L. Guo), jqiuhe@fmmu.edu.cn (Q. Ji), wwj63131779@126.com (W. Wang), jjzhao@sdu.edu.cn (J. Zhao).

# These authors contributed equally to this work.

2095-8099/© 2022 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: Engineering, 2023, 20(1): 26–35

引用本文: Yafei Wu, Guijun Qin, Guixia Wang, Libin Liu, Bing Chen, Qingbo Guan, Zhongshang Yuan, Xu Hou, Ling Gao, Chao Xu, Haiqing Zhang, Xu Zhang, Qiu Li, Yongfeng Song, Fei Jing, Shizhan Ma, Shanshan Shao, Meng Zhao, Qingling Guo, Nanwei Tong, Hongyan Zhao, Xiaomin Xie, Chao Liu, Zhongyan Shan, Zhifeng Cheng, Xuefeng Yu, Shulin Chen, Tao Yang, Yangang Wang, Dongmei Li, Zhaoli Yan, Lixin Guo, Qiuhe Ji, Wenjuan Wang, Jiajun Zhao. Physical Activity, Sedentary Behavior, and the Risk of Cardiovascular Disease in Type 2 Diabetes Mellitus Patients: The MIDIab Study. *Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.05.013>

MVPA时间和SED时间相关的CVD风险和多因素控制状态的优势比(odds ratio, OR)和95%置信区间(95% Confidence interval, 95%CI),对中国地理区域特征进行调整。本研究人群年龄的平均±标准差为60.87岁±8.44岁,44.5%为女性,25.1%的患者自我报告有CVD疾病史。校正潜在的混杂因素后,我们发现高水平的MVPA时间与CVD风险之间存在负相关关系,且独立于SED时间,然而在中等水平MVPA时间组没有观察到这种关联。与低水平身体活动组的参与者相比,高水平身体活动组的人更容易达到BMI的目标水平。进一步评估二者对CVD风险的联合作用,与参照组(即SED时间<4 h·d<sup>-1</sup>和MVPA时间≥450 min·周<sup>-1</sup>)相比,低水平身体活动组(MVPA时间<150 min·周<sup>-1</sup>)的CVD患病风险显著升高。其中,与SED时间<4 h·d<sup>-1</sup>相关的OR值为1.270(95% CI 1.040~1.553),与SED时间≥8 h·d<sup>-1</sup>相关的OR值为1.499(95% CI 1.149~1.955)。在T2DM患者中,长时间的久坐行为(即≥8 h·d<sup>-1</sup>的SED时间)与CVD风险增加有关;高水平的身体活动(即MVPA时间≥450 min·周<sup>-1</sup>)与CVD患病风险降低有关,且独立于SED时间。

©2022 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. 引言

随着全球经济的快速发展和人们生活方式的改变,2型糖尿病(type 2 diabetes mellitus, T2DM)的患病率呈现出持续增长的趋势[1–2]。据估计,2021年全球范围内有5.37亿糖尿病患者(年龄在20~79岁),预计到2045年,这一数字将达到7.83亿[3]。糖尿病患病率的增加将不可避免地导致糖尿病并发症比例的增加,特别是心血管疾病(cardiovascular disease, CVD),而CVD被认为是T2DM患者并发疾病和死亡的主要原因[4]。因此,对T2DM患者进行有效管理,对延缓CVD的发生和改善患者的生活质量是很有必要的。

生活方式干预是T2DM患者管理的基石,常包括增加身体活动水平、减少久坐(sedentary, SED)时间和限制能量摄入等[5–6]。规律运动是糖尿病患者血糖控制和整体心血管健康的重要组成部分[5,7]。高强度的身体活动,如中等及剧烈强度身体活动(moderate-to-vigorous-intensity physical activity, MVPA),对T2DM患者的心肺健康和糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin A1c, HbA1c)水平均有额外的益处[8]。先前的研究表明,较高水平的身体活动和减少久坐行为与较低的CVD风险相关[9–10],高水平的SED时间与CVD风险的增加相关,且独立于身体活动水平[11]。MVPA时间的增加和SED时间的减少被认为是促进T2DM患者良好心脏代谢状况的重要行为因素[12–13],同时将SED时间重新分配给MVPA对降低CVD风险也是至关重要的[14]。

中国是世界上糖尿病患者数量最多的国家,估计有1.409亿,其中以T2DM为主[3]。来自西方国家的大多数研究已经报道了在T2DM患者中MVPA时间和SED时间与CVD危险因素之间的显著相关性[8,12–14],但来自中

国的此类数据很少。不仅如此,低MVPA时间与高SED时间相互关联[9],结合两者来分析与CVD风险的关系是很有必要的。既往关于身体活动的研究主要关注心脏代谢危险因素的变化[13,15],但少有证据表明身体活动与多因素控制状况之间的关系[16],多因素控制状况指的是T2DM患者多种风险因素(如血糖控制不佳、血脂异常、血压异常和超重/肥胖)得到很好的管理并达到控制目标。多因素控制状况是糖尿病患者管理的重要监测指标[5]。

因此,我们基于中国有代表性的T2DM人群进行了一项横断面研究,来探索MVPA时间、SED时间与CVD风险和多因素控制状况的关系。此外,我们还研究了SED时间与CVD较高风险的关系是否随着身体活动水平的变化而变化。

## 2. 方法

### 2.1. 研究设计与人群

本研究的数据来自于“Multifactorial Intervention on Type 2 Diabetes Study”,简称MIDIab研究,该研究覆盖中国大陆12个省(自治区)和3个直辖市,涉及来自农村和城市地区的150个初级社区卫生服务中心。相关的详细信息在之前的文章[17]中已经阐述。MIDIab研究的目的是探索涉及多因素干预策略的新法规和指南,以改善中国目前糖尿病和糖尿病血管并发症的不良控制率。该研究方案遵循1964年《赫尔辛基宣言》及其后续修正案,并已获得山东省立医院伦理委员会的批准。所有参与者都签署了书面知情同意书。

我们使用整群随机抽样的方法抽取了年龄在35~75岁的T2DM患者的样本。根据中国地理区域,形成了6个分区:东北地区、华东地区、华北地区、西南地区、中南地

区和西北地区，每个分区选择2~4个省份。然后，根据每个省（自治区）的城市发展情况，选择1~5个城市。再从每个城市随机抽取2~8个社区。我们纳入这些社区所有符合条件的T2DM患者。糖尿病的诊断依据1999年世界卫生组织（World Health Organization, WHO）制定的标准[18]。我们共招募了9859名参与者，没有性别或种族限制。并排除了缺少重要信息（包括年龄、身高、体重、血脂等）和身体活动问卷信息不完整的参与者。此外，基于每人每天至少8 h睡眠时间的假定，排除每天身体活动时间超过960 min的参与者[19]。最终有9152名参与者被纳入我们的分析中，详细流程图如图1所示。

## 2.2. 数据收集

由经过培训的工作人员根据标准方案在参与者居民区所在的社区卫生服务中心进行数据收集。问卷信息由训练有素的采集人员进行采访，包括社会人口特征、生活方式因素和病史信息。教育程度分为高中以下（受教育年限<9年）和高中及以上（≥9年）。吸烟状态分为从不吸烟、以前吸烟或现在吸烟。目前饮酒者被定义为在过去12个

月内每周至少饮酒一次的人。研究人员还询问了参与者在过去6个月的用药情况。

在上午8点到10点之间采集血液样本，需要参与者在采集血样前至少空腹10 h。使用贝克曼 AU5800全自动生化分析仪（AU5800; Beckman, California, USA）用终点法测定总胆固醇（total cholesterol, TC）、低密度脂蛋白胆固醇（low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C）、高密度脂蛋白胆固醇（high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C）、甘油三酯（triglycerides, TGs）；使用惠中MQ-6000血红蛋白分析仪（MQ-6000; Huizhong, Shanghai, China）用高效液相色谱法测定HbA1c。所有样本的检测在山东省济南金城医学检验有限公司进行。

根据标准的检测方案，体重以千克（kg）为单位、身高以厘米（cm）为单位进行测量。BMI通过身高和体重的测量值计算得出， $BMI = \text{体重 (kg)} / \text{身高}^2 (\text{m}^2)$ 。腰围（waist circumference, WC）测量：在参与者站立姿势下测量肋弓下缘和髂骨上缘之间的维度，取三次测量值的平均值。血压（blood pressure, BP）测量：参与者在安静的环境中保持坐立休息5 min后，在非优势臂上使用电子

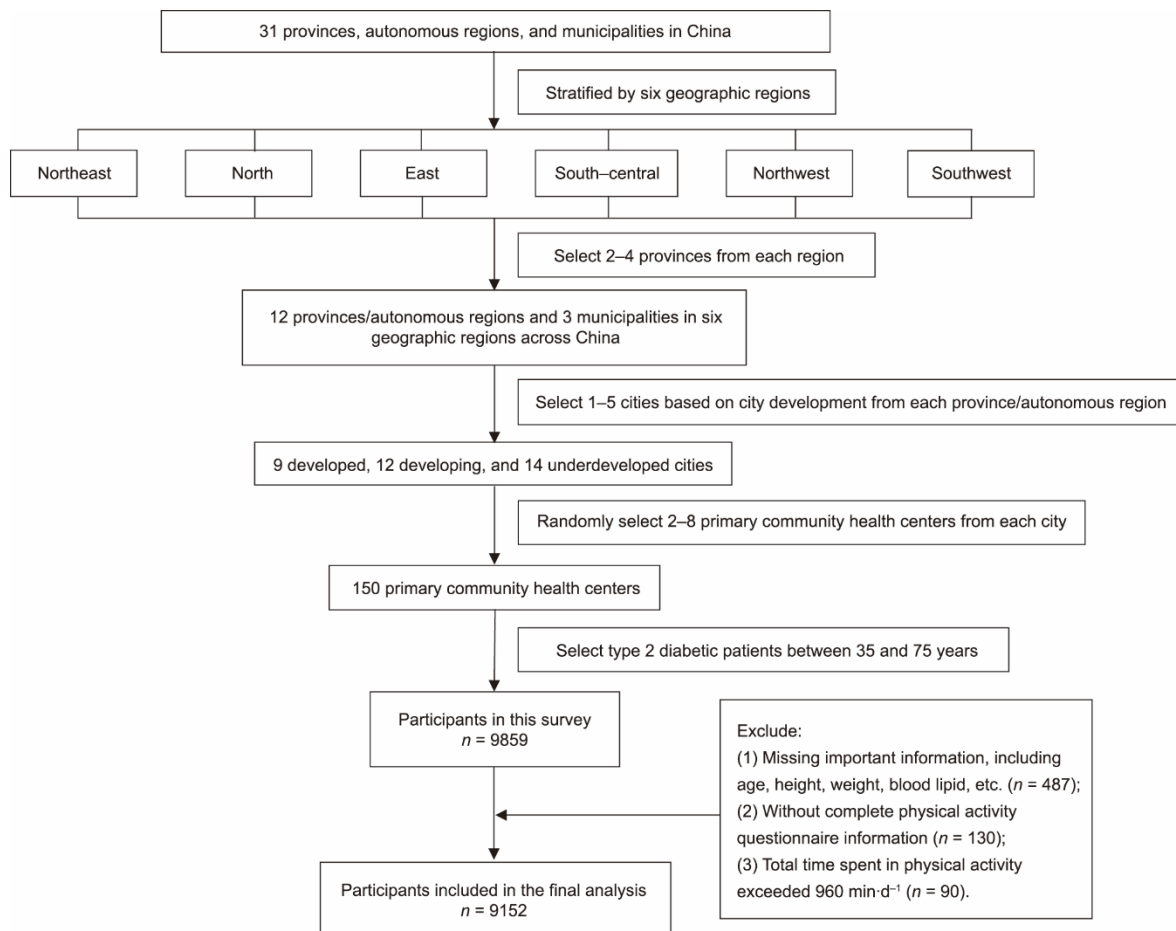


图1. 数据筛选流程图。



血压监测仪连续测量三次，每次测量间隔1 min，取BP平均值进行数据分析。

### 2.3. 身体活动与久坐行为的评估方式

每一份问卷都由经过培训的调查员通过面对面的访问来执行。使用国际体力活动量表（international physical activity questionnaire, IPAQ）对参与者的运动强度、持续时间和频率进行评估。IPAQ是一种自己对过去7天身体活动评估的问卷[20]；根据运动强度，将运动分为四种类型：坐立、步行、中等强度（如搬/举轻物、打乒乓球或跳交谊舞）和剧烈强度（如搬/举重物、跑步或游泳）。使用标准化的问卷来询问参与者的运动信息，以中等强度运动为例：“在过去的一周里，您有几天进行中等强度身体活动？在这几天里，您每天进行这些中等强度身体活动的时间平均为多久（只计算每次至少10 min）？”在本研究中，我们使用MVPA时间（min·周<sup>-1</sup>）和SED时间（h·d<sup>-1</sup>）作为暴露因素。

根据世界卫生组织2020年身体活动指南[21]，建议成年人，即使是慢性病患者和残疾患者，每周应进行至少150~300 min中等强度的有氧运动，或75~150 min剧烈强度的有氧运动，或150 min的中等强度和剧烈强度运动的组合运动，以获得实质性的健康益处。因此，根据WHO关于身体活动的建议指南，我们将身体活动水平按照每周MVPA时间分为低、中、高三组。低水平身体活动组为MVPA时间<150 min·周<sup>-1</sup>（未达到指南建议的最低MVPA时间）；中等水平身体活动组为MVPA时间在150~450 min·周<sup>-1</sup>（相当于1~2倍指南建议的最低MVPA时间）；高水平身体活动组为MVPA时间≥450 min·周<sup>-1</sup>（相当于三倍及以上指南建议的最低MVPA时间）。

久坐行为是指任何清醒的，以坐着或躺着时能量消耗为1.5 METs或更低为特征的行为[22]。SED时间同样使用IPAQ进行评估。我们按照参与者每日SED时间将久坐行为水平也分为低、中和高三组，低水平为<4 h·d<sup>-1</sup>，中等水平为4~8 h·d<sup>-1</sup>，高水平≥8 h·d<sup>-1</sup>。

### 2.4. 结局指标

本研究的主要结局指标是CVD，主要包括冠心病、非致命性卒中和非致命性心肌梗死三种。问卷记录了参与者的疾病史和医疗记录。参与者在问卷中自我报告有三种疾病中任何一种都被定义为有CVD风险。

次要结局指标是2型糖尿病患者的多因素控制状况，我们选择的指标是HbA1c、LDL-C、BP和BMI。根据中国2019年2型糖尿病医疗保健标准[5]，2型糖尿病综合控

制的目标包括：HbA1c < 7%；BP < 130/80 mmHg（1 mmHg = 133.3Pa）；LDL-C < 2.6 mmol·L<sup>-1</sup>（无动脉粥样硬化性心血管疾病）或< 1.8 mmol·L<sup>-1</sup>（有动脉粥样硬化性心血管疾病）；BMI < 24 kg·m<sup>-2</sup>。多因素控制率是多个危险因素达到控制目标的患者人数与总的研究人群的比率，然后乘以100%。用同样的方法计算单一因素的控制率。

### 2.5. 统计学分析

研究人群的特征以平均值±标准偏差、中位数（四分位间距）和频数（百分比）表示。对于组间比较，正态分布的连续型数值变量采用独立样本 $t$ 检验和单因素方差（ANOVA）分析，而非正态的连续型数值变量采用曼-惠特尼（Mann-Whitney） $U$ 检验或克鲁斯卡尔-沃利斯（Kruskal-Wallis）检验。卡方检验用于比较分类变量。Bonferroni方法用于校正多重比较中的 $P$ 值。用混合效应逻辑回归模型估计与MVPA时间和SED时间相关的CVD风险的优势比（odds ratio, OR）和95%置信区间（95% confidence interval, 95% CI），以CVD风险为因变量，MVPA时间和久坐时间为自变量，中国地理区域为随机效应（随机截距和恒定斜率）。为了检验降脂药物是否影响MVPA时间和久坐时间与CVD风险的关系，我们排除了接受降脂治疗的患者再次使用混合效应逻辑回归模型进行分析。为了说明性别和年龄（<65岁和≥65岁）的潜在影响，同样创建回归模型来比较不同性别和年龄组间的MVPA时间和SED时间对CVD风险的作用。使用混合效应逻辑回归模型评估MVPA时间和SED时间与四种危险因素控制状态的关系。基于常用的Benjamini-Hochberg方法，控制错误发现率（false discovery rate, FDR）来校正 $P$ 值，调整后的 $P$ 值用来检验MVPA时间和SED时间与次要结果（BP、BMI、LDL-C和HbA1c处于控制状态）的关系。

使用SPSS 25.0版（SPSS Inc., USA）进行统计分析。所有统计检验均为双侧检验，双侧 $P$ 值小于0.05被认为具有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 研究人群的基线特征

根据患者是否患有CVD，将人群分为CVD组和非CVD组，总人群和分组后人群的基本特征见表1。本研究人群年龄的平均±标准差为60.87岁±8.44岁，有44.5%为女性，有25.1%的患者自我报告有CVD疾病史。与未患

有CVD的参与者相比，患有CVD的参与者年龄更大，进行MVPA时间更少，糖尿病病程时间更长。有CVD疾病史的患者通常有更高的BMI、WC、收缩压（systolic blood pressure, SBP）、舒张压（diastolic blood pressure, DBP）和HbA1c水平，有较低的TC和LDL-C水平。CVD组患者的降脂药物使用百分比要高于非CVD组[33.9% versus (vs.) 18.1%,  $P < 0.001$ ]; 应该指出，血脂的变化可能与CVD患者的强化降脂治疗有关[2]。根据患者的身体活动水平及久坐时间进行分组，各组人群的社会人口学、人体测量学和临床特征见表2。大多数患者身体活动水平不达标，7.9%的患者每天SED时间超过8 h。与低水平身体活动组相比，高水平身体活动组人群的BMI、SBP和TGs均较低，高水平SED时间组患者的BMI和TGs水平均高于低水平SED时间组。降压药物、降脂药物和胰岛素的使用百分比在高水平身体活动组和低久坐时间组最低。高水平SED时间合并低水平MVPA时间组中超重/肥胖患者所占百分比更高（附录A中的表S1）。

### 3.2. 不同MVPA时间和SED时间分组下的多因素控制率

随着患者MVPA时间的增加，多因素控制率也随之增加[图2 (a)]。高水平MVPA时间组的BP和BMI控制率均高于低水平MVPA时间组（BP: 29.1% vs. 25.9%,  $P = 0.034$ ; BMI: 35.1% vs. 30.9%,  $P = 0.011$ ）。中等水平MVPA时间组的HbA1c的控制率高于低水平和高水平MVPA时间组。高水平身体活动组比中低水平身体活动组有更好的LDL-C控制率。高水平久坐行为组的BMI控制率最低[图2 (b)]。值得注意的是，只有3.1%的研究人群BP、BMI、HbA1c和LDL-C四项全部达到控制目标（图2）。

### 3.3. 身体活动水平和久坐行为对CVD风险的单独作用

混合效应逻辑回归分析显示了校正混杂因素后的

MVPA时间和久坐时间与CVD风险的关系（表3）。高水平的MVPA时间与CVD风险降低有关[OR (95% CI), 0.830 (0.704~0.978)]（模型2）。即使进一步校正久坐时间（模型3），高水平身体活动与CVD风险之间的相关性也没有实质性变化。非CVD组比CVD组参与者中高身体活动水平组人数占比更高（图S1）。在久坐行为方面，长时间的久坐行为与较高的CVD风险显著关联[OR (95% CI), 1.266 (1.047~1.530)]（模型2），重要的是，这种关联在校正MVPA时间后仍然显著（模型3）。总之，低水平的MVPA时间（ $< 150 \text{ min} \cdot \text{week}^{-1}$ ）和高水平的SED时间（ $\geq 815 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ）是心血管疾病患病的独立风险因素。

我们评估了不同性别和年龄组人群的MVPA时间、SED时间与CVD风险的关联（附录A中的表S2和表S3）。在男性组和 $< 65$ 岁年龄组，高水平MVPA时间与较低的CVD风险相关（ $P < 0.05$ ）。在男性组和老年人组发现SED时间与CVD风险呈正相关关系（ $P < 0.05$ ）。

### 3.4. 身体活动水平和久坐行为与多因素控制状况的关系

图3展示了MVPA时间、SED时间和多因素控制状况之间的关系。较高水平的身体活动对BMI和HbA1c的控制有积极作用。与低水平身体活动组相比，高水平身体活动更可能帮助患者达到BMI的目标水平[OR (95% CI), 1.260 (1.100~1.442)] [图3 (b)]。相比于每天坐立4 h以下的患者，每天坐立8 h以上患者的BMI更难以达到目标水平[OR (95% CI), 0.807 (0.678~0.960)] [图3 (b)]。

### 3.5. 身体活动水平和久坐行为联合分组对CVD风险的作用

表4展示了MVPA时间和SED时间与CVD风险的OR值，校正了潜在混杂因素。与参照组（MVPA时间 $\geq 450 \text{ min} \cdot \text{week}^{-1}$ 合并SED时间 $< 4 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ ）相比，CVD风险在低水平MVPA组更高：与SED时间 $< 4 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$ 相关的OR值

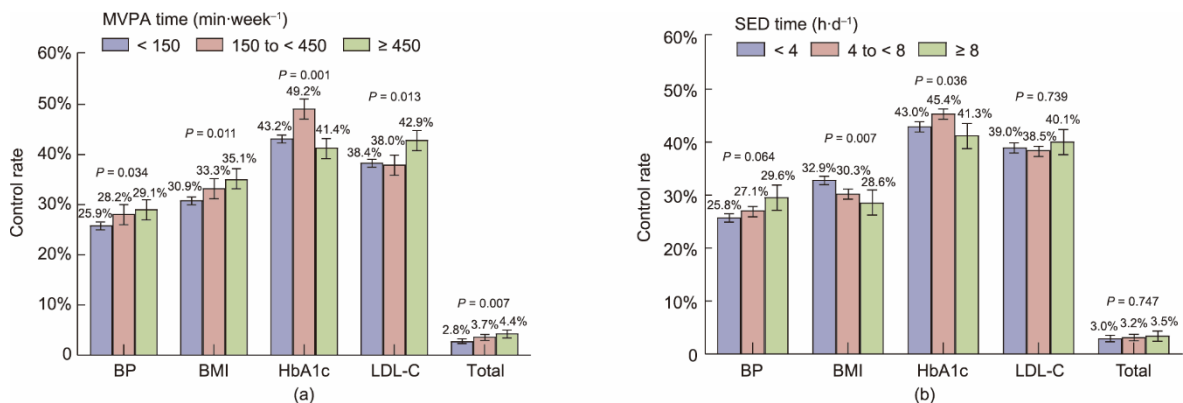


图2. 不同MVPA时间 (a) 和SED时间 (b) 分组下的多因素控制率。 $P$ 值是对MVPA时间或SED时间的三个分类进行卡方检验的结果。 $P$ 值小于0.05被认为具有统计显著性。

表1 非CVD人群和CVD人群的基线特征描述表

Characteristics	Overall	Non-CVD	CVD	<i>P</i> value
Case, (proportion)	9152 (100.0%)	6859 (74.9%)	2293 (25.1%)	—
Sociodemographic characteristics				
Age (year)	60.87 ± 8.44	59.87 ± 8.66	63.85 ± 6.95	< 0.001
Sex (male)	4075 (44.5%)	3072 (44.8%)	1003 (43.7%)	0.383
Education attainment <sup>a</sup>	3510 (38.4%)	2659 (38.8%)	851 (37.1%)	0.159
Per capita monthly income (1000 CNY)	2.50 (1.25–4.00)	2.50 (1.50–4.00)	2.50 (1.00–3.50)	< 0.001
Family history of diabetes	4333 (47.3%)	3243 (47.3%)	1090 (47.5%)	0.832
Median duration of diabetes (year)	6 (3–12)	6 (3–11)	9 (4–14)	< 0.001
Geographical regions				
Northeast	1476 (16.1%)	929 (13.5%)	547 (23.9%)	< 0.001
North	942 (10.3%)	711 (10.4%)	231 (10.1%)	
East	2989 (32.7%)	2368 (34.5%)	621 (27.1%)	
Southwest	1153 (12.6%)	1020 (14.9%)	133 (5.8%)	
Northwest	1325 (14.5%)	903 (13.2%)	422 (18.4%)	
South-central	1267 (13.8%)	928 (13.5%)	339 (14.8%)	
Lifestyle risk factors				
Smoker (current and former)	1687 (18.4%)	1303 (19.0%)	384 (16.7%)	0.016
Current alcohol drinker	1830 (20.0%)	1426 (20.8%)	404 (17.6%)	0.001
MVPA time (min·week <sup>-1</sup> )				< 0.001
< 150	6991 (76.4%)	5152 (75.1%)	1839 (80.2%)	
150 to < 450	1043 (11.4%)	810 (11.8%)	233 (10.2%)	
≥ 450	1118 (12.2%)	897 (13.1%)	221 (9.6%)	
SED time (h·d <sup>-1</sup> )				0.603
< 4	5317 (58.1%)	3998 (58.3%)	1319 (57.5%)	
4 to < 8	3111 (34.0%)	2329 (34.0%)	782 (34.1%)	
≥ 8	724 (7.9%)	532 (7.8%)	192 (8.4%)	
Metabolic risk factors				
BMI (kg·m <sup>-2</sup> )	25.79 ± 3.52	25.60 ± 3.47	26.34 ± 3.59	< 0.001
WC (cm)	89.41 ± 9.94	88.91 ± 9.87	90.92 ± 10.01	< 0.001
SBP (mmHg)	135.41 ± 17.74	134.35 ± 17.69	138.59 ± 17.53	< 0.001
DBP (mmHg)	81.80 ± 9.99	81.60 ± 9.88	82.37 ± 10.30	0.018
TC (mmol·L <sup>-1</sup> )	5.20 ± 1.21	5.27 ± 1.18	4.98 ± 1.28	< 0.001
LDL (mmol·L <sup>-1</sup> )	2.68 ± 0.80	2.73 ± 0.78	2.54 ± 0.83	< 0.001
HDL (mmol·L <sup>-1</sup> )	1.46 ± 0.34	1.47 ± 0.34	1.41 ± 0.33	< 0.001
TGs (mmol·L <sup>-1</sup> )	1.55 (1.11–2.26)	1.54 (1.10–2.27)	1.57 (1.14–2.24)	0.335
HbA1c	7.2% (6.4%–8.4%)	7.20% (6.4%–8.4%)	7.3% (6.4%–8.5%)	0.016
Drug use				
Antihypertensive agents	3299 (36.0%)	2084 (30.4%)	1215 (53.0%)	< 0.001
Lipid-lowering drugs	2019 (22.1%)	1242 (18.1%)	777 (33.9%)	< 0.001
Insulin <sup>b</sup>	2584 (28.7%)	1744 (26.0%)	840 (36.7%)	< 0.001

Values are presented as the means ± SDs, proportions, or medians (IQR). *P* values are for the *t* test or  $\chi^2$  test comparing the two groups.

SBP: systolic BP; DBP: diastolic BP.

<sup>a</sup> Education attainment refers to high school or above.

<sup>b</sup> Missing the information of insulin use, *n* = 164.

为 1.270 (95% CI 1.040~1.553), 与 SED 时间 ≥ 8 h·d<sup>-1</sup> 相关的 OR 值为 1.499 (95% CI 1.149~1.955)。在中等水平 MVPA 时间组, SED 时间 ≥ 8 h·d<sup>-1</sup> 的患者比参照组患者的心血

管疾病风险更高 [OR (95% CI), 2.250 (1.215~4.166)]。然而, 在高水平 MVPA 组中, 没有发现 SED 时间与 CVD 风险之间存在显著相关性。

表2 依据MVPA时间和SED时间分组的人群社会人口学、人体测量学和临床特征

Characteristics	MVPA time (min·week <sup>-1</sup> )			P value	SED time (h·d <sup>-1</sup> )			P value
	< 150	150 to < 450	≥ 450		< 4	4 to < 8	≥ 8	
Case, (proportion)	6991 (76.4%)	1043 (11.4%)	1118 (12.2%)	—	5317 (58.1%)	3111 (34.0%)	724 (7.9%)	—
Sociodemographic characteristics								
Age (year)	61.20 ± 8.36	59.89 ± 8.89	59.71 ± 8.32	< 0.001	61.31 ± 8.16	60.70 ± 8.59	58.32 ± 9.30	< 0.001
Sex (male)	2975 (42.6%)	519 (49.8%)	581 (52.0%)	< 0.001	2223 (41.8%)	1465 (47.1%)	387 (53.5%)	< 0.001
Education attainments	2669 (38.2%)	482 (46.2%)	359 (32.1%)	< 0.001	1784 (33.6%)	1367 (43.9%)	359 (49.6%)	< 0.001
Per capita monthly income (1000 CNY)	2.50 (1.40–4.00)	3.00 (1.60–4.00)	2.00 (1.00–3.35)	< 0.001	2.12 (1.00–3.50)	3.00 (1.60–4.00)	3.00 (2.00–4.50)	< 0.001
Median duration of diabetes (year)	7 (3–12)	6 (3–11)	6 (2.75–11)	< 0.001	6 (3–12)	7 (3–12)	6 (3–12)	0.373
Metabolic risk factors								
BMI (kg·m <sup>-2</sup> )	25.89 ± 3.55	25.59 ± 3.52	25.35 ± 3.23	< 0.001	25.66 ± 3.46	25.92 ± 3.55	26.16 ± 3.72	< 0.001
SBP (mmHg)	135.87 ± 17.82	133.88 ± 17.34	133.98 ± 17.50	< 0.001	136.06 ± 17.88	134.93 ± 17.59	132.70 ± 17.09	< 0.001
DBP (mmHg)	81.80 ± 9.99	81.66 ± 9.97	81.88 ± 10.04	0.873	81.85 ± 10.01	81.71 ± 10.05	81.74 ± 9.67	0.795
TC (mmol·L <sup>-1</sup> )	5.20 ± 1.23	5.18 ± 1.16	5.19 ± 1.16	0.820	5.21 ± 1.19	5.20 ± 1.24	5.14 ± 1.28	0.311
LDL-C (mmol·L <sup>-1</sup> )	2.69 ± 0.81	2.68 ± 0.74	2.64 ± 0.79	0.262	2.68 ± 0.78	2.69 ± 0.81	2.67 ± 0.84	0.851
HDL-C (mmol·L <sup>-1</sup> )	1.45 ± 0.34	1.45 ± 0.34	1.48 ± 0.34	0.059	1.47 ± 0.33	1.45 ± 0.34	1.40 ± 0.32	< 0.001
TGs (mmol·L <sup>-1</sup> )	1.58 (1.14–2.31)	1.48 (1.06–2.12)	1.43 (1.04–2.16)	< 0.001	1.07 (1.50–2.21)	1.16 (1.62–2.34)	1.69 (1.23–2.37)	< 0.001
HbA1c	7.2% (6.4%–8.5%)	7.0% (6.2%–8.2%)	7.3% (6.5%–8.5%)	< 0.001	7.20% (6.40%–8.40%)	7.10% (6.40%–8.40%)	7.30% (6.40%–8.58%)	0.143
Drug user								
Antihypertensive agents	2580 (36.9%)	396 (38.0%)	323 (28.9%)	< 0.001	1831 (34.4%)	1211 (38.9%)	257 (35.5%)	< 0.001
Lipid-lowering drugs	1548 (22.1%)	254 (24.4%)	217 (19.4%)	0.020	1111 (20.9%)	741 (23.8%)	167 (23.1%)	0.006
Insulin <sup>a</sup>	2035 (29.6%)	272 (26.8%)	277 (25.2%)	0.004	1440 (27.6%)	914 (29.9%)	230 (32.4%)	0.006
Self-reported history of CVD	1839 (26.3%)	233 (22.3%)	221 (19.8%)	< 0.001	1319 (24.8%)	782 (25.1%)	192 (26.5%)	0.603

P values were calculated by ANOVA or the  $\chi^2$  test for each MVPA time or SED time group.

<sup>a</sup>Missing the information of insulin use,  $n = 164$ .

表3 MVPA时间和SED时间对CVD风险的单独作用

Lifestyle risk factors	Case, (proportion)	Model 1		Model 2		Model 3	
		OR (95% CI)	P value	OR (95% CI)	P value	OR (95% CI)	P value
MVPA time (min·week <sup>-1</sup> )							
< 150	1839 (26.3%)	1.000 [reference]	—	1.000 [reference]	—	1.000 [reference]	—
150 to < 450	233 (22.3%)	0.914 (0.778–1.075)	0.277	0.939 (0.797–1.105)	0.446	0.943 (0.801–1.110)	0.482
≥ 450	221 (19.8%)	0.824 (0.700–0.971)	0.021	0.830 (0.704–0.978)	0.026	0.836 (0.708–0.986)	0.033
SED time (h·d <sup>-1</sup> )							
< 4	1319 (24.8%)	1.000 [reference]	—	1.000 [reference]	—	1.000 [reference]	—
4 to < 8	782 (25.1%)	1.005 (0.902–1.119)	0.932	1.010 (0.907–1.126)	0.851	1.001 (0.898–1.116)	0.989
≥ 8	192 (26.5%)	1.275 (1.057–1.538)	0.011	1.266 (1.047–1.530)	0.015	1.242 (1.027–1.502)	0.026

Estimated using mixed-effect logistic regression with China's geographical region characteristics as the random effect (random intercept and constant slope).

Model 1: Adjusted for age, sex, and BMI.

Model 2: Model 1 + diabetes duration, per capita monthly income, smoking status (current or former smoker vs. never smoker), current drinking (yes vs. no), and education attainment (below high school vs. high school or above).

Model 3: Model 2 + SED time (when examining MVPA time) or MVPA time (when examining SED time).

Reference group refers to group with MVPA time ≥ 450 min·week<sup>-1</sup> and SED time < 4 h·d<sup>-1</sup>.



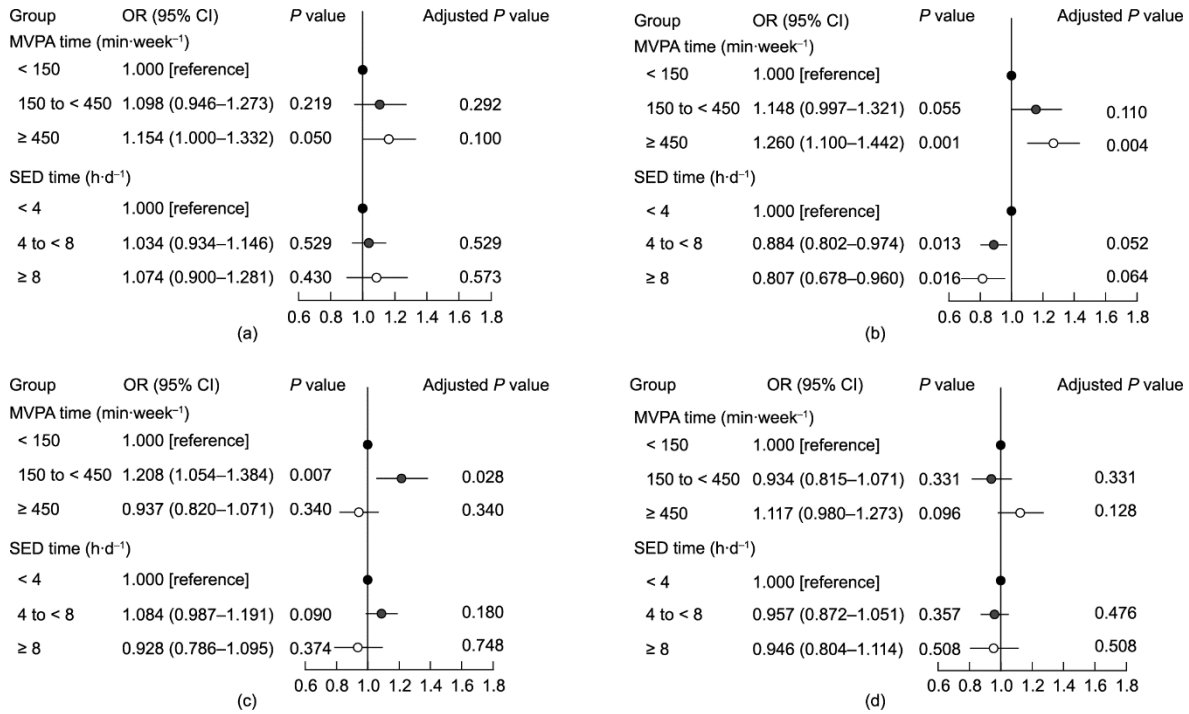


图3. MVPA时间、SED时间与多因素控制状况的关系。多因素控制状态包括：(a) 血压控制；(b) 体重指数控制；(c) 糖化血红蛋白控制；(d) 低密度脂蛋白胆固醇控制。使用混合效应logistic回归进行估计，其中中国地理区域特征作为随机效应（随机截距和常数斜率）。调整了年龄、性别、糖尿病病程、人均月收入、吸烟情况（现在或曾经吸烟者 vs. 从未吸烟者）、目前是否饮酒（是与否）以及教育程度（高中以下 vs. 高中及以上）。

表4 MVPA时间和SED时间联合分组对CVD风险的作用

SED time (h·d <sup>-1</sup> )	MVPA time (min·week <sup>-1</sup> )								
	≥ 450			150 to < 450			< 150		
	Case, (proportion)	OR (95% CI)	P value	Case, (proportion)	OR (95% CI)	P value	Case, (proportion)	OR (95% CI)	P value
< 4	149 (18.9%)	1.000 [reference]	—	138 (21.3%)	1.089 (0.830–1.427)	0.539	1032 (26.6%)	1.270 (1.040–1.553)	0.020
4 to < 8	66 (22.4%)	1.202 (0.854–1.691)	0.292	77 (22.8%)	1.266 (0.914–1.752)	0.156	639 (25.8%)	1.220 (0.989–1.505)	0.064
≥ 8	6 (18.2%)	1.076 (0.423–2.737)	0.877	18 (30.5%)	2.250 (1.215–4.166)	0.010	168 (26.6%)	1.499 (1.149–1.955)	0.003

Reference group is defined as participants with a high MVPA time ( $\geq 450$  min·week<sup>-1</sup>) in combination with a low SED time ( $< 4$  h·d<sup>-1</sup>).

Estimated using mixed-effect logistic regression with China's geographical region characteristics as the random effect (random intercept and constant slope). Adjusted for age, sex, diabetes duration, per capita monthly income, smoking status (current or former smoker vs. never smoker), current drinking (yes vs. no), education attainment (below high school vs. high school or above), and BMI.

### 3.6. 敏感性分析

敏感性分析进一步证实了研究结果。我们排除了2109名使用降脂药的患者（23.04%的分析样本），发现上述关联趋势没有显著改变（附录A中的表S4和表S5）。高水平MVPA时间与CVD风险降低相关[OR (95% CI), 0.825 (0.678~1.003)],  $P$ 值 (0.053) 位于边界线（表S4中的模型2）。高水平SED时间与较高的CVD风险相关[OR (95% CI), 1.272 (1.013~1.597)], 独立于MVPA时间（表S4中的模型3）。在分析MVPA时间和SED时间对CVD风险的联合作用时，与参照组（MVPA时间 $\geq 450$  min·周<sup>-1</sup>合并久坐时间 $< 4$  h·d<sup>-1</sup>）相比，久坐时间 $\geq 8$  h·d<sup>-1</sup>合并中低水平MVPA时间的患者CVD风险较高：中等水平MVPA时间

组的OR (95% CI)为2.106 (1.043~4.255)，低水平MVPA时间组的OR (95% CI)为1.437 (1.052~1.963)（表S5）。为了检查不同区域的截距和（或）斜率的潜在异质性，我们进行了敏感性分析，将地理区域视为固定效应，以估计CVD风险的OR (95% CI)（附录A中的表S6和表S7）。敏感性分析结果稳健。

## 4. 讨论

在这项9152名中国T2DM患者的多中心横断面研究中，约76.4%的患者未达到WHO建议的最低身体活动指南标准。本研究的重点发现是：无论SED时间长短，每



周 $\geq 450$  min的MVPA与T2DM患者的CVD风险的降低显著相关。同时,在高水平身体活动组的患者中,并没有观察到与SED时间较长相关的CVD风险的增加。

我们的研究结果表明,在校正了潜在的混杂因素后,MVPA时间与CVD的患病风险呈负相关,且这种关联与久坐时间无关。这与之前的研究结果一致,那些参与运动超过最低推荐运动量的人可以获得额外的健康益处和更高水平的身体健康[23–24]。高水平的身体活动与主要CVD风险的降低显著相关[10]。身体活动对糖尿病患者有积极影响,其原因可能与降低葡萄糖、改善胰岛素抵抗及强化对CVD风险因素的控制有关[16,25–26]。MVPA时间与CVD风险的关联没有在女性和65岁及以上的老年人中发现,这种现象可能与未统计其他锻炼形式(如步行、种植花木和家务工作)有关[27]。应鼓励T2DM患者在他们身体能够耐受的情况下,每周进行450 min以上的MVPA以获得显著的身体益处。由于疾病或残疾而无法进行剧烈运动的老年人应进行多种形式的身体活动,以加强机体功能和预防跌倒[21,28]。例如,在有跌倒风险的老年人中,进行平衡锻炼(如太极拳和瑜伽)可以改善或维持身体机能,减少跌倒[29]。在开始一项新的锻炼计划之前,选择合适的体育活动类型并与医生讨论也是很重要的[30]。

我们发现在高水平身体运动组未观察到久坐时间与CVD风险的正相关关系,这与先前研究的结果一致[31]。久坐行为显著影响心血管健康和CVD相关的风险因素[32],如BMI、BP增加,血脂增加,及血管结构和功能改变(如硬度和内膜-中层厚度增加)。长时间久坐的人群通常更容易肥胖[33],而肥胖导致炎症级联反应,以多种方式促进动脉粥样硬化疾病的发生[34]。肥胖可能介导久坐时间与CVD风险之间的关联。有证据表明,高强度的身体活动对T2DM患者的减肥和抗炎有积极作用[26,35]。这些潜在的关联可以解释我们的观察结果。由于有CVD病史的患者通常接受强化降脂治疗[26],为了解决这一问题,我们排除使用降脂药物的患者后进行了敏感性分析,发现主要结果并没有实质性改变。

如本研究所示,T2DM患者应减少每日SED时间。如果长时间的日常久坐不可避免(如学习、工作或交通),强烈建议进行额外的高强度身体活动。对于老年人来说,任何身体活动都比久坐行为有利[28]。此外,可用身体活动来打破长时间的久坐,从而减弱或抵消久坐行为的负面影响[36–37]。

基于有全国代表性的T2DM人群,我们的研究还全面描述了不同MVPA时间和久坐时间分组下的多因素控制情况。随着MVPA时间的增加,多因素控制率呈现上升

趋势。增加身体活动在改善T2DM患者血糖控制、血脂和血压方面有重要作用[15]。在本研究中,我们明显地观察到MVPA时间水平较高的患者更有可能达到BMI目标水平。身体活动和久坐行为对CVD的影响可能由这些中间健康指标介导。改善这些危险因素的控制状况可能有助于改善心血管健康。

尽管一些组织已经发布了对人体健康产生积极影响所需的最低身体活动水平的指南建议[15,21,23,25],但是,那些有动脉粥样硬化性心血管疾病风险的T2DM患者仍被指出身体活动水平较低并且心肺功能欠佳[38]。我们发现,长时间久坐和运动水平低的患者更容易超重或肥胖,这提示我们需对这一人群多加关注,并通过提供有效的行为干预措施,将他们从高风险人群中转移出去。为了从根本上改变糖尿病患者的不良生活习惯,初级医疗机构的医生应该努力提供合理的运动指导,以及积极的宣传教育。

本研究的一个重要优势是样本具有全国代表性,且样本量大。参与者来自于150个初级社区卫生服务中心,覆盖了中国6个地理区域的12个省(自治区)和3个直辖市。然而,我们的研究也存在局限性。首先,这是一项横断面研究,主要结局指标为自我报告的疾病史,因此不能够得出因果关系的结论。我们在接下来的随访工作中,将努力获取更多关于身体活动和久坐时间对T2DM患者心血管疾病发生和死亡风险作用的数据。其次,有关身体活动和久坐行为的信息是通过问卷调查的方式获取,尽管问卷基于国际体力活动量表,且该量表的有效性和可靠性已得到证实[20],但自我报告的信息仍会受到回忆偏差的影响,未来进行使用客观测量身体活动及SED时间的研究是很有必要的。最后,饮食习惯是T2DM患者生活方式管理的重要组成部分[39],工作相关的身体活动也与CVD风险相关[40]。但由于缺乏这部分信息,我们在进行风险比的评估时未对饮食习惯和职业情况进行校正。

## 5. 结论

综上所述,高水平的身体活动(即 $\geq 450$  min $\cdot$ 周 $^{-1}$ 的MVPA)与CVD风险降低有关,且独立于SED时间。这项研究的结果为如何完善T2DM患者的运动处方提供了一个更新的视角。例如,应鼓励糖尿病患者每周进行450 min以上的MVPA,以减少药物使用百分比,提高多因素控制率,从而进一步延缓CVD的发生和进展,减轻疾病负担。对于老年人来说,任何体育活动都比久坐有利,减少SED时间对他们的身体健康至关重要。在未来,需要有研究来比较不同类型的身体活动干预模式,以便糖

尿病患者选择最佳的运动模式。

## 致谢

本研究获得国家重点研发计划(2017YFC1309800)、山东第一医科大学“学术提升计划”(2019LJ007)和山东省重点研发计划(2017CXGC1214)的支持。我们非常感谢所有研究人员、工作人员和参与者对本研究的宝贵贡献。

## 作者贡献

武亚飞、秦贵军、王桂侠、刘礼斌和陈兵对本研究的内容及传递的观念做出了同等贡献。武亚飞、袁中尚、高聆和赵家军共同构思并设计了研究方案。管庆波、侯旭、徐潮、张海清、张栩、李秋、宋勇峰、景斐、马世瞻、邵珊珊、赵萌、郭庆玲、童南伟、赵红燕、谢晓敏、刘超、单忠艳、成志锋、余学峰、陈述林、杨涛、王颜刚、李冬梅和闫朝丽收集了本研究的相关数据。武亚飞、袁中尚、高聆、宋勇峰和赵家军对收集的数据进行了分析并做出解释。武亚飞、秦贵军、王桂侠、刘礼斌和陈兵参与了本文的起草工作。郭立新、姬秋和王文娟和赵家军对手稿进行修订。所有作者最终同意了提交和发表的版本。

## Compliance with ethics guidelines

Yafei Wu, Guijun Qin, Guixia Wang, Libin Liu, Bing Chen, Qingbo Guan, Zhongshang Yuan, Xu Hou, Ling Gao, Chao Xu, Haiqing Zhang, Xu Zhang, Qiu Li, Yongfeng Song, Fei Jing, Shizhan Ma, Shan-shan Shao, Meng Zhao, Qingling Guo, Nanwei Tong, Hongyan Zhao, Xiaomin Xie, Chao Liu, Zhongyan Shan, Zhifeng Cheng, Xufeng Yu, Shulin Chen, Tao Yang, Yangang Wang, Dongmei Li, Zhaoli Yan, Lixin Guo, Qiuhe Ji, Wenjuan Wang, and Jiajun Zhao declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

## Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.05.013>.

## References

- [1] Li Y, Teng D, Shi X, Qin G, Qin Y, Quan H, et al. Prevalence of diabetes recorded in mainland China using 2018 diagnostic criteria from the American Diabetes Association: national cross sectional study. *BMJ* 2020;369:m997.
- [2] Cho NH, Shaw JE, Karuranga S, Huang Y, da Rocha Fernandes JD, Ohlrogge AW, et al. IDF Diabetes Atlas: global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. *Diabetes Res Clin Pract* 2018;138:271–81.
- [3] IDF. IDF Diabetes Atlas. 10th edition [Internet]. Brussels: IDF; 2021 Dec 6 [cited 2021 Dec 6]. Available from: <https://diabetesatlas.org/en/resources/>.
- [4] Einarson TR, Acs A, Ludwig C, Panton UH. Prevalence of cardiovascular disease in type 2 diabetes: a systematic literature review of scientific evidence from across the world in 2007–2017. *Cardiovasc Diabetol* 2018;17(1):83.
- [5] Jia W, Weng J, Zhu D, Ji L, Lu J, Zhou Z, et al. CDS. Standards of medical care for type 2 diabetes in China 2019. *Diabetes Metab Res Rev* 2019;35(6):e3158.
- [6] Llaveró-Valero M, Escalada San Martín J, Martínez-González MA, Álvarez-Mon MA, Álvarez-Alvarez I, Martínez-González J, et al. Promoting exercise, reducing sedentarism or both for diabetes prevention: the “Seguimiento Universidad De Navarra” (SUN) cohort. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2021;31(2):411–9.
- [7] Patnode CD, Evans CV, Senger CA, Redmond N, Lin JS. Behavioral counseling to promote a healthful diet and physical activity for cardiovascular disease prevention in adults without known cardiovascular disease risk factors: updated evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA* 2017;318(2):175–93.
- [8] Boulé NG, Kenny GP, Haddad E, Wells GA, Sigal RJ. Meta-analysis of the effect of structured exercise training on cardiorespiratory fitness in type 2 diabetes mellitus. *Diabetologia* 2003;46(8):1071–81.
- [9] Balducci S, D’Errico V, Haxhi J, Sacchetti M, Orlando G, Cardelli P, et al. Level and correlates of physical activity and sedentary behavior in patients with type 2 diabetes: a cross-sectional analysis of the Italian Diabetes and Exercise Study 2. *PLoS One* 2017;12(3):e0173337.
- [10] Lear SA, Hu W, Rangarajan S, Gasevic D, Leong D, Iqbal R, et al. The effect of physical activity on mortality and cardiovascular disease in 130 000 people from 17 high-income, middle-income, and low-income countries: the PURE study. *Lancet* 2017;390(10113):2643–54.
- [11] Biswas A, Oh PI, Faulkner GE, Bajaj RR, Silver MA, Mitchell MS, et al. Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med* 2015;162(2):123–32.
- [12] Lamb MJE, Westgate K, Brage S, Ekelund U, Long GH, Griffin SJ, et al. Prospective associations between sedentary time, physical activity, fitness and cardiometabolic risk factors in people with type 2 diabetes. *Diabetologia* 2016;59(1):110–20.
- [13] Rossen J, Von Rosen P, Johansson UB, Brismar K, Hagströmer M. Associations of physical activity and sedentary behavior with cardiometabolic biomarkers in prediabetes and type 2 diabetes: a compositional data analysis. *Phys Sportsmed* 2020;48(2):222–8.
- [14] Rossen J, Buman MP, Johansson UB, Yngve A, Ainsworth B, Brismar K, et al. Reallocating bouted sedentary time to non-bouted sedentary time, light activity and moderate-vigorous physical activity in adults with prediabetes and type 2 diabetes. *PLoS ONE* 2017;12(7):e0181053.
- [15] Joseph JJ, Deedwania P, Acharya T, Aguilard D, Bhatt DL, Chyun DA, et al. Comprehensive management of cardiovascular risk factors for adults with type 2 diabetes: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2022;145(9):e722–59.
- [16] Yao WY, Han MG, De Vito G, Fang H, Xia Q, Chen Y, et al. Physical activity and glycemic control status in Chinese patients with type 2 diabetes: a secondary analysis of a randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(8):4292.
- [17] Wang Y, Guan Q, Hou X, Zhang X, Zhang H, Xu C, et al. Multifactorial Intervention on Type 2 Diabetes (MIDIab) study: a multicenter, open-label, randomized, parallel controlled, community trial. *J Diabetes* 2020;12(11):862–4.
- [18] Alberti KGMM, Zimmet PZ. Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications. Part 1: diagnosis and classification of diabetes mellitus provisional report of a WHO consultation. *Diabet Med* 1998;15(7):539–53.
- [19] Fan M, Lyu J, He P. Chinese guidelines for data processing and analysis concerning the International Physical Activity Questionnaire. *Chin J Epidemiol* 2014;35(8):961–4. Chinese.
- [20] Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE,

- et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(8):1381–95.
- [21] Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med* 2020;54(24):1451–62.
- [22] Bames J, Behrens TK, Benden ME, Biddle S, Bond D, Brassard P, et al. Letter to the editor: standardized use of the terms “sedentary” and “sedentary behaviours”. *Appl Physiol Nutr Metab* 2012;37(3):540–2.
- [23] Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39(8):1423–34.
- [24] Sattelmair J, Pertman J, Ding EL, Kohl 3rd HW, Haskell W, Lee IM. Dose response between physical activity and risk of coronary heart disease: a metaanalysis. *Circulation* 2011;124(7):789–95.
- [25] Colberg SR, Albright AL, Blissmer BJ, Braun B, Chasan-Taber L, Fernhall B, et al. Exercise and type 2 diabetes: American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. Exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42(12):2282–303.
- [26] Buse JB, Ginsberg HN, Bakris GL, Clark NG, Costa F, Eckel R, et al. Primary prevention of cardiovascular diseases in people with diabetes mellitus: a scientific statement from the American Heart Association and the American Diabetes Association. *Circulation* 2007;115(1):114–26.
- [27] Hamasaki H. Daily physical activity and type 2 diabetes: a review. *World J Diabetes* 2016;7(12):243–51.
- [28] Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, Minson CT, Nigg CR, Salem GJ, et al.; American College of Sports Medicine Position Stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(7):1510–30.
- [29] Gillespie LD, Robertson MC, Gillespie WJ, Sherrington C, Gates S, Clemson LM, et al. Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev* 2012(9):CD007146.
- [30] Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, Riddell MC, Dunstan DW, Dempsey PC, et al. Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care* 2016;39(11):2065–79.
- [31] Ekelund U, Brown WJ, Steene-Johannessen J, Fagerland MW, Owen N, Powell KE, et al. Do the associations of sedentary behaviour with cardiovascular disease mortality and cancer mortality differ by physical activity level? A systematic review and harmonised meta-analysis of data from 850 060 participants. *Br J Sports Med* 2019;53(14):886–94.
- [32] Carter S, Hartman Y, Holder S, Thijssen DH, Hopkins ND. Sedentary behavior and cardiovascular disease risk: mediating mechanisms. *Exerc Sport Sci Rev* 2017;45(2):80–6.
- [33] Paz-Krumdiek M, Rodriguez-Vélez SG, Mayta-Tristán P, Bernabe-Ortiz A. Association between sitting time and obesity: a population-based study in Peru. *Nutr Diet* 2020;77(2):189–95.
- [34] Kachur S, Lavie CJ, de Schutter A, Milani RV, Ventura HO. Obesity and cardiovascular diseases. *Minerva Med* 2017;108(3):212–28.
- [35] Durrer C, Francois M, Neudorf H, Little JP. Acute high-intensity interval exercise reduces human monocyte Toll-like receptor 2 expression in type 2 diabetes. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2017;312(4):R529–38.
- [36] Healy GN, Dunstan DW, Salmon J, Cerin E, Shaw JE, Zimmet PZ, et al. Breaks in sedentary time: beneficial associations with metabolic risk. *Diabetes Care* 2008;31(4):661–6.
- [37] Benatti FB, Ried-Larsen M. The effects of breaking up prolonged sitting time: a review of experimental studies. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47(10):2053–61.
- [38] Jarvie JL, Pandey A, Ayers CR, McGavock JM, Sénéchal M, Berry JD, et al. Aerobic fitness and adherence to guideline-recommended minimum physical activity among ambulatory patients with type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Care* 2019;42(7):1333–9.
- [39] Archundia Herrera MC, Subhan FB, Chan CB. Dietary patterns and cardiovascular disease risk in people with type 2 diabetes. *Curr Obes Rep* 2017; 6(4):405–13.
- [40] Holtermann A, Schnohr P, Nordestgaard BG, Marott JL. The physical activity paradox in cardiovascular disease and all-cause mortality: the contemporary Copenhagen General Population Study with 104 046 adults. *Eur Heart J* 2021; 42(15):1499–511.