城市经济水平对使用开源人工胰腺系统的1型糖尿病患者血糖控制的影响

王浩[1]，汤婕[1]，张文皓[2]，王沁[2]，李先铭[2]，张弘强[2]，丁宇[2]，骆斯慧[2]，郑雪瑛[1,2]

[1. 蚌埠医科大学研究生院，蚌埠 233030；
2. 中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)内分泌科，合肥 230001]

[摘 要] 目的：开源人工胰腺系统(do-it-yourself artificial pancreas system，DIYAPS)已逐渐应用于1型糖尿病(type 1 diabetes mellitus，T1DM)的血糖管理，但其血糖控制效果在不同社会经济背景人群中的差异尚不明确。本研究旨在探讨中国不同城市经济水平对使用DIYAPS的T1DM患者血糖控制的影响。**方法：**本研究为基于真实世界的研究，于2019年9月至2024年2月通过糖尿病患者线上社区招募T1DM患者，样本覆盖中国26个省份的82个市区，所有参与者均使用了AndroidAPS(安卓版DIYAPS)。收集参与者的人口学资料、体格检查、实验室检查指标和持续血糖监测(continuous glucose monitoring，CGM)数据。将新一线、一线城市定义为发达城市组，二线、三线城市定义为发展中城市组。比较2组不同时段的血糖水平。采用单因素及多因素Logistic回归模型分析T1DM患者低血糖指数(low blood glucose index，LBGI)与城市经济水平的相关性。**结果：**共纳入124例T1DM患者，其中发达城市56例(45.2%)，发展中城市68例(54.8%)；男性52例(41.9%)，女性72例(58.1%)；年龄为22.3(9.3，32.5)岁，病程为0.8(0，8.8)年。2组间全天葡萄糖在目标范围内时间(time in range，TIR)[葡萄糖水平为3.9~7.8 mmol/L时间所占的百分比，TIR(7.8)]的差异无统计学意义(P>0.05)；发达城市组全天LBGI显著低于发展中城市组[1.1(0.6，1.5) vs 1.5(0.9，2.4)，P<0.05]，而葡萄糖高于目标范围时间(time above range，TAR)[葡萄糖水平>7.8 mmol/L时间所占的百分比，TAR(7.8)]显著高于发展中城市组[36.3%(28.7%，49.2%) vs 30.9%(19.2%，40.8%)，P<0.05]。多因素Logistic回归分析显示，在校正年龄、性别、体重指数(body mass index，BMI)及家庭人均年收入后，城市经济水平仍是患者发生低血糖风险的独立相关因素(OR=0.43，95% CI 0.20~0.91，P=0.028)。**结论：**城市经济水平对使用DIYAPS的T1DM患者的血糖控制具有重要影响。较高的城市经济水平与较低的T1DM患者低血糖风险相关。

[关键词] 开源人工胰腺系统；1型糖尿病；持续血糖监测；城市经济水平；血糖控制

Impact of urban economic level on glycemic control in patients with type 1 diabetes mellitus using do-it-yourself artificial pancreas systems

WANG Hao[1], TANG Jie[1], ZHANG Wenhao[2], WANG Qin[2], LI Xianming[2], ZHANG Hongqiang[2], DING Yu[2], LUO Sihui[2], ZHENG Xueying[1,2]

收稿日期(Date of reception)：2025-05-23

第一作者(First author)：王浩，Email: 1026013676@qq.com, ORCID: 0009-0003-1406-8938

通信作者(Corresponding author)：郑雪瑛，研究员，Email: lxyzheng@ustc.edu.cn, ORCID: 0000-0001-8395-9476

基金项目(Foundation item)：四大慢病国家科技重大专项(2023ZD0509100)；中国科学院战略性先导科技专项(CX9100000003)。This work supported by the Four Major Noncommunicable Chronic Diseases-National Science and Technology Major Project (2023ZD0509100) and the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (CX9100000003), China.

开放获取(Open access)：本文遵循知识共享许可协议，允许第三方用户按照署名-非商业性使用-禁止演绎4.0(CC BY-NC-ND 4.0)的方式，在任何媒介以任何形式复制、传播本作品(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)。

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

[1. Graduate School, Bengbu Medical College, Bengbu 233030; 2. Department of Endocrinology, First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China (Anhui Provincial Hospital), Hefei 230001, China]

ABSTRACT

Objective: Do-it-yourself artificial pancreas systems (DIYAPS) have gradually been applied in glycemic management for patients with type 1 diabetes mellitus (T1DM). However, differences in glycemic outcomes among individuals from different socioeconomic backgrounds remain unclear. This study aimed to investigate the impact of urban economic level on glycemic control in Chinese patients with T1DM using DIYAPS.

Methods: This real-world study recruited patients with T1DM from online diabetes communities between September 2019 and February 2024. The study population covered 82 cities across 26 provinces in China, and all participants used AndroidAPS system. Demographic characteristics, physical examination data, laboratory parameters, and continuous glucose monitoring (CGM) data were collected. New first-tier and first-tier cities were classified as the developed-city group, whereas second-tier and third-tier cities were classified as the developing-city group. Glycemic metrics during different time periods were compared between the 2 groups. Univariate and multivariate Logistic regression models were used to analyze the association between the low blood glucose index (LBGI) and urban economic level in patients with T1DM.

Results: A total of 124 patients with T1DM were enrolled, including 56 patients (45.2%) from developed cities and 68 patients (54.8%) from developing cities. Among them, 52 patients (41.9%) were male and 72 patients (58.1%) were female. The median age was 22.3 (9.3, 32.5) years, and the median disease duration was 0.8 (0, 8.8) years. No statistically significant difference was observed between the two groups in all-day time in range (TIR) [percentage of time with glucose levels 3.9−7.8 mmol/L, TIR(7.8)] (P>0.05). However, the all-day low blood glucose index (LBGI) was significantly lower in the developed-city group than in the developing-city group [1.1 (0.6, 1.5) vs 1.5 (0.9, 2.4), P<0.05], whereas time above range (TAR) [percentage of time with glucose levels >7.8 mmol/L, TAR(7.8)] was significantly higher in the developed-city group [36.3% (28.7%, 49.2%) vs 30.9% (19.2%, 40.8%), P<0.05]. Multivariate logistic regression analysis indicated that, after adjusting for age, sex, body mass index (BMI), and annual household income per capita, urban economic level remained an independent factor associated with hypoglycemia risk in patients (OR=0.43, 95% CI 0.20 to 0.91, P=0.028).

Conclusion: Urban economic level has an important impact on glycemic control in patients with T1DM using DIYAPS. Higher urban economic level is associated with a lower risk of hypoglycemia in patients with T1DM.

KEY WORDS　do-it-yourself artificial pancreas system; type 1 diabetes mellitus; continuous glucose monitoring; urban economic level; glycemic control

2021年，全球约有840万1型糖尿病(type 1 diabetes mellitus，T1DM)患者[1]。良好的血糖控制可显著降低T1DM患者发生糖尿病并发症的风险。近年来，持续葡萄糖监测系统(continuous glucose monitoring system，CGMS)和胰岛素泵等治疗技术显著提升了T1DM的管理效果。然而，过高或者过低

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

的血糖导致血糖的大幅波动，仍然是管理T1DM的主要挑战[2]。人工胰腺系统(artificial pancreas system，APS)是1种新兴治疗方式，由胰岛素泵、CGMS和控制算法组成，能够模仿生理胰岛素分泌过程，自动调整胰岛素剂量，为糖尿病管理提供了一种创新的解决方案[3-8]。

社会经济因素对T1DM血糖管理效果同样具有重要影响。低社会经济水平与糖尿病并发症的恶化密切相关；即使在一些拥有全民医疗保健系统的国家，低收入群体糖尿病管理仍面临显著挑战[9-10]。在许多低收入和中等收入国家，由于卫生资源有限，T1DM患者血糖控制不佳的情况普遍存在，病死率持续增高[11]。尽管已有证据[12]表明，使用APS的患者血糖控制水平有显著改善，但大多数研究样本主要集中在高社会经济地位的人群上，对于低社会经济地位群体关注较少。因此，本研究旨在探讨城市经济水平对使用开源APS(do-it-yourself APS，DIYAPS)的T1DM患者血糖控制的影响，为相关领域提供来自中国人群的初步证据。

1 对象与方法

1.1 伦理声明

本研究已获得中国科学技术大学附属第一医院(安徽省立医院)伦理委员会批准(审批号：2024KY伦审第414号)，所有研究对象均签署了知情同意书。

1.2 对象

本研究为基于真实世界数据的分析。纳入自2019年9月至2024年2月于中国T1DM登记管理项目(该项目通过糖尿病患者线上社区招募)注册的患者，样本覆盖中国26个省份和82个市区，所有患者均使用AndroidAPS。该项目移动端平台在本课题组前期研究[13]中已有介绍。在设备使用过程中，成年患者均独立操作，未成年患者由法定监护人通过平台远程监督设备操作及上传血糖数据。纳入标准：1)由二级及以上医院的内分泌科医师诊断为T1DM的患者；2)有≥3个月连续使用APS的记录(开环时间不超过14 d)；3)同意提供个人病史及家族史等信息；4)患者本人或患儿父母同意参加本研究。排除标准：1)基本信息不全；2)使用口服降糖药物；3)怀孕或哺乳期。

1.3 方法

1)收集基本资料：通过中国T1DM登记管理项目移动端，收集注册时调查对象的基本情况，包括人口统计学信息(年龄、性别和家庭人均年收入等)、糖尿病相关信息(T1DM确诊时间、监测血糖的方式和注册时的糖化血红蛋白等)，并进一步收集注册后CGMS同步的血糖监测数据，选取使用APS的患者90~120 d的血糖数据进行分析。

2)计算持续葡萄糖监测(continuous glucose monitoring，CGM)参数：根据CGM血糖数据计算平均血糖、葡萄糖在目标范围内时间(time in range，TIR)、葡萄糖低于目标范围时间(time below range，TBR)、葡萄糖高于目标范围时间(time above range，TAR)、低血糖指数(low blood glucose index，LBGI)、高血糖指数(high blood glucose index，HBGI)、标准差(standard deviation，*SD*)及变异系数(coefficient of variation，*CV*)。本研究中TIR(7.8)、TIR(10.0)分别指时间范围内葡萄糖水平为3.9~7.8、3.9~10.0 mmol/L时间所占的百分比(%)；TBR(3.9)、TBR(3.0)分别指时间范围内葡萄糖水平<3.9、<3.0 mmol/L时间所占的百分比(%)；TAR(7.8)、TAR(10.0)分别指时间范围内葡萄糖水平>7.8、>10.0 mmol/L时间所占的百分比(%)。时间段定义为全天0:00−24:00、白天6:00−24:00和夜晚0:00−6:00[14]。CGM参数计算公式详见附表1(https://doi.org/10.57760/sciencedb.36726)。

3)分组定义：有关中国一线、新一线、三线和四线城市的划分已基本形成广泛的共识，并被广泛认可为城市发展水平的划分标准[15-16]。一线城市包括深圳、北京、上海和广州等；新一线城市包括长沙、重庆、成都和苏州等；二线城市包括石家庄、佛山、福州和哈尔滨等；三线城市包括揭阳、九江、许昌和运城等。本研究将新一线、一线城市定义为发达城市组，二线、三线城市定义为发展中城市组。

4)观察指标：主要观察指标是TIR(10.0)和TIR(7.8)。次要观察指标是预估糖化血红蛋白(estimated glycated hemoglobin A1c，eA1c)、LBGI、HBGI、TBR(3.9)和TBR(3.0)、TAR(10.0)和TAR(7.8)、*SD*、*CV*等。

1.4 统计学处理

采用R4.2.1软件对数据进行统计分析。非正态分布的计量资料以中位数(第1四分位数，第3四分位数)表示，组间比较采用Wilcoxon检验。计数资料以例数和百分比表示，组间比较采用卡方检验或Fisher精确检验。筛选出不同经济水平城市T1DM患者血糖控制的差异性指标。LBGI因其分布非正态且缺乏临床阈值，采用中位数进行二分类分组以平衡样本量，减少偏态分布的影响。采用多因素Logistic回归模型评估城市经济水平与T1DM患者低血糖指标的相关性。P<0.05为差异有统计学意义。

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

2 结　果

2.1 根据城市经济水平分组后T1DM患者基线特征比较

本研究共纳入T1DM患者124例，其中发达城市56例(45.2%)，发展中城市68例(54.8%)；男性52例(41.9%)，女性72例(58.1%)；年龄为22.3(9.3，32.5)岁，病程为0.8(0，8.8)年。发展中城市组及发达城市组在年龄、病程、性别、体重指数(body mass index，BMI)、2代内直系血亲患糖尿病、吸烟、饮酒、起病时有糖尿病酮症酸中毒(diabetic ketoacidosis，DKA)、起病时糖化血红蛋白、基础胰岛素剂量、总胰岛素剂量、使用DIYAPS时长、家庭人均年收入、父母教育程度及本人教育程度方面的差异均无统计学意义(均P>0.05，表1)。

表1　发达城市组和发展中城市组T1DM患者基线特征比较

Table 1　Comparison of baseline characteristics of T1DM patients using DIYAPS between developed and developing cities

临床特征	发展中城市组(n=68)	发达城市组(n=56)	合计(n=124)	χ^2/Z	P
年龄/岁	19.8(9.8, 31.5)	23.3(9.2, 33.4)	22.3(9.3, 32.5)	−0.685	0.493
病程/年	0.8(0.1, 8.7)	0.8(0, 8.8)	0.8(0, 8.8)	0.505	0.614
性别/[例(%)]				0.129	0.719
男	30(44.1)	22(39.3)	52(41.9)		
女	38(55.9)	34(60.7)	72(58.1)		
BMI/(kg·m^{-2})	19.9(17.0, 22.5)	19.7(16.7, 22.2)	19.8(16.9, 22.3)	0.231	0.817
直系血亲患糖尿病/[例(%)]				0.113	0.207
无	13(19.1)	13(23.2)	26(21.0)		
有	55(80.9)	43(76.8)	98(79.0)		
起病时有DKA/[例(%)]	28(43.1)	18(32.7)	46(38.3)	0.772	0.330
起病时HbA1c/%	7.0(6.4, 7.8)	7.4(6.6, 7.8)	7.0(6.5, 7.8)	−0.823	0.409
基础胰岛素剂量/U	7.6(4.7, 10.7)	7.3(3.5, 9.2)	7.4(4.2, 10.3)	1.082	0.321
总胰岛素剂量/U	23.9(17.2, 38.6)	23.0(15.1, 36.1)	23.5(16.0, 38.0)	1.077	0.395
使用DIYAPS时间/d	204.5(151.1, 277.3)	227.2(171.8, 295.2)	209.5(160.0, 280.3)	−1.135	0.256
家庭人均年收入/[例(%)]				0.405	0.541
≤10万	39(57.4)	28(50.0)	67(54.0)		
>10万	29(42.6)	28(50.0)	57(46.0)		
父亲教育程度/[例(%)]				0.499	0.342
中学及以下	25(36.8)	25(44.6)	50(40.3)		
大学及以上	43(63.2)	31(55.4)	74(59.7)		
母亲教育程度/[例(%)]				0.058	0.073
中学及以下	29(42.6)	26(46.4)	55(44.4)		
大学及以上	39(57.4)	30(53.6)	69(55.6)		
本人教育程度/[例(%)]				2.755	0.062
中学及以下	38(55.9)	22(39.3)	60(48.4)		
大学及以上	30(44.1)	34(60.7)	64(51.6)		

非正态分布的计量资料以中位数(第1四分位数，第3四分位数)表示，组间比较采用Wilcoxon检验；计数资料以例数和百分比表示，组间比较采用卡方检验。有BMI数据的患者为113例，有DKA数据的患者为120例。T1DM：1型糖尿病；BMI：体重指数；HbA1c：糖化血红蛋白；DKA：糖尿病酮症酸中毒；DIYAPS：开源人工胰腺系统。

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

2.2 发达城市组和发展中城市组T1DM患者血糖控制的比较

在全天时间段，与发达城市组相比，发展中城市组的LBGI较高[1.5(0.9，2.4) vs 1.1(0.6，1.5)，P<0.05]，TAR(7.8)较低[30.9%(19.2%，40.8%) vs 36.3%(28.7%，49.2%)，P<0.05]。在白天时间段，与发达城市组相比，发展中城市组TIR(7.8)较高[59.8%(49.9%，71.6%) vs 55.4(43.7%，64.4%)，P<0.05]、LBGI较高[1.4(0.9，2.3) vs 1.0(0.6，1.5)，P<0.05]、TBR(3.9)较高[5.3%(3.0%，9.1%) vs 3.9%(1.7%，6.3%)，P<0.05]，TAR(7.8)较低[31.3%(22.3%，43.3%) vs 39.5%(30.7%，53.6%)，P<0.05]。夜晚时间段组间差异均无统计学意义(均P>0.05，表2)。

表2 发达城市组和发展中城市组T1DM患者血糖指标比较

Table 2 Comparison of glycemic metrics between T1DM patients from developed and developing cities across different time periods

指标	发展中城市组(n=68)	发达城市组(n=56)	Z	P
全天(0:00−24:00)				
TIR(7.8)/%	61.4(52.4, 75.9)	59.8(46.8, 66.2)	1.84	0.065
TIR(10.0)/%	81.5(72.0, 87.8)	79.3(70.1, 84.5)	1.24	0.217
eA1c/%	6.1(5.6, 6.6)	6.3(6.0, 6.9)	−1.91	0.056
LBGI	1.5(0.9, 2.4)	1.1(0.6, 1.5)	2.73	0.006
TBR(3.9)/%	4.8(2.9, 8.8)	3.8(1.9, 6.1)	1.93	0.054
TBR(3.0)/%	0.4(0.2, 1.5)	0.3(0.2, 0.9)	1.34	0.182
HBGI	2.6(1.5, 4.6)	3.4(2.2, 5.5)	−1.46	0.144
TAR(10.0)/%	11.6(5.1, 20.0)	15.2(9.3, 24.7)	−1.75	0.080
TAR(7.8)/%	30.9(19.2, 40.8)	36.3(28.7, 49.2)	−2.16	0.031
白天(6:00−24:00)				
TIR(7.8)/%	59.8(49.9, 71.6)	55.4(43.7, 64.4)	2.15	0.031
TIR(10.0)/%	79.5(69.1, 86.6)	77.4(67.1, 83.0)	1.34	0.180
eA1c/%	6.1(5.6, 6.6)	6.4(6.0, 7.0)	-2.07	0.039
LBGI	1.4(0.9, 2.3)	1.0(0.6, 1.5)	3.14	0.002
TBR(3.9)/%	5.3(3.0, 9.1)	3.9(1.7, 6.3)	2.15	0.031
TBR(3.0)/%	0.4(0.2, 1.8)	0.4(0.1, 0.7)	1.59	0.113
HBGI	2.8(1.6, 5.2)	3.7(2.4, 5.9)	−1.47	0.141
TAR(10.0)/%	12.6(5.6, 24.4)	16.8(9.4, 27.4)	−1.84	0.065
TAR(7.8)/%	31.3(22.3, 43.3)	39.5(30.7, 53.6)	−2.39	0.017
夜晚(0:00—6:00)				
TIR(7.8)/%	69.8(54.9, 84.1)	65.2(52.2, 75.8)	1.28	0.200
TIR(10.0)/%	87.7(75.9, 93.3)	84.6(77.2, 89.9)	1.09	0.276
eA1c/%	5.9(5.4, 6.4)	6.0(5.6, 6.6)	−1.07	0.285
LBGI	1.3(0.7, 2.1)	1.2(0.5, 1.8)	1.46	0.145
TBR(3.9)/%	4.3(1.6, 7.5)	3.2(1.1, 6.6)	0.82	0.414
TBR(3.0)/%	0.3(0.0, 1.3)	0.2(0.0, 1.2)	0.78	0.430
HBGI	1.9(0.5, 3.8)	2.5(1.3, 4.3)	−1.16	0.244
TAR(10.0)/%	7.1(1.4, 15.4)	9.7(4.1, 17.9)	−1.42	0.157
TAR(7.8)/%	25.5(8.9, 39.2)	27.5(16.2, 43.9)	−1.35	0.177

非正态分布的计量资料以中位数(第1四分位数，第3四分位数)表示，组间比较采用Wilcoxon检验。eA1c：预估糖化血红蛋白；LBGI：低血糖指数；TBR：葡萄糖低于目标范围时间；HBGI：高血糖指数；TAR：葡萄糖高于目标范围时间；TIR：葡萄糖在目标范围内时间。TIR(7.8)、TIR(10.0)分别指葡萄糖水平为3.9~7.8、3.9~10.0 mmol/L时间所占的百分比(%)；TBR(3.9)、TBR(3.0)分别指葡萄糖水平<3.9、<3.0 mmol/L时间所占的百分比(%)；TAR(7.8)、TAR(10.0)分别指葡萄糖水平>7.8、>10.0 mmol/L时间所占的百分比(%)。

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

此外，根据临床常用阈值对血糖控制状态进行分类分析显示，发达城市组患者的血糖达标率(TIR≥70%)为83.93%，高血糖率(TAR≥25%)为16.07%，低血糖率(TBR≥4%)为39.29%；发展中城市组则分别为82.35%、14.71%和63.24%。

2.3 T1DM患者低血糖风险与城市经济水平的相关性

以低血糖结局指标LBGI二分类变量(基于中位数分组)作为因变量，将城市经济水平等级分组(发展中城市=1，发达城市=2)作为自变量，并纳入年龄、性别、BMI及家庭人均年收入作为协变量，构建多因素Logistic回归模型。单因素分析显示，发达城市组全天的LBGI显著低于发展中城市组[*OR*=0.45，95% *CI* 0.22~0.93，*P*=0.031]。在校正年龄、性别、BMI及家庭人均年收入混杂因素后，城市经济水平仍与全天LBGI独立相关(*OR*=0.43，95% *CI* 0.20~0.91，*P*=0.028；表3)。

昼夜分时段分析：白天时间段，与发展中城市组相比，发达城市组的LBGI显著降低[未校正*OR*=0.40，95% *CI* 0.19~0.81，*P*=0.012；校正后*OR*=0.36，95% *CI* 0.16~0.76，*P*=0.008]；夜晚时间段LBGI与城市经济水平无显著关联(*P*>0.05，表3)。

表3　城市经济水平与T1DM患者低血糖风险的关联性分析

Table 3　Logistic regression analysis of the association between urban economic level and hypoglycemia risk in T1DM patients

	模型1	*P*	模型2	*P*
	OR(95% *CI*)		OR(95% *CI*)	
全天(0:00−24:00)				
LBGI	0.45(0.22~0.93)	0.031	0.43 (0.20~0.91)	0.028
白天(0:00−24:00)				
LBGI	0.40(0.19~0.81)	0.012	0.36(0.16~0.76)	0.008
夜晚(0:00−6:00)				
LBGI	0.68(0.33~1.37)	0.280	0.64(0.30~1.33)	0.235

模型1：未调整；模型2：在模型1的基础上额外调整了年龄、性别、BMI及家庭人均年收入混杂因素。*OR*：优势比；*CI*：置信区间。

3 讨　论

本研究探讨了T1DM患者血糖控制与城市经济水平的相关性，结果表明城市经济水平与T1DM患者LBGI呈负相关，与TAR(7.8)呈正相关，且这种差异仅见于全天、白天时间段。即使在校正患者年龄、性别、BMI及家庭人均年收入因素后，这种相关性仍具有统计学意义。

本研究对象来自中国26个省份和82个市区。不同经济水平城市的T1DM患者年龄、病程、性别、BMI、家庭人均年收入、父母教育程度及本人教育程度的差异均无统计学意义。因此，尽管本研究对象来自不同经济发展水平的城市，他们在影响血糖管理的家庭教育背景与经济因素方面的差异较小，这使得2组之间的血糖控制指标具有可比性。

进一步根据个体血糖控制状态进行的分类分析显示，发展中城市组患者的低血糖率(TBR≥4%)显著高于发达城市组，而2组的血糖达标率(TIR≥70%)及高血糖率(TAR≥25%)相近。该结果与前述连续变量的分析结论相互印证，进一步表明发展中城市组患者的低血糖风险显著更高，而2组的血糖达标率相近，高血糖比例亦未见明显差异。

既往研究[17-19]表明，较差的血糖控制和较高的糖尿病并发症发生率通常出现在低收入群体中。这提示临床工作者应尽量避免对低社会经济群体的忽视。本研究发现，尽管发达城市的医疗资源和经济水平较高，但发展中城市的T1DM患者在白天时段表现出更好的血糖控制。这可能受到某些生活方式和环境因素的影响，包括日常的体力活动、饮食习惯、社会支持网络以及较少的心理压力等。发达城市T1DM患者可能由于更为丰富的娱乐活动而影响了血糖的控制。适当强度的身体活动和阻力训练可以改善心肺功能，助力血糖达标[20-23]。因活动量、饮食方式等数据缺失，本研究未进行进一步的探究。与发

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

达城市组相比，发展中城市组的LBGI更高、TAR(7.8)更低，尤其在全天和白天时间段。发达城市组呈现出“低血糖风险低，高血糖风险高”的矛盾现象，提示不同风险因素的叠加效应可能主导血糖控制结局。具体而言，可从以下3个方面进行解释：1)医疗资源与教育水平效应。发达城市拥有更丰富的医疗资源与更高的教育水平，患者能够更快地获取糖尿病管理的前沿信息，这有助于降低低血糖风险。2)行为与环境效应。城市化进程带来的生活方式改变(如久坐增多、高脂饮食)以及环境因素(如人工照明导致的昼夜节律紊乱)，使得居民高频进食、依赖代步工具等行为增多，进而导致餐后血糖波动加剧。3)社会支持的双面性。发展中城市线下病友组织的活跃度较高，虽有助于低血糖预警信息共享，但也可能传播保守控糖策略(如刻意维持较高血糖基线以规避低血糖)；而发达城市患者因社群互动以线上为主，可能导致自我管理支持不足。发达城市T1DM患者可能面临低血糖与高血糖并存的双重风险，提示在临床实践中需制定差异化的血糖管理策略，以实现二者之间的平衡。

发展中城市组T1DM患者血糖控制较好，但低血糖风险显著高于发达城市组。基于此，本研究进一步探讨了低血糖指标LBGI与城市经济发展水平之间的关系。多因素Logistic回归模型显示，在全天和白天时间段，校正年龄、性别、BMI和家庭人均年收入潜在混杂因素后，城市经济水平仍与低血糖风险独立负向关联。这一发现提示，城市经济发展水平不仅对T1DM患者的血糖控制具有直接影响，还可能通过改善生活方式和健康行为间接调节低血糖风险。

本研究的主要优势在于使用真实世界数据，分析了不同经济水平城市的T1DM患者血糖控制情况，并结合各时段CGM数据全面评估了血糖波动特征。此外，本研究首次探讨城市经济水平与DIYAPS使用者血糖控制之间的关联性，揭示了宏观经济环境对个体血糖管理的潜在作用。

长期而严格的T1DM管理要求，可能会对T1DM患者心理健康和社交功能产生严重的负面影响，导致自我管理能力和血糖控制效果恶化[24-27]。但是前期研究[22, 28]发现，通过使用DIYAPS，血糖控制得到改善，许多患者生活质量得到改善。糖尿病患者生活质量得到改善，对低血糖症的恐惧减轻[29-31]。本研究结果为理解社会经济因素对T1DM患者血糖管理的影响提供了新的视角。数据[32]表明，DIYAPS的使用人群正在增长，患者在使用后取得了积极的临床效果，选择使用DIYAPS的患者数量在未来几年很可能还会继续增加。APS技术的普及降低了血糖管理的技术门槛，但城市间经济差距对患者的血糖管理的影响仍需关注。

本研究尚存在局限性。首先，本研究依赖自我报告，可能会存在偏倚和误差，且由于可能存在显著回忆性偏倚，本研究未能评估每一个项目与低血糖事件发生的关联。再者，本研究中LBGI的分组基于样本中位数，可能受特定人群特征影响，限制了结果的普适性。未来研究需结合临床验证的LBGI临界值，以进一步验证城市经济水平与低血糖风险的关联。未来中国T1DM登记管理项目移动端数据采集模块将进一步完善。

综上所述，城市经济发展水平对使用DIYAPS的T1DM患者的血糖控制具有重要影响，较高的城市经济水平与较低的T1DM患者低血糖风险相关。研究结果凸显了DIYAPS技术在优化糖尿病管理、降低健康风险方面的重要意义，特别是在经济条件较好的城市地区，其应用潜力和价值更为突出。

志谢：感谢本次科研及论文协作过程中老师及同僚的指导和支持。

作者贡献声明：王浩 数据采集，统计分析，论文撰写与修改；汤婕 数据采集，统计分析；张文皓 数据管理，统计分析，论文修改；王沁 数据采集与管理；李先铭 论文修改；张弘强 数据采集，技术支持；丁宇 论文修改；骆斯慧 技术或材料支持；郑雪瑛 数据管理，经费支持，技术或材料支持，论文修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

利益冲突声明：作者声称无任何利益冲突。

参考文献

[1] Gregory GA, Robinson TIG, Linklater SE, et al. Global incidence, prevalence, and mortality of type 1 diabetes in 2021 with projection to 2040: a modelling study[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2022, 10(10): 741-760. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00218-2.

[2] Hagelqvist PG, Andersen A, Maytham K, et al. Glycaemia and cardiac arrhythmias in people with type 1 diabetes: a prospective observational study[J]. Diabetes Obes Metab, 2023, 25(8): 2300-2309. https://doi.org/10.1111/dom.15108.

[3] Steil GM, Rebrin K, Hariri F, et al. Interstitial fluid glucose dynamics during insulin-induced hypoglycaemia[J]. Diabetologia, 2005, 48(9): 1833-1840. https://doi.org/10.1007/s00125-005-1852-x.

[4] Bergenstal RM, Garg S, Weinzimer SA, et al. Safety of a hybrid closed-loop insulin delivery system in patients with type 1 diabetes[J]. JAMA, 2016, 316(13): 1407-1408. https://doi.

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

org/10.1001/jama.2016.11708.

[5] Weisman A, Bai JW, Cardinez M, et al. Effect of artificial pancreas systems on glycaemic control in patients with type 1 diabetes: a systematic review and meta-analysis of outpatient randomised controlled trials[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2017, 5(7): 501-512. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30167-5.

[6] Bekiari E, Kitsios K, Thabit H, et al. Artificial pancreas treatment for outpatients with type 1 diabetes: systematic review and meta-analysis[J]. BMJ, 2018, 361: k1310. https://doi.org/10.1136/bmj.k1310.

[7] Farrington C. Psychosocial impacts of hybrid closed-loop systems in the management of diabetes: a review[J]. Diabet Med, 2018, 35(4): 436-449. https://doi.org/10.1111/dme.13567.

[8] Tauschmann M, Hovorka R. Technology in the management of type 1 diabetes mellitus: current status and future prospects[J]. Nat Rev Endocrinol, 2018, 14(8): 464-475. https://doi.org/10.1038/s41574-018-0044-y.

[9] Espelt A, Borrell C, Roskam AJ, et al. Socioeconomic inequalities in diabetes mellitus across Europe at the beginning of the 21st century[J]. Diabetologia, 2008, 51(11): 1971-1979. https://doi.org/10.1007/s00125-008-1146-1.

[10] Scott A, Chambers D, Goyder E, et al. Socioeconomic inequalities in mortality, morbidity and diabetes management for adults with type 1 diabetes: a systematic review[J/OL]. PLoS One, 2017, 12(5): e0177210[2025-05-01]. https://doi.org/10.1371/journal.pone. 0177210.

[11] Bhutta ZA, Salam RA, Gomber A, et al. A century past the discovery of insulin: global progress and challenges for type 1 diabetes among children and adolescents in low-income and middle-income countries[J]. Lancet, 2021, 398(10313): 1837-1850. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02247-9.

[12] Lum JW, Bailey RJ, Barnes-Lomen V, et al. A real-world prospective study of the safety and effectiveness of the loop open source automated insulin delivery system[J]. Diabetes Technol Ther, 2021, 23(5): 367-375. https://doi.org/10.1089/dia.2020.0535.

[13] 郑雪瑛, 杨黛稚, 刘子瑜, 等. 基于移动APP的互动式同伴支持对1型糖尿病血糖管理效果评价[J]. 中华内科杂志, 2019, 58(12): 889-893. https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2019.12.004.
ZHENG Xueying, YANG Daizhi, LIU Ziyu, et al. The effect of mobile application based interactive peer support on glycemic control in patients with type 1 diabetes mellitus[J]. Chinese Journal of Internal Medicine, 2019, 58(12): 889-893. https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2019.12.004.

[14] Battelino T, Danne T, Bergenstal RM, et al. Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: recommendations from the international consensus on time in range[J]. Diabetes Care, 2019, 42(8): 1593-1603. https://doi.org/10.2337/dci19-0028.

[15] 戚伟, 刘盛和, 金浩然. 中国城市规模划分新标准的适用性研究[J]. 地理科学进展, 2016, 35(1): 47-56. https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2016.01.006.
QI Wei, LIU Shenghe, JIN Haoran. Applicability of the new standard of city-size classification in China[J]. Progress in Geography, 2016, 35(1): 47-56. https://doi. org/10.18306/dlkxjz.2016.01.006.

[16] 范金, 张晴. 中国一线与新一线城市创新效率及影响因素研究[J]. 现代城市研究, 2023(2): 32-37, 52. https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6000.2023.02.005.
FAN Jin, ZHANG Qing. Research on innovation efficiency and influencing factors of first tier and new first tier cities in China [J]. Modern Urban Research, 2023(2): 32-37, 52. https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6000.2023.02.005.

[17] Malik FS, Liese AD, Reboussin BA, et al. Prevalence and predictors of household food insecurity and supplemental nutrition assistance program use in youth and young adults with diabetes: the SEARCH for diabetes in youth study[J]. Diabetes Care, 2023, 46(2): 278-285. https://doi.org/10.2337/dc21-0790.

[18] Tan L, Wang J, Han J, et al. Socioeconomic deprivation and the risk of sight-threatening diabetic retinopathy: a population-based cohort study in the U.K[J]. Diabetes Care, 2024, 47(5): 844-848. https://doi.org/10.2337/dc23-1626.

[19] McCoy RG, Galindo RJ, Swarna KS, et al. Sociodemographic, clinical, and treatment-related factors associated with hyperglycemic crises among adults with type 1 or type 2 diabetes in the US from 2014 to 2020[J/OL]. JAMA Netw Open, 2021, 4(9): e2123471[2025-05-01]. https://doi. org/10.1001/jamanetworkopen. 2021.23471.

[20] Campbell MD, Kime N, McKenna J. Exercise and physical activity in patients with type 1 diabetes[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2017, 5(7): 493. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30169-9.

[21] Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2017, 5(5): 377-390. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30014-1.

[22] Ahmed SH, Ewins DL, Bridges J, et al. Do-it-yourself (DIY) artificial pancreas systems for type 1 diabetes: perspectives of two adult users, parent of a user and healthcare professionals[J]. Adv Ther, 2020, 37(9): 3929-3941. https://doi.org/10.1007/s12325-020-01431-w.

[23] Riddell MC, Peters AL. Exercise in adults with type 1 diabetes mellitus[J]. Nat Rev Endocrinol, 2023, 19(2): 98-111. https://doi.org/10.1038/s41574-022-00756-6.

[24] Hood KK, Beavers DP, Yi-Frazier J, et al. Psychosocial burden and glycemic control during the first 6 years of diabetes: results from the SEARCH for Diabetes in Youth study[J]. J Adolesc Health, 2014, 55(4): 498-504. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.03.011.

[25] Moulton CD, Pickup JC, Ismail K. The link between depression and diabetes: the search for shared mechanisms[J]. Lancet Diabetes Endocrinol, 2015, 3(6): 461-471. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00134-5.

[26] Nicolucci A, Kovacs Burns K, Holt RIG, et al. Correlates of

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.

psychological outcomes in people with diabetes: results from the second Diabetes Attitudes, Wishes and Needs (DAWN2(™)) study[J]. Diabet Med, 2016, 33(9): 1194-1203. https://doi.org/10.1111/dme.13178.

[27] McGill DE, Volkening LK, Butler DA, et al. Baseline psychosocial characteristics predict frequency of continuous glucose monitoring in youth with type 1 diabetes[J]. Diabetes Technol Ther, 2018, 20(6): 434-439. https://doi.org/10.1089/dia.2018.0037.

[28] Lewis D, Leibrand S. Real-world use of open source artificial pancreas systems[J]. J Diabetes Sci Technol, 2016, 10(6): 1411. https://doi.org/10.1177/1932296816665635.

[29] Hng TM, Burren D. Appearance of Do-It-Yourself closed-loop systems to manage type 1 diabetes[J]. Intern Med J, 2018, 48(11): 1400-1404. https://doi.org/10.1111/imj.14105.

[30] Wu Z, Luo S, Zheng X, et al. Use of a do-it-yourself artificial pancreas system is associated with better glucose management and higher quality of life among adults with type 1 diabetes[J]. Ther Adv Endocrinol Metab, 2020, 11: 2042018820950146. https://doi.org/10.1177/2042018820950146.

[31] Kesavadev J, Saboo B, Kar P, et al. DIY artificial pancreas: a narrative of the first patient and the physicians' experiences from India[J]. Diabetes Metab Syndr, 2021, 15(2): 615-620. https://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.02.033.

[32] Palmer W, Greeley SAW, Letourneau-Freiberg LR, et al. Using a do-it-yourself artificial pancreas: perspectives from patients and diabetes providers[J]. J Diabetes Sci Technol, 2020, 14(5): 860-867. https://doi.org/10.1177/193229682094225.

（责任编辑 田朴）

©Journal of Central South University (Medical Science). All rights reserved.