

糖尿病患者发生心绞痛的影响因素分析及其贝叶斯网络风险预测

李 爽, 葛佳瑜, 丛显铸, 王爱民, 孔雨佳, 石福艳, 王素珍
(山东第二医科大学公共卫生学院卫生统计学教研室, 山东 潍坊 261053)

[摘 要] **目的:** 探讨糖尿病 (DM) 患者发生心绞痛的影响因素, 构建贝叶斯网络模型探索影响因素间的网络关系, 并对 DM 患者发生心绞痛的风险进行预测。**方法:** 基于英国生物银行 (UKB) 数据库, 使用 Logistic 回归分析模型筛选 DM 患者发生心绞痛的影响因素。采用禁忌搜索算法进行结构学习, 贝叶斯估计方法进行参数学习并构建贝叶斯网络模型。**结果:** 共纳入 22 712 例 DM 患者。DM 患者发生心绞痛的影响因素为患者性别、年龄、体质量指数 (BMI)、甘油三酯 (TG)、总胆固醇 (TC)、糖化血红蛋白 (HbA1c)、患高血压、母亲分娩前后吸烟、吸烟状况、饮酒状况、规律运动、失眠、睡眠时长和儿童时期相对体型共 14 个变量 ($P < 0.05$)。构建 1 个包含 15 个节点和 22 条有向边的贝叶斯网络模型, 其中患者年龄、HbA1c、患高血压、规律运动、BMI 和睡眠时长与 DM 患者发生心绞痛直接相关, 患者性别、吸烟状况、饮酒状况、TC、TG、失眠、儿童时期相对体型、母亲分娩前后吸烟与 DM 患者发生心绞痛间接相关。**结论:** 患者年龄、HbA1c、患高血压、规律运动、BMI 和睡眠时长是 DM 患者发生心绞痛的直接影响因素, 控制 HbA1c、血压和 BMI 水平, 进行规律运动和保持适当的睡眠时长有利于降低 DM 患者发生心绞痛的风险。

[关键词] 糖尿病; 心绞痛; 贝叶斯网络; 风险预测; 禁忌搜索算法

[中图分类号] R587.1 **[文献标志码]** A

Analysis on influencing factors for occurrence of angina pectoris in diabetic mellitus patients and its Bayesian network risk prediction

LI Shuang, GE Jiayu, CONG Xianzhu, WANG Aimin, KONG Yujia, SHI Fuyan, WANG Suzhen
(Department of Health Statistics, School of Public Health, Shandong Second Medical University,
Weifang 261053, China)

ABSTRACT Objective: To discuss the influencing factors of angina pectoris in the patients with diabetes mellitus (DM), to construct a Bayesian network model to explore the network relationships among the influencing factors, and to predict the risk of angina pectoris in the patients with DM. **Methods:** Based on the UK Biobank(UKB) database, the Logistic regression analysis model was used to screen the influencing

[收稿日期] 2024-08-29 **[录用日期]** 2024-10-31

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目 (81872719); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (81803337); 山东省科技厅自然科学基金项目 (ZR2019MH034, ZR2023MH313)

[作者简介] 李 爽 (2000—), 女, 山东省菏泽市人, 在读硕士研究生, 主要从事卫生统计学方面的研究。

[通信作者] 王素珍, 教授, 博士研究生导师 (E-mail: wangsz@sdsu.edu.cn);

石福艳, 教授, 博士研究生导师 (E-mail: shifuyan@sdsu.edu.cn)

factors of angina pectoris in the patients with DM. The taboo search algorithm was used for structure learning, and the Bayesian parameter estimation method was used for parameter learning to construct the Bayesian network model. **Results:** A total of 22 712 DM patients were included. The influencing factors of angina pectoris in the patients with DM included 14 variables: gender, age, body mass index (BMI), triglycerides (TG), total cholesterol (TC), glycated hemoglobin (HbA1c), hypertension, maternal smoking around delivery, smoking status, alcohol consumption, regular exercise, insomnia, sleep duration, and childhood relative body size ($P < 0.05$). A Bayesian network model was constructed with 15 nodes and 22 directed edges. Among them, age, HbA1c, hypertension, regular exercise, BMI, and sleep duration were directly associated with the occurrence of angina pectoris in the patients with DM, while gender, smoking status, alcohol consumption, TC, TG, insomnia, childhood relative body size, and maternal smoking around delivery were indirectly associated with the occurrence of angina pectoris in the patients with DM. **Conclusion:** Age, HbA1c, hypertension, regular exercise, BMI, and sleep duration are direct influencing factors of angina pectoris in the patients with DM. Controlling HbA1c, blood pressure, and BMI levels, engaging in regular exercise, and maintaining appropriate sleep duration are beneficial for reducing the risk of angina pectoris in the patients with DM.

KEYWORDS Diabetes mellitus; Angina pectoris; Bayesian network; Risk prediction; Taboo search algorithm

糖尿病 (diabetes mellitus, DM) 是一组多病因引起的以慢性高血糖为特征的代谢性疾病, 极易对患者的血管和神经系统造成损伤, 导致DM患者发生心脑血管疾病的风险比非DM患者增加了2~4倍^[1-2]。冠状动脉粥样硬化性心脏病心绞痛 (以下简称心绞痛) 作为较为常见的心脑血管疾病之一, 以其高致残率和高致死率严重威胁DM患者的生命安全^[3-4]。因此, 寻找DM患者发生心绞痛的影响因素并进行早期的发病风险预测, 对提高患者生命质量至关重要。

目前针对DM患者发生心绞痛的国内外相关研究^[5-7]中, 常采用的方法为Logistic回归分析模型, 忽略了影响因素间复杂的网络关系, 难以区分直接影响因素或者间接影响因素^[8]。贝叶斯网络模型作为一种用图形表示概率模型的方法, 可以直观地展现变量间的复杂关系和相关程度^[9], 并通过条件概率表预测节点变量发生率。目前, 有关DM患者发生心绞痛相关影响因素及发病风险预测研究较少, 本研究构建贝叶斯网络模型, 寻找DM患者发生心绞痛的相关影响因素并进行风险预测, 为降低DM患者发生心绞痛的发病风险提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源 英国生物银行 (UK Biobank, UKB) 数据库成立于2006年, 纳入了2006—2010年在英格兰、苏格兰和威尔士招募的约50万名40~69岁参与者信息, 研究中心对参与者进行

了基线评估并持续随访^[10-11], 该研究获得了由西北多中心伦理委员会提供的伦理批准, 参与者均签署了知情同意书。本研究利用UKB数据的申请号为78500。

1.2 研究对象 研究对象选取2006—2010年确诊的DM患者, 在502 411例UKB参与者中, 依据排除标准排除参与者476 016例, 共有26 395例参与者符合要求。排除基础信息、生化指标数据缺失、问卷回答选项为“不知道”和“不愿意回答”的参与者3 683例, 最终纳入22 712例参与者。纳入和排除标准如下。纳入标准: ①根据DM诊断标准, 确诊为DM患者的参与者; ②无癌症就诊记录以及自我报告癌症史; ③无严重心、肺、肝、肾疾病; ④无其他系统性疾病。排除标准: ①基础信息变量缺失参与者; ②生化指标变量缺失参与者; ③通过问卷获取信息的相关变量中问卷回答选项为“不知道”和“不愿意回答”的参与者。其中DM诊断标准: ①有相关诊疗记录或者自我报告的DM病史; ②服用降糖药物或胰岛素; ③血液样本检测的空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG) $\geq 7.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。心绞痛诊断标准: 有相关诊疗记录或自我报告的心绞痛病史。

1.3 变量选取 本研究以DM患者是否发生心绞痛为结局变量。选取患者年龄、性别、种族、体质量指数 (body mass index, BMI)、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）、总胆固醇（total cholesterol, TC）、甘油三酯（triglycerides, TG）、糖化血红蛋白（glycated hemoglobin, HbA1c）、吸烟状况、饮酒状况、患高血压、母亲分娩前后吸烟、儿童时期相对体型、母乳喂养、规律运动、失眠、睡眠时长和健康饮食共 19 个变量进行研究。变量具体赋值情况见表 1。其中高血压诊断标准及规律运动和健康饮食定义如下。高血压诊断标准：①有高血压诊疗记录或自我报告高血压病史；②服用降压药物。根据世界卫生组织（World Health Organization, WHO）标准 BMI 分类，偏瘦：BMI≤18.4 kg·m⁻²；正常：BMI 18.5~24.9 kg·m⁻²；超重：BMI 25.0~

30.0 kg·m⁻²；肥胖：BMI>30.0 kg·m⁻²。规律运动定义^[12]为满足以下 3 个条件之一视为达到常规体力活动水平：①每周≥150 min 中度活动；②每周≥75 min 剧烈运动；③每周≥150 min 混合（中度+剧烈）活动。健康饮食定义：根据相关研究和美国心脏协会指南^[13-14]，包含 10 种健康饮食成分，每种健康饮食成分算作 1 个饮食评分项。健康饮食定义为满足一半及以上的健康饮食建议^[15]（饮食评分≥5 分）：每天水果≥3 份，每天蔬菜≥3 份，每天全谷物≥3 份，每周贝壳类/鱼≥2 份，每天乳制品≥2 份，每天植物油≥2 份，每天精制谷物≤2 份；每周加工肉≤1 份，每周红肉≤2 份，含糖饮料不食用。

表 1 DM 患者发生心绞痛相关变量及其赋值情况

Tab. 1 Variables associated with occurrence of angina pectoris in patients with DM and their assignments

Variable	Assignment
Gender	Female=0, Male=1
Age	<60=0, ≥60=1
Nation	Others=0, White=1
BMI (kg·m ⁻²)	Normal=0, Overweight=1, Obesity=2
LDL-c (mmol·L ⁻¹)	<4.14=0, ≥4.14=1
HDL-c (mmol·L ⁻¹)	<1.04=0, ≥1.04=1
TC (mmol·L ⁻¹)	<5.2=0, ≥5.2=1
TG (mmol·L ⁻¹)	<1.7=0, ≥1.7=1
HbA1c (mmol·L ⁻¹)	20-42=0, >42=1
Smoke status	Never=0, Previous=1, Current=2
Drink status	Never=0, Previous=1, Current=2
Maternal smoking around birth	No=0, Yes=1
Breastfeeding	No=0, Yes=1
Comparative body size in childhood	Average=0, Thinner=1, Plumper=2
HBP	No=0, Yes=1
Regular exercise	No=0, Yes=1
Healthy diet	No=0, Yes=1
Insomnia	Never=0, Sometimes=1, Usually=2
Sleep duration	7-8 h=0, <7 h=1, >8 h=2
Angina	No=0, Yes=1

1.4 贝叶斯网络模型的构建 贝叶斯网络模型是表示变量间概率依赖关系的有向无环图，由节点和有向边组成，其中节点表示随机变量，有向边表示变量间的概率依赖关系，每个节点有一个与其相对应的条件概率分布表（conditional probability distribution table, CPT），能够通过已知信息推断其余节点的概率。贝叶斯网络模型由结构 G 和参数

θ 两部分组成。结构 G 为有向无环图 $G = \{V, E\}$ ，其中节点变量集合为 $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ，有向边集合为 E 。参数 θ 为一组条件概率分布，每个节点储存其自身与父节点集合之间的条件概率分布，即 $P[X_i|P_a(X_i)]$ ， $P_a(X_i)$ 代表父节点 X_i 的集合。基于条件独立性假设，贝叶斯网络将联合概率分布 P 分解为^[16]： $P(X_1, X_2, \dots, X_n) =$

$\prod_{i=1}^n P[X_i|P_a(X_i)]$ 。公式中 n 为节点数, X_i 为第 i 个节点, $P_a(X_i)$ 为 X_i 的父节点集合。结构学习是确定网络拓扑结构的过程, 禁忌搜索算法^[17] 是一种亚启发式随机搜索算法, 通过对局部邻域逐步搜索得到全局最优解。本研究采用禁忌搜索算法进行结构学习。在初始网络构建完成后, 查阅相关文献并结合专家经验, 进行结构调整, 包括删除不合理的有向边, 增加必要的有向边等。采用贝叶斯估计的方法在构建完成的网络结构基础上进行参数学习, 得到各节点的条件概率表。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 25.0 统计软件和

R 4.2.3 统计软件进行统计学分析。未发生心绞痛组和发生心绞痛组 DM 患者临床资料组间比较采用 χ^2 检验, 通过禁忌搜索算法实现贝叶斯网络的结构学习, 采用 GeNIe 4.0 软件完成贝叶斯网络模型结构绘制和敏感性分析。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究对象一般情况 本研究共纳入 22 712 例符合标准的 DM 患者, 其中未发生心绞痛 19 540 例, 发生心绞痛 3 172 例。研究对象临床资料和单因素分析结果见表 2。

表2 DM患者发生心绞痛的单因素分析
Tab. 2 Univariate analysis on occurrence of angina pectoris in patients with DM [n(η/%)]

Variable	Non-Angina (n=19 540)	Angina (n=3 172)	χ^2	P
Gender			199.348	<0.001
Female	7 906(40.461)	866(27.301)		
Male	11 634(59.539)	2 306(72.699)		
Age(Year)			307.417	<0.001
≤60	8 396(42.968)	840(26.482)		
>60	11 144(57.032)	2 332(73.518)		
Nation			7.720	0.006
Others	2 520(12.897)	353(11.129)		
White	17 020(87.103)	2 819(88.871)		
BMI(kg·m ⁻²)			123.255	<0.001
Normal	1 506(7.707)	119(3.752)		
Overweight	4 521(23.137)	604(19.042)		
Obesity	13 513(69.156)	2 449(77.206)		
LDL-c(mmol·L ⁻¹)			31.424	<0.001
<4.14	18 521(94.785)	3 080(97.100)		
≥4.14	1 019(5.215)	92(2.900)		
HDL-c(mmol·L ⁻¹)			103.052	<0.001
<1.04	6 273(32.103)	1 309(41.267)		
≥1.04	13 267(67.897)	1 863(58.733)		
TC(mmol·L ⁻¹)			151.702	<0.001
≤5.2	15 050(77.021)	2 751(86.728)		
>5.2	4 490(22.979)	421(13.272)		
TG(mmol·L ⁻¹)			93.441	<0.001
≤1.7	8 930(45.701)	1 158(36.507)		
>1.7	10 610(54.299)	2 014(63.493)		
HbA1c(mmol·L ⁻¹)			39.046	<0.001
20—42	4 060(20.778)	507(15.984)		
>42	15 480(79.222)	2 665(84.016)		
Smoke status			8.692	<0.001
Never	17 399(89.043)	2 769(87.295)		

续表

Variable	Non-Angina (<i>n</i> =19 540)	Angina (<i>n</i> =3 172)	χ^2	<i>P</i>
Previous	1 615(8.255)	299(9.426)	51.580	0.013
Current	526(2.692)	104(3.279)		
Drink status				
Never	1 689(8.642)	291(9.174)	10.615	<0.001
Previous	1 342(6.867)	329(10.372)		
Current	16 500(84.441)	2 552(80.454)		
Maternal smoking around birth			1.925	0.165
No	14 465(74.028)	2 261(71.280)		
Yes	5 075(25.972)	911(28.720)		
Breastfeeding			9.007	0.011
No	3 248(16.622)	496(15.637)		
Yes	16 292(83.378)	2 676(84.363)		
Comparative body size in childhood			144.562	<0.001
Average	8 944(45.773)	1 368(43.128)		
Thinner	6 614(33.848)	1 151(36.286)		
Plumper	3 982(20.379)	653(20.586)	12.667	<0.001
HBP				
No	8 967(45.890)	1 093(34.458)		
Yes	10 573(54.110)	2 079(65.542)	0.353	0.552
Regular exercise				
No	17 230(88.178)	2 866(90.353)		
Yes	2 310(11.822)	306(9.647)	159.495	<0.001
Healthy diet				
No	15 804(80.880)	2 587(81.557)		
Yes	3 736(19.120)	594(18.443)	103.074	<0.001
Insomnia				
Never	4 292(21.965)	466(14.691)		
Sometimes	8 606(44.043)	1 296(40.858)	103.074	<0.001
Usually	6 642(33.992)	1 410(44.451)		
Sleep duration				
7—8 h	11 864(60.716)	1 652(52.081)	103.074	<0.001
<7 h	5 317(27.211)	973(30.674)		
>8 h	2 359(12.073)	547(17.245)		

HBP: High blood pressure.

2.2 Logistic 回归分析模型结果 以是否发生心绞痛为因变量，单因素分析中具有统计学意义的变量为自变量，纳入模型进行多因素 Logistic 回归分析，自变量纳入排除标准为 $P<0.05$ 。结果显示：患者性别、年龄、BMI、TG、TC、HbA1c、患高血压、母亲分娩前后吸烟、吸烟状况、饮酒状况、规律运动、失眠、睡眠时长和儿童时期相对体型共 14 个变量为 DM 患者发生心绞痛的影响因素，见表 3。

2.3 贝叶斯网络模型结果 根据多因素 Logistic 回

归分析筛选出的 14 个 DM 患者发生心绞痛的影响因素变量，构建包含 15 个节点、22 条有向边的贝叶斯网络模型（图 1）。图中节点方框中的数值代表各节点变量的先验概率，如发生心绞痛对应的数值为 14%，表示发生心绞痛在所研究的全部人群中所占比例为 14%。其中患者年龄、HbA1c、患高血压、规律运动、睡眠时长和 BMI 与 DM 患者发生心绞痛直接相关，患者性别、吸烟状况、饮酒状况、TC、TG、失眠、儿童时期相对体型和母亲分娩前后吸烟与 DM 患者发生心绞痛间接相关。在

表3 DM患者发生心绞痛的多因素 Logistic 回归分析

Tab. 3 Multifactorial Logistic regression analysis on occurrence of angina in patients with DM

Variable	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>Wald</i> χ^2	<i>P</i>	<i>OR</i> (95%CI)
Age(referring to <60)					
≥ 60	0.702	0.043	266.169	<0.001	2.018(1.855—2.196)
Gender(referring to female)					
Male	0.573	0.047	151.011	<0.001	1.773(1.618—1.943)
Nation(referring to others)					
White	-0.067	0.067	0.994	0.319	0.935(0.820—1.067)
BMI(referring to normal)					
Overweight	0.276	0.082	11.391	0.001	1.318(1.123—1.547)
Obesity	0.507	0.081	39.606	<0.001	1.661(1.418—1.946)
LDL-c(referring to <1.04 mmol·L ⁻¹)					
≥ 1.04 mmol·L ⁻¹	0.003	0.125	0.009	0.983	1.003(0.784—1.282)
HDL-c(referring to <4.14 mmol·L ⁻¹)					
≥ 4.14 mmol·L ⁻¹	-0.043	0.044	0.950	0.330	0.958(0.879,1.044)
TC(referring to ≤ 5.2 mmol·L ⁻¹)					
> 5.2 mmol·L ⁻¹	-0.528	0.064	69.000	<0.001	0.590(0.520—0.668)
TG(referring to ≤ 1.7 mmol·L ⁻¹)					
> 1.7 mmol·L ⁻¹	0.257	0.043	35.075	<0.001	1.293(1.188—1.408)
HbA1c(referring to 20—42 mmol·L ⁻¹)					
> 42 mmol·L ⁻¹	0.175	0.053	10.758	0.001	1.191(1.073—1.323)
Insomnia(referring to never)					
Sometimes	0.378	0.059	41.623	<0.001	1.459(1.301—1.636)
Usually	0.654	0.060	119.198	<0.001	1.923(1.710—2.162)
HBP(referring to no)					
Yes	0.306	0.042	54.367	<0.001	1.358(1.252—1.474)
Comparative body size in childhood (referring to average)					
Thinner	0.124	0.045	7.675	0.006	1.131(1.037—1.235)
Plumper	0.061	0.054	1.298	0.255	1.063(0.957—1.181)
Maternal smoking around birth(referring to no)					
Yes	0.141	0.045	9.917	0.002	1.152(1.055—1.257)
Smoke status(referring to never)					
Previous	0.227	0.069	10.791	0.001	1.255(1.096—1.438)
Current	0.264	0.113	5.441	0.020	1.302(1.043—1.626)
Drink status(referring to never)					
Previous	0.084	0.094	0.797	0.372	1.088(0.905—1.308)
Current	-0.320	0.073	19.015	<0.001	0.726(0.629—0.838)
Regular exercise(referring to no)					
Yes	-0.199	0.066	9.095	0.003	0.820(0.721—0.933)
Sleep duration(referring to <7 h)					
7—8 h	0.173	0.047	13.794	<0.001	1.189(1.085—1.303)
> 8 h	0.377	0.056	45.365	<0.001	1.458(1.307—1.627)

HBP: High blood pressure.

构建完成的网络拓扑结构基础上进行参数学习, 得到与DM患者发生心绞痛直接相关的6个影响因素

节点的部分条件概率表。见表4。

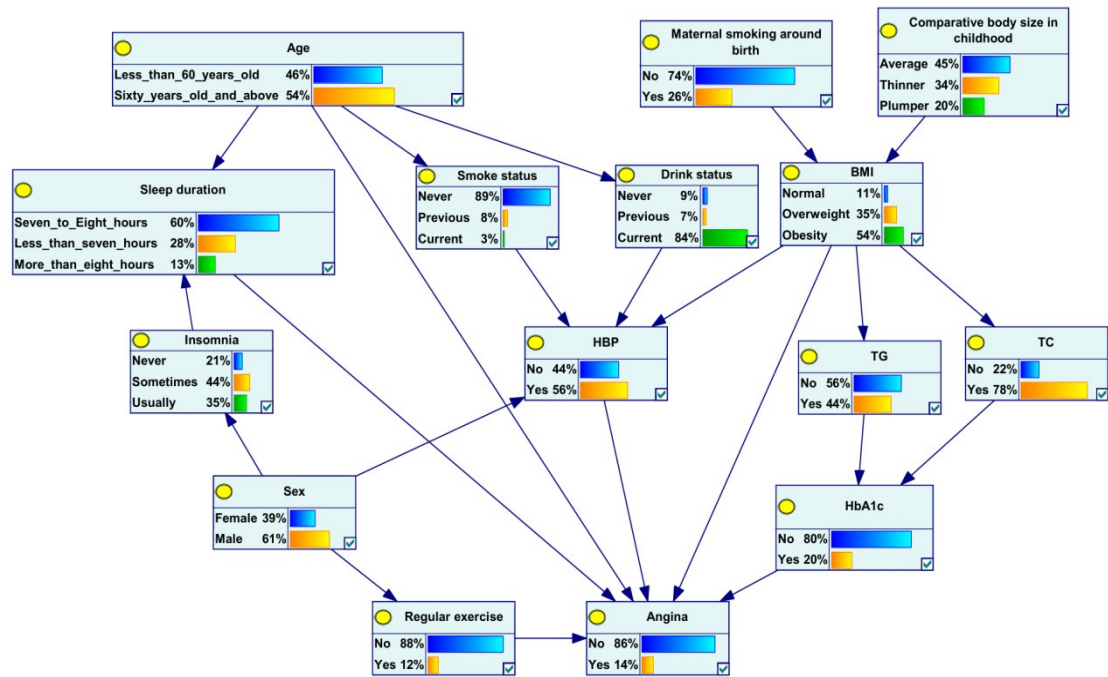


图1 DM患者发生心绞痛贝叶斯网络模型及先验概率

Fig. 1 Bayesian network model and prior probability of angina in patients with DM

表4 DM患者发生心绞痛部分条件概率表

Tab. 4 Partial conditional probabilities table of angina in patients with DM

BMI	HbA1c [$c_B/(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$]	HBP	Regular exercise	Sleep duration	Age (year)	Angina	
						No	Yes
Normal	20—42	No	No	7—8 h	<60	0.976	0.024
Normal	20—42	No	No	<7 h	≥ 60	0.919	0.081
Normal	20—42	No	No	>8 h	<60	0.998	0.002
Overweight	20—42	No	No	7—8 h	<60	0.966	0.034
Overweight	20—42	No	No	<7 h	≥ 60	0.871	0.129
Overweight	20—42	No	No	>8 h	<60	0.928	0.072
Obesity	20—42	No	No	7—8 h	<60	0.952	0.048
Obesity	20—42	No	No	<7 h	≥ 60	0.727	0.278
Obesity	20—42	No	No	>8 h	<60	0.795	0.205
Normal	>42	No	No	7—8 h	<60	0.984	0.016
Normal	>42	No	No	<7 h	≥ 60	0.869	0.131
Normal	>42	No	No	>8 h	<60	0.999	0.001
Overweight	>42	No	No	7—8 h	<60	0.941	0.059
Overweight	>42	No	No	<7 h	≥ 60	0.825	0.175
Overweight	>42	No	No	>8 h	<60	0.952	0.048
Obesity	>42	No	No	7—8 h	<60	0.932	0.068
Obesity	>42	No	No	<7 h	≥ 60	0.785	0.215
Obesity	>42	No	No	>8 h	<60	0.872	0.128

HBP: High blood pressure.

条件概率表结果显示：在根据 BMI 判定为肥胖、HbA1c 处于正常值水平、患高血压、不进行

规律运动、睡眠时长 <7 h 和年龄 ≥ 60 岁的条件下，DM 患者发生心绞痛的概率为 0.278。

2.4 个体DM患者发生心绞痛的风险预测 在GeNIe软件中绘制构建完成的贝叶斯网络模型, 在各节点添加DM患者信息对并发心绞痛发生风险进行推理预测。假定某DM患者<60岁, 根据BMI判断为肥胖, 从未吸烟和饮酒, 未患高血压, 在无

其他疾病表现的条件下, 则该患者发生心绞痛的风险为8% (图2A)。若该患者年龄增加至60岁以上, 其他疾病表现不变的条件下, 发生心绞痛的风险增加至18% (图2B)。

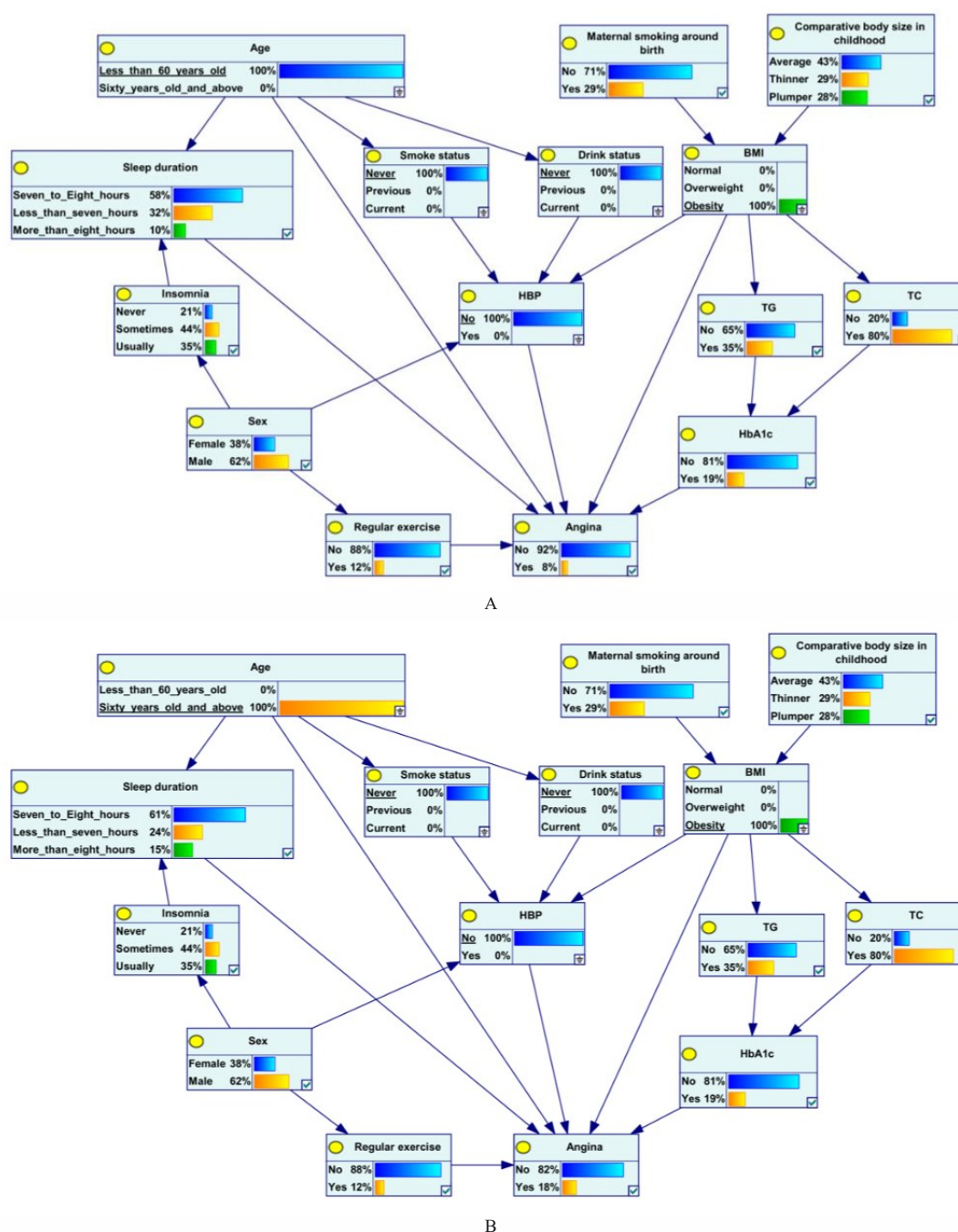


图2 个体DM患者发生心绞痛的风险预测

Fig. 2 Risk prediction of angina in individual patients with DM

2.5 模型验证与敏感性分析 设置发生心绞痛为目标节点, 在GeNIe4.0软件中进行敏感性分析,

见图3。图3中的红色节点表示该节点变量为目标节点变量的敏感性指标。患者年龄、BMI、是否患

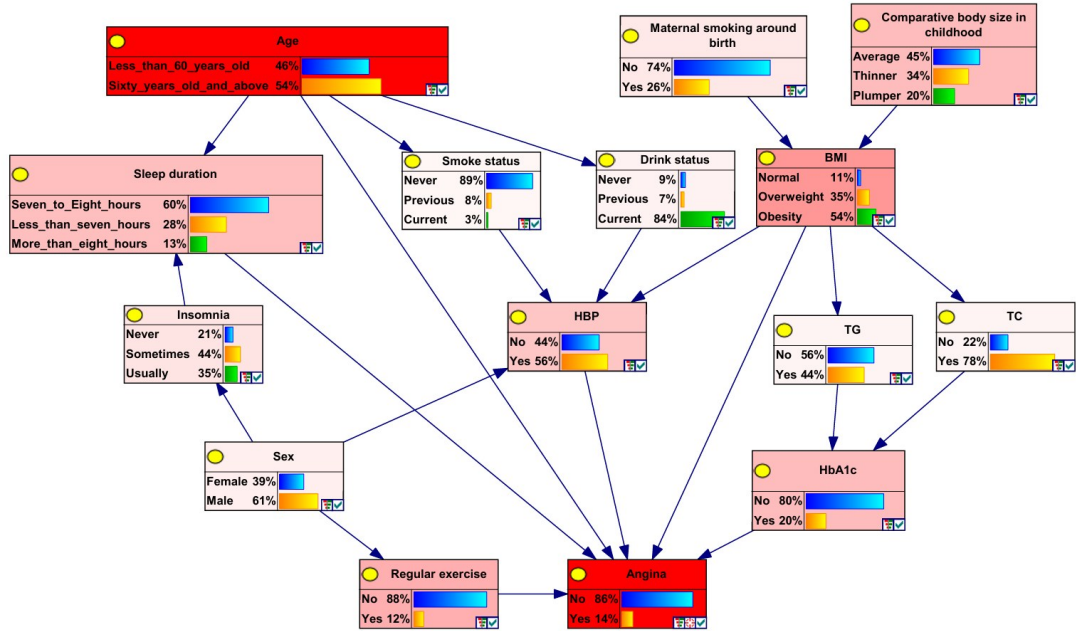


图 3 各指标预测心绞痛发生的敏感性分析
Fig. 3 Sensitivity analysis on prediction of angina pectoris by various indexes

高血压和 HbA1c 的灵敏度指数分别为 0.079、0.036、0.013 及 0.012，高于其他指标（表 5），表明患者年龄、BMI、是否患高血压是预测 DM 患者发生心绞痛概率的重要指标。模型验证结果显示：模型预测的准确率为 0.86，受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线为凸函数，ROC 曲线下面积（area under the curve，AUC）为 0.749 [95% 置信区间（confidence interval，CI）=0.735~0.763]，表明模型预测性能良好。见图 4。

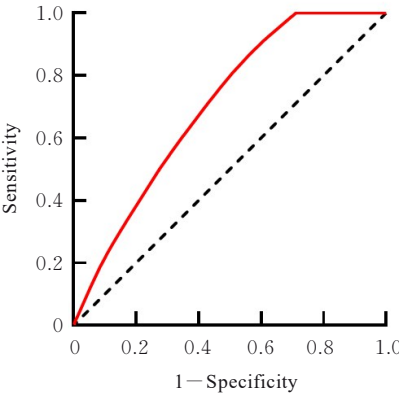


图 4 模型的 ROC 曲线
Fig. 4 ROC curves of model

表 5 各指标预测心绞痛发生的灵敏度
Tab. 5 Sensitivity of various indexes in prediction of angina pectoris (η/%)

Node	Sensitivity index
Age	7.9
BMI	3.6
HBP	1.3
HbA1c	1.2
Sleep duration	1.2
Regular exercise	1.1
Comparative body size in childhood	0.8
Insomnia	0.4
Maternal smoking around birth	0.3

HBP: High blood pressure.

3 讨论

本研究基于 UKB 数据库，通过构建贝叶斯网络模型探讨 DM 患者发生心绞痛的影响因素并进行风险预测，结果显示：患者年龄、HbA1c、患高血压、规律运动、BMI 和睡眠时长是 DM 患者发生心绞痛的直接影响因素。随着患者年龄的增长，DM 患者血管内皮功能易受到损伤，易形成血栓进而引发心绞痛^[4]。本研究结果显示：个体 DM 患者年龄由 60 岁以下升至 60 岁以上时，心绞痛发生风险增加了 10%，提示老年 DM 患者应更加关注自身健康状况，预防心绞痛的发生。HbA1c 和 BMI 水平作为 DM 患者监测

血糖及肥胖的重要指标,与冠心病和高血压等心脑血管疾病的发生密切相关^[19-21]。本研究结果显示:HbA1c水平升高和肥胖的DM患者发生心绞痛的风险分别为正常水平1.66倍和1.19倍。失眠通过影响睡眠时长进而影响DM患者发生心绞痛的风险,因此DM患者应加强血糖监测,合理控制饮食,保持合适的睡眠时长对预防心绞痛发生至关重要^[22-23]。本研究结果显示:合理规律的运动能够降低DM患者发生心绞痛的风险,可能与进行规律运动能够增强机体免疫力及控制DM患者血糖水平有关。

综上所述,DM患者(特别是老年DM患者)在实际生活中应定期体检,合理控制血糖水平和BMI,保持良好的作息习惯和规律运动,从而预防心绞痛的发生。本研究构建贝叶斯网络模型能够将各影响因素与发生心绞痛及影响因素之间的复杂关系可视化,并预测个体DM患者发生心绞痛的风险。本研究存在一定的局限性,研究人群来自UKB数据库,主要为英国地区的人群,可能不适用于其他国家和地区人群或其他种族。虽然可能会影响结果对其他种族的适用性,但不会改变研究内部的有效性。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:

李爽参与研究选题、数据分析、论文撰写和修改,葛佳瑜、丛显铸和王爱民参与数据整理及图表编辑,孔雨佳、石福艳和王素珍参与研究设计及论文审校。

[参考文献]

- [1] Society of Diabetes, Shanghai Medical Association; Society of Endocrinology, Shanghai Medical Association. 成人糖尿病患者血压管理专家共识[J]. 上海医学, 2021, 44(1): 8-18.
- [2] COLES B, ZACCARDI F, HVID C, et al. Cardiovascular events and mortality in people with type 2 diabetes and multimorbidity: a real-world study of patients followed for up to 19 years[J]. *Diabetes Obes Metab*, 2021, 23(1): 218-227.
- [3] 陈 松, 杨 姣. 心绞痛介入治疗联合药物治疗的长期疗效观察[J]. *中国现代药物应用*, 2024, 18(5): 78-81.
- [4] 刘婧南, 丁慧茹, 韩东旭, 等. 2型糖尿病患者血清A20水平下降的相关因素分析[J]. *同济大学学报(医学版)*, 2025, 46(03): 418-425.
- [5] 刘虹宏, 张冬花, 杨永红, 等. 糖尿病对未发生过心肌梗死的老年冠心病患者存活心肌的影响[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2023, 25(10): 1042-1045.
- [6] 卢亚男, 刘丽俊, 高 宇, 等. 糖化白蛋白、糖化白蛋白/糖化血红蛋白与2型糖尿病合并冠心病相关性的研究[J]. *中国糖尿病杂志*, 2023, 31(9): 678-682.
- [7] GOLDBERG R B, ORCHARD T J, CRANDALL J P, et al. Effects of long-term metformin and lifestyle interventions on cardiovascular events in the diabetes prevention program and its outcome study [J]. *Circulation*, 2022, 145(22): 1632-1641.
- [8] 王旭春, 宋伟梅, 潘金花, 等. MMPC-Tabu混合算法的贝叶斯网络模型在高脂血症相关因素研究中的应用[J]. *中国卫生统计*, 2022, 39(3): 345-350, 355.
- [9] BIEDERMANN A, TARONI F. Bayesian networks and probabilistic reasoning about scientific evidence when there is a lack of data[J]. *Forensic Sci Int*, 2006, 157(2/3): 163-167.
- [10] CLIFTON L, LIU X N, COLLISTER J A, et al. Assessing the importance of primary care diagnoses in the UK Biobank[J]. *Eur J Epidemiol*, 2024, 39(2): 219-229.
- [11] LUGNER M, RAWSHANI A, HELLERYD E, et al. Identifying top ten predictors of type 2 diabetes through machine learning analysis of UK Biobank data[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 2102.
- [12] DI GIUSEPPE D, BOTTAI M, ASKLING J, et al. Physical activity and risk of rheumatoid arthritis in women: a population-based prospective study [J]. *Arthritis Res Ther*, 2015, 17(1): 40.
- [13] 张 杰. 健康生活方式的代谢特征与类风湿关节炎发病风险关联性研究: 基于英国生物银行队列[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2023.
- [14] PEDERSEN B K, FISCHER C P. Beneficial health effects of exercise: the role of IL-6 as a myokine[J]. *Trends Pharmacol Sci*, 2007, 28(4): 152-156.
- [15] NIELSEN S, PEDERSEN B K. Skeletal muscle as an immunogenic organ[J]. *Curr Opin Pharmacol*, 2008, 8(3): 346-351.
- [16] 吕志刚, 李 叶, 王洪喜, 等. 贝叶斯网络的结构学习综述[J]. *西安工业大学学报*, 2021, 41(1): 1-17.
- [17] ZHANG Z, ZHANG J, WEI Z, et al. Application of tabu search-based Bayesian networks in exploring related factors of liver cirrhosis complicated with hepatic encephalopathy and disease identification [J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 6251.
- [18] 邵文娟, 贾 潇, 蔡可书, 等. 基于贝叶斯网络的膝关节关节炎患病风险定量预测研究[J]. *北京体育大学学报*,

- 2024, 47(3): 124-132.
- [19] WANG Y H, LIU H Z, HU X D, et al. Association between hemoglobin glycation index and 5-year major adverse cardiovascular events: the REACTION cohort study[J]. Chin Med J (Engl), 2023, 136(20): 2468-2475.
- [20] XU S, QIN Z, YUAN R X, et al. The hemoglobin glycation index predicts the risk of adverse cardiovascular events in coronary heart disease patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 992252.
- [21] PAKHARE M, ANJANKAR A. Critical correlation between obesity and cardiovascular diseases and recent advancements in obesity[J]. Cureus, 2024, 16(1): e51681.
- [22] ZHANG Z Q, DING J W, WANG X N, et al. Abnormal circadian rhythms are associated with plaque instability in acute coronary syndrome patients[J]. Int J Clin Exp Pathol, 2019, 12(10): 3761-3771.
- [23] 赵丹红, 李婷艳, 蔡海琴. 活血宁心安神方联合穴位贴敷治疗冠心病稳定型心绞痛合并失眠临床研究[J]. 新中医, 2023, 55(12): 155-159.