

# 中国成年人内脏肥胖指数与肾结石发病风险的关联

张伟, 郑生旗, 花天池, 李一帆, 范其兵

扬州大学附属医院泌尿外科, 江苏扬州 225000

**[摘要]** **目的:** 探讨中国内脏肥胖指数(CVAI)与肾结石发病风险的相关性。**方法:** 通过横断面研究分析78 438名在扬州大学附属医院健康管理中心进行健康筛查时接受超声检查的中国成人的资料。将研究对象根据CVAI以四分位法等分(Q1组~Q4组), 采用多因素logistic回归模型评估CVAI与肾结石发病风险的关系, 并进行亚组分析。采用受试者操作特征(ROC)曲线评估CVAI对肾结石风险的预测效能。**结果:** 随着CVAI升高, 研究对象肾结石的发病率呈上升趋势, 从Q1组的3.36%增加至Q4组的10.67% ( $P<0.01$ )。多因素调整后, CVAI与肾结石的发病风险呈正相关 ( $OR=1.002, 95\%CI: 1.001\sim 1.004, P<0.01$ ), Q2、Q3、Q4组肾结石发病风险分别为Q1组的1.196倍 ( $95\%CI: 1.069\sim 1.338, P<0.01$ )、1.260倍 ( $95\%CI: 1.109\sim 1.433, P<0.01$ )、1.316倍 ( $95\%CI: 1.125\sim 1.539, P<0.01$ )。亚组分析发现, CVAI与男性、年龄小于60岁、高血压组、糖尿病组、非糖尿病组以及体重指数正常组的肾结石发病风险呈正相关, 性别和年龄对CVAI与肾结石发病风险具有交互作用 (均  $P<0.05$ )。ROC曲线分析结果显示, CVAI较腰围、体重指数、内脏肥胖指数、体重调整腰围指数、心脏代谢指数和身体形态指数具有更高的预测效能 (曲线下面积为0.622)。**结论:** 在中国成年人中, CVAI与肾结石发病风险呈正相关, 可能可以作为肾结石的风险预测指标。



**[关键词]** 肾结石; 肥胖; 中国内脏肥胖指数; 风险预测; 横断面研究

**[中图分类号]** R692.4 **[文献标志码]** A

## Association between Chinese visceral adiposity index and

收稿日期(Received): 2024-04-05 修改返回日期(Revised): 2025-03-16 接受日期(Accepted): 2025-04-26 网络预发表日期(Online): 2025-05-18

**基金项目(Funding):** 国家自然科学基金(82002675); 江苏省科技计划青年基金(BK2020938); 扬州市重点研发计划社会发展项目(YZ2020110); 扬州市软科学研究计划(YZ2022267); 江苏省博士后研究资助计划(2020Z268); 扬州大学高层次人才研究启动基金(2019LYF)

**第一作者(First author):** 张伟, 硕士研究生, 主要从事泌尿系结石临床研究; E-mail: 352828654@qq.com; ORCID: 0009-0007-7823-2716

**通信作者(Corresponding author):** 范其兵, 主任医师, 硕士生导师, 主要从事泌尿外科临床和基础研究; E-mail: fanfan\_20020315@163.com; ORCID: 0009-0008-0790-4340. 李一帆, 副主任医师, 硕士生导师, 主要从事泌尿系肿瘤的基础和临床转化研究; E-mail: 092107@yzu.edu.cn; ORCID: 0000-0002-3275-5569

## the risk of nephrolithiasis

ZHANG Wei, ZHENG Shengqi, HUA Tianchi, LI Yifan, FAN Qibing (Department of Urology, Affiliated Hospital of Yangzhou University, Yangzhou 225000, Jiangsu Province, China)

Corresponding authors: FAN Qibing, E-mail: fanfan\_20020315@163.com, ORCID: 0009-0008-0790-4340; LI Yifan, E-mail: 092107@yzu.edu.cn, ORCID: 0000-0002-3275-5569

[ **Abstract** ] **Objective:** To explore the association between Chinese visceral adiposity index (CVAI) and the risk of nephrolithiasis. **Method:** This cross-sectional study analyzed data from 78 438 Chinese adults who underwent ultrasound examinations during health screening at the Health Examination Center of Affiliated Hospital of Yangzhou University. Participants were divided into quartiles (Q1–Q4 groups) based on CVAI. Multivariate logistic regression models were utilized to evaluate the association between CVAI and nephrolithiasis risk, followed by subgroup analyses to further explore potential relationships. The performance of CVAI in predicting the risk of nephrolithiasis was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results:** Increased CVAI was significantly associated with a higher risk of nephrolithiasis, with prevalence rising from 3.36% in the Q1 group to 10.67% in the Q4 group ( $P<0.01$ ). In adjusted models, CVAI was positively correlated with the prevalence rate of nephrolithiasis ( $OR=1.002$ ,  $95\%CI: 1.001-1.004$ ,  $P<0.01$ ). The risks of nephrolithiasis in the Q2, Q3, and Q4 groups were 1.196-fold ( $95\%CI: 1.069-1.338$ ,  $P<0.01$ ), 1.260-fold ( $95\%CI: 1.109-1.433$ ,  $P<0.01$ ), and 1.316-fold ( $95\%CI: 1.125-1.539$ ,  $P<0.01$ ) higher than in the Q1 group, respectively. Subgroup analysis revealed that CVAI was positively associated with the risk of nephrolithiasis in male participants, individuals aged  $<60$  years, the hypertension group, populations with or without diabetes mellitus, and the normal body mass index subgroup. Genders and age had an interaction effect on the correlation between CVAI and the risk of nephrolithiasis development (both  $P<0.05$ ). The ROC curve analysis demonstrated that CVAI exhibited superior predictive efficacy compared to waist circumference, body mass index, visceral adiposity index, weight-adjusted waist index, cardiometabolic index and body shape index, with an area under the curve of 0.622. **Conclusion:** In Chinese adults, CVAI is positively associated with the risk of nephrolithiasis development, which may serve as a potential predictive marker for nephrolithiasis.

[ **Key words** ] Nephrolithiasis; Obesity; Chinese visceral adiposity index; Risk prediction; Cross-sectional study

[J Zhejiang Univ (Med Sci), 2025, 54(3): 382-389.]

[ **缩略语** ] 体重指数 (body mass index, BMI); 内脏肥胖指数 (visceral adiposity index, VAI); 三酰甘油 (triglycerides, TG); 高密度脂蛋白胆固醇 (high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C); 中国内脏肥胖指数 (Chinese visceral adiposity index, CVAI); 低密度脂蛋白胆固醇 (low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C); 受试者操作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC 曲线); 体重调整腰围指数 (weight-adjusted waist index, WWI); 心脏代谢指数 (cardiometabolic index, CMI); 身

体形态指数(a body shape index, ABSI); 比值比(odds ratio, OR); 置信区间(confidence interval, CI); 曲线下面积(area under the curve, AUC)

肾结石是泌尿外科常见疾病之一,在欧洲、亚洲、北美洲的发病率分别为7%~13%、5%~9%、1%~5%,在我国大陆地区的发病率为1.61%~20.45%,且患者首次发作后的5~10年内再发率高于50%<sup>[1]</sup>。尽管肾结石不属于严重疾病,但由肾结石引起的并发症可以导致死亡<sup>[2]</sup>。迄今,肾结石已成为一个重要的公共卫生问题,给个人和社会造成严重的经济负担<sup>[3-4]</sup>。因此,如何预防肾结石的发生显得尤为重要。近年研究发现,高血压、高血糖和肥胖等代谢相关疾病均可能通过不同机制影响肾脏生理功能,从而增加肾结石风险<sup>[5]</sup>。其中肥胖因与胰岛素抵抗、慢性炎症状态及尿液成分改变密切相关,已成为肾结石领域的研究热点<sup>[6-7]</sup>。在肥胖评估方法上,Amato等<sup>[8]</sup>通过腰围、BMI等参数与血脂代谢指标建立VAI,用于评估心脏代谢风险相关的内脏肥胖功能障碍,引起了广泛关注。但是,由于人种和代谢特征的差异,该指标在中国人群中的适用性受到限制。基于此背景,Xia等<sup>[9]</sup>以中国成年人为目标,整合年龄、性别、BMI、腰围、TG和HDL-C,构建了CVAI作为中国成年人内脏肥胖功能障碍评估的可靠指数。本研究拟通过分析中国成年人体检数据探究CVAI与肾结石风险的相关性,以期为肾结石风险的临床评估提供可量化的工具,为肾结石预防和早期干预提供科学依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究设计及对象

本研究为一项横断面研究,收集了2022年1月至12月在扬州大学附属医院健康管理中心进行健康筛查的中国成年人资料。该中心完成健康筛查的受检者共113 947名,排除18岁以下及缺少基线临床数据的参与者35 509名,最终共纳入78 438名受检者(图1)。

### 1.2 数据收集及定义

受检者资料均由扬州大学附属医院健康管理中心的医生进行系统收集,包括受检者年龄、性别、身高、体重、腰围、手术史、既往疾病史(如高血压、糖尿病等)等。按照中国成人标准,BMI介于24.0~<28 kg/m<sup>2</sup>为超重,BMI在28 kg/m<sup>2</sup>及以上为

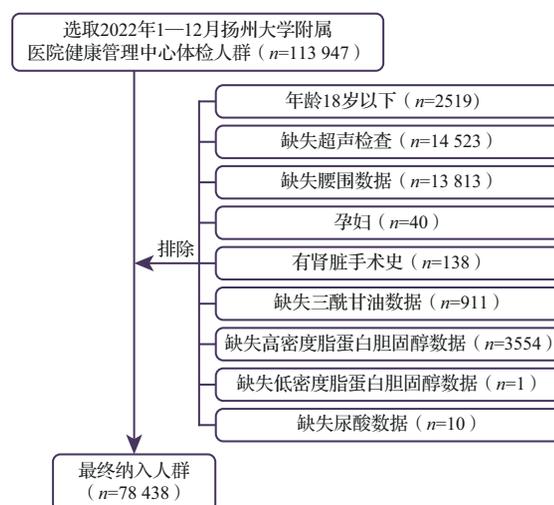


图1 研究人群样本选择流程图

Figure 1 Flowchart of sample selection

肥胖。高血压定义为收缩压140 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)及以上和/或舒张压90 mmHg及以上,或根据受检者提供的既往诊断记录或是否服用降压药物来确定。糖尿病的定义基于以下条件之一:既往明确诊断的糖尿病、空腹血糖7.0 mmol/L及以上或正在接受包括胰岛素在内的糖尿病药物治疗。全部受检者抽血前均禁食12 h,样本均使用干化学法(美国Abbott公司C16000)检测,测定指标包括总胆固醇、TG、HDL-C、LDL-C、尿酸。

### 1.3 暴露变量和应变量

本研究的暴露变量为CVAI,应变量为受检者是否存在肾结石。其中,CVAI主要反映体内内脏脂肪含量,CVAI值越高表明内脏脂肪含量越高,心血管疾病的预测发病率越高,其计算公式为:女性 $CVAI = -187.32 + 1.71 \times \text{年龄} + 4.23 \times \text{BMI} (\text{kg/m}^2) + 1.12 \times \text{腰围} (\text{cm}) + 39.76 \times \lg \text{TG} (\text{mmol/L}) - 11.66 \times \text{HDL-C} (\text{mmol/L})$ ;男性 $CVAI = -267.93 + 0.68 \times \text{年龄} + 0.03 \times \text{BMI} (\text{kg/m}^2) + 4.00 \times \text{腰围} (\text{cm}) + 22.00 \times \lg \text{TG} (\text{mmol/L}) - 16.32 \times \text{HDL-C} (\text{mmol/L})$ 。

### 1.4 肾结石诊断

肾结石的诊断均由经验丰富的超声医生做出。使用GE LOGIQ E9彩色多普勒超声诊断仪(配备3.5~5.0 MHz凸阵探头)进行检查,根据肾脏结构中强回声伴声影诊断结石,并记录其他尿路结构的异常结果<sup>[10]</sup>。

1.5 统计学方法

所有分析均采用R 4.2.0软件完成。连续性变量用均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )描述,组间比较采用单因素方差分析;分类变量采用例数(百分比)[ $n(\%)$ ]描述,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。采用多因素 logistic 回归模型探讨 CVAI 与肾结石之间的独立关系,选择方差膨胀因子小于5且与肾结石显著相关的协变量纳入最终模型,以确保控制潜在的混杂因素。为评估结果的稳健性,通过多元回归分析按性别、年龄、高血压和 BMI 分层进行亚组分析。采用 ROC 曲线比较 CVAI 与肥胖相关传统指标(腰围、BMI)和新型指标(VAI、WWI、CMI、ABSI)对肾结石风险的预测价值<sup>[11-13]</sup>。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 研究对象的基本特征

将研究对象按照 CVAI 水平进行四分位等

分,随着 CVAI 的升高,对象的平均年龄、男性比例、身高、体重、腰围、肥胖率、总胆固醇、TG、LDL-C、尿酸水平以及糖尿病、高血压和肾结石患病率均上升(均 $P<0.01$ ),见表1。结果提示,CVAI 与肾结石风险呈正相关,可能可以作为代谢相关肾结石的风险预测指标。

2.2 CVAI 与肾结石的相关性

多因素 logistic 回归分析结果(表2)显示,三个模型中 CVAI 与肾结石的发生均呈正相关(均 $P<0.01$ )。模型3分析结果显示,CVAI 每增加一个单位,肾结石风险增加2%( $OR=1.002, 95\%CI: 1.001\sim 1.004$ )。与 CVAI Q1 组比较,CVAI Q2、Q3 和 Q4 组在三个模型中的肾结石发病风险均上升(均 $P<0.01$ )。结果提示,内脏脂肪积累对肾结石风险的影响在不同代谢水平人群中普遍存在。

进一步行亚组分析(表3)发现,CVAI 与男性( $OR=1.003, 95\%CI: 1.001\sim 1.004$ )、年龄 60 岁以下( $OR=1.006, 95\%CI: 1.004\sim 1.007$ )、高血压( $OR=$

表 1 研究对象的基本特征

Table 1 Characteristics of the study population

组 别	n	CVAI	年龄(岁)	男 性	身高(cm)	体重(kg)	腰围(cm)	[ $\bar{x}\pm s$ 或 $n(\%)$ ]
								BMI(kg/m <sup>2</sup> )
总体	78 438	86±46	48±15	46 611(59.42)	169±8	69±13	84±10	24.30±3.53
CVAI Q1 组	19 610	25±20	38±10	4931(25.15)	166±7	57±7	73±5	20.85±2.00
CVAI Q2 组	19 609	72±10	47±12	10 988(56.04)	168±8	66±9	81±4	23.34±2.12
CVAI Q3 组	19 609	103±9	52±14	14 468(73.78)	170±8	72±10	86±4	25.09±2.22
CVAI Q4 组	19 610	144±22	55±15	16 224(82.73)	171±8	82±13	95±7	27.93±3.12
P 值*	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
组 别	n	BMI 分组			总胆固醇(mmol/L)	三酰甘油(mmol/L)		
		正 常	超 重	肥 胖				
总体	78 438	38 170(48.66)	29 162(37.18)	11 106(14.16)	4.88±0.94	1.79±1.60		
CVAI Q1 组	19 610	18 397(93.81)	1198(6.11)	15(0.08)	4.61±0.84	0.92±0.42		
CVAI Q2 组	19 609	12 520(63.85)	6661(33.97)	428(2.18)	4.90±0.91	1.44±0.81		
CVAI Q3 组	19 609	5905(30.11)	11 826(60.31)	1878(9.58)	4.99±0.95	2.02±1.44		
CVAI Q4 组	19 610	1348(6.87)	9477(48.33)	8785(44.8)	5.02±1.02	2.76±2.34		
P 值*	—	<0.01			<0.01	<0.01		
组 别	n	HDL-C(mmol/L)	LDL-C(mmol/L)	尿酸( $\mu$ mol/L)	糖尿病	高血压	肾结石	
总体	78 438	1.30±0.33	2.77±0.75	345±91	6975(8.89)	28 130(35.86)	5580(7.11)	
CVAI Q1 组	19 610	1.55±0.32	2.52±0.67	286±70	234(1.19)	1436(7.32)	658(3.36)	
CVAI Q2 组	19 609	1.34±0.30	2.84±0.73	332±81	977(4.98)	5192(26.48)	1203(6.13)	
CVAI Q3 组	19 609	1.21±0.26	2.89±0.76	367±84	2024(10.32)	8880(45.29)	1626(8.29)	
CVAI Q4 组	19 610	1.11±0.24	2.82±0.80	395±90	3740(19.07)	12 622(64.37)	2093(10.67)	
P 值*	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

—:无相关数据.\*不同 CVAI 组别比较.CVAI:中国内脏肥胖指数;BMI:体重指数;HDL-C:高密度脂蛋白胆固醇;LDL-C:低密度脂蛋白胆固醇.

表2 中国内脏肥胖指数与肾结石风险的多因素 logistic 回归分析结果

Table 2 Multivariate logistic regression analysis of Chinese visceral adiposity index and nephrolithiasis risk

变 量	模型 1		模型 2		模型 3	
	OR(95%CI)	P 值	OR(95%CI)	P 值	OR(95%CI)	P 值
CVAI	1.009(1.009~1.010)	<0.01	1.004(1.003~1.006)	<0.01	1.002(1.001~1.004)	<0.01
不同CVAI						
Q2与Q1	1.883(1.708~2.075)	<0.01	1.284(1.152~1.430)	<0.01	1.196(1.069~1.338)	<0.01
Q3与Q1	2.604(2.373~2.858)	<0.01	1.447(1.284~1.630)	<0.01	1.260(1.109~1.433)	<0.01
Q4与Q1	3.441(3.145~3.765)	<0.01	1.610(1.396~1.858)	<0.01	1.316(1.125~1.539)	<0.01
P值*		<0.01		<0.01		<0.01

\*不同CVAI组别趋势检验. 模型1无协变量,模型2根据年龄、性别和体重指数进行调整,模型3根据年龄、性别、体重指数、糖尿病、高血压、三酰甘油、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、尿酸进行调整. CVAI:中国内脏肥胖指数;OR:比值比;CI:置信区间.

1.005, 95%CI: 1.003~1.007)、糖尿病( $OR=1.005$ , 95%CI: 1.001~1.010)或非糖尿病( $OR=1.002$ , 95%CI: 1.000~1.003)、BMI正常( $OR=1.004$ , 95%CI: 1.002~1.006)者肾结石发病风险均呈正相关(均 $P<0.05$ ),且性别和年龄对CVAI与肾结石发病风险具有交互作用. 结果提示,内脏脂肪积累在不同亚组中存在差异化作用机制.

### 2.3 CVAI对肾结石的预测效能

ROC曲线分析结果(图2和表4)显示,相较于肥胖相关传统指标(腰围、BMI)和新型指标(VAI、WWI、CMI、ABSI),CVAI对肾结石发病风险的预测效能略优( $AUC=0.622$ ).以90.737为最佳阈值,CVAI预测肾结石发病风险的特异度为

0.536,敏感度为0.648,综合效能优于其他指标. 结果提示,CVAI在中国人群中对肾结石风险的预测效能优于其他指标,对肾结石风险的预测有一定价值.

### 3 讨 论

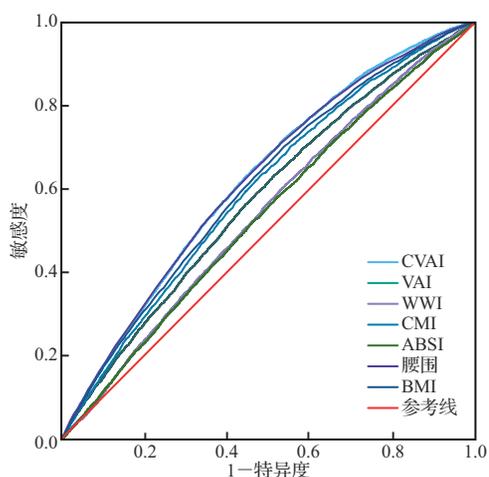
目前,CVAI已广泛用于评估中国人群各方面的健康状况,如糖尿病及并发症<sup>[14-15]</sup>、心血管疾病<sup>[16-17]</sup>等.然而,关于CVAI与肾结石发病风险之间的相关性证据有限.近期,Zhang等<sup>[17]</sup>通过横断面研究发现,CVAI低于100时,每增加一个单位,肾结石发病率增加1%,表明CVAI作为中国人群内脏肥胖的特定指数,在评估中国人群肾结

表3 中国内脏肥胖指数与肾结石风险的亚组多因素 logistic 回归分析结果

Table 3 Multivariate logistic regression analysis of Chinese visceral adiposity index and nephrolithiasis risk in subgroups

亚 组	模型 1		模型 2		模型 3		P 值(交互作用)
	OR(95%CI)	P 值	OR(95%CI)	P 值	OR(95%CI)	P 值	
性别							<0.01
女性	1.005(1.004~1.006)	<0.01	1.005(0.999~1.010)	>0.05	1.005(0.995~1.015)	>0.05	
男性	1.006(1.006~1.007)	<0.01	1.005(1.003~1.006)	<0.01	1.003(1.001~1.004)	<0.01	
年龄							<0.05
<60岁	1.011(1.010~1.011)	<0.01	1.008(1.006~1.009)	<0.01	1.006(1.004~1.007)	<0.01	
≥60岁	1.004(1.003~1.006)	<0.01	1.003(1.000~1.006)	<0.05	1.001(0.999~1.004)	>0.05	
高血压							>0.05
无	1.009(1.009~1.010)	<0.01	1.002(1.000~1.004)	>0.05	0.999(0.997~1.002)	>0.05	
有	1.006(1.005~1.007)	<0.01	1.006(1.004~1.008)	<0.01	1.005(1.003~1.007)	<0.01	
糖尿病							>0.05
无	1.010(1.009~1.010)	<0.01	1.004(1.002~1.005)	<0.01	1.002(1.000~1.003)	<0.05	
有	1.004(1.002~1.006)	<0.01	1.006(1.003~1.010)	<0.01	1.005(1.001~1.010)	<0.05	
BMI							>0.05
正常	1.010(1.009~1.011)	<0.01	1.005(1.004~1.007)	<0.01	1.004(1.002~1.006)	<0.01	
超重	1.008(1.006~1.009)	<0.01	1.005(1.003~1.007)	<0.01	1.002(1.000~1.004)	>0.05	
肥胖	1.005(1.003~1.007)	<0.01	1.003(1.001~1.005)	<0.01	1.001(0.999~1.003)	>0.05	

BMI:体重指数;OR:比值比;CI:置信区间.



CVAI:中国内脏肥胖指数;VAI:内脏肥胖指数;WWI:体重调整腰围指数;CMI:心脏代谢指数;ABSI:身体形态指数;BMI:体重指数。

图2 中国内脏肥胖指数及相关指标预测肾结石发病风险的受试者操作特征曲线

Figure 2 Receiver operating characteristic curves of Chinese visceral adiposity index and related indices in predicting nephrolithiasis

表4 中国内脏肥胖指数及相关指标预测肾结石风险的效能

Table 4 Performance assessment of the Chinese visceral adiposity index and related indices in predicting nephrolithiasis

指 标	AUC(95%CI)	最佳阈值	特异度	敏感度
CVAI	0.622(0.615~0.630)	90.737	0.536	0.648
VAI	0.577(0.569~0.584)	0.662	0.486	0.632
WWI	0.543(0.535~0.551)	10.035	0.459	0.608
CMI	0.597(0.589~0.604)	0.505	0.578	0.569
ABSI	0.537(0.529~0.544)	0.078	0.540	0.517
腰围	0.621(0.614~0.629)	84.750	0.543	0.637
BMI	0.608(0.600~0.615)	23.650	0.461	0.702

CVAI:中国内脏肥胖指数;VAI:内脏肥胖指数;WWI:体重调整腰围指数;CMI:心脏代谢指数;ABSI:身体形态指数;BMI:体重指数;AUC:曲线下面积;CI:置信区间。

石发病率中具有重要的临床价值。本研究通过对78 438名中国成人的横断面研究发现,将连续性变量CVAI进行四等分后,CVAI Q4组的肾结石发病率明显更高,且回归分析结果提示CVAI每增加一个单位,肾结石风险增加2‰。

肾结石作为常见的泌尿系统疾病,其发生的具体机制尚不清楚。CVAI与肾结石风险之间的关联可能与多个代谢机制有关。首先,CVAI作为评估内脏肥胖功能障碍的指标,高CVAI与高营养物质的摄入有关,可能导致尿钙、尿草酸盐

和尿酸的排泄增加,而肾结石的形成与高尿酸血症和草酸排泄密切相关<sup>[18]</sup>。其次,CVAI与高血压、糖尿病、血脂异常和中心型肥胖等密切相关<sup>[14, 16, 19]</sup>,内脏肥胖通过增加IL-6、肿瘤坏死因子- $\alpha$ 和高敏C反应蛋白的产生促进全身和血管炎症,从而导致动脉粥样硬化生成并随后发生心血管疾病;而高血压、血脂异常可能通过影响肾脏血流和滤过率损害肾脏细胞功能增加肾结石形成风险<sup>[20-22]</sup>。此外,内脏肥胖通过促进炎症标志物和促炎性脂肪因子的生成减少脂联素分泌,从而引发胰岛素抵抗,导致肾单位中氨分泌减少,增加肾结石形成风险<sup>[23-24]</sup>。

本研究发现,性别和年龄对CVAI与肾结石发病风险具有交互作用,在调整混杂因素后,CVAI在男性中仍然与肾结石发病风险存在正相关,表明CVAI在评估男性肾结石发病风险中具有更强的特异性。这可能归因于性别间的生理差异<sup>[25-26]</sup>。此外,在不同年龄组中,低年龄组CVAI值高的个体与肾结石发病风险之间的相关性更为显著,提示利用CVAI预测肾结石在年轻个体中更有意义。

本研究比较了CVAI、肥胖相关传统指标(腰围、BMI)和新型指标(VAI、WWI、CMI、ABSI)对肾结石风险的预测效能,发现CVAI表现出相对更高的预测价值。首先,CVAI相较于传统指标的临床价值在于其综合年龄、性别、BMI、腰围及血脂等多元参数,通过数学模型降低单一指标的偏差,从而提高风险评估的稳定性。其次,CVAI是基于中国成年人群特征构建的内脏脂肪评估指标,与其他新型指标相比展现出更高的适配性。研究表明,CVAI与中国人群代谢综合征存在显著关联<sup>[14-16]</sup>,提示其评估肾结石风险的机制中可能存在与其他代谢疾病共同的通路<sup>[23]</sup>。未来研究可进一步探索CVAI与尿液生物标志物和其他潜在风险标志物联合优化模型,以深化对肾结石风险分层机制的理解。

综上所述,CVAI与肾结石发病风险相关,或许可以作为肾结石风险预测指标。本研究为CVAI与肾结石风险关联提供了数据支持,但研究尚存在一定局限性。首先,由于横截面设计无法确定CVAI与肾结石之间的因果关系,即使调整了潜在混杂因素,仍然无法排除饮食、药物、生活方式及家族史等可能导致的偏倚;其次,本研

究的受检人群均来自于特定地域,可能限制了结果的普遍适用性。未来可以进一步设计前瞻性队列研究,以确定两者之间的因果关系。另外,可以扩大研究人群范围,以验证本研究结果的普遍性和适用性。

本文附加文件见电子版。



**志谢** 研究得到国家自然科学基金(82002675)、江苏省科技计划青年基金(BK2020938)、扬州市重点研发计划社会发展项目(YZ2020110)、扬州市软科学研究计划(YZ2022267)、江苏省博士后研究资助计划(2020Z268)和扬州大学高层次人才研究启动基金(2019LYF)支持

**Acknowledgements** The study was supported by the National Natural Science Foundation of China (82002675), Science and Technology Plan Youth Fund Project of Jiangsu Province (BK2020938), Key R&D Plan-Social Development Project of Yangzhou City (YZ2020110), Soft Science Research Plan of Yangzhou City (YZ2022267), Postdoctoral Research Funding Program of Jiangsu Province (2020Z268), and Yangzhou University High-level Talent Research Start-up Fund (2019LYF)

**作者贡献** 张伟、郑生旗、花天池、李一帆和范其兵参与论文选题和设计或参与资料获取、分析或解释,起草研究论文或修改重要智力性内容。所有作者均已阅读并认可最终稿件,并对数据的完整性和安全性负责。具体见电子版

**Author Contributions** ZHANG Wei, ZHENG Shengqi, HUA Tianchi, LI Yifan and FAN Qibing participated in brewing and designing experiments, or acquisition, analysis, or interpretation of data for the work; drafting the work, or revising critically for important intellectual content. All authors have read and approved the final manuscript, and take responsibility for the integrity and security of the data. See the electronic version for details

**数据可用性** 本研究的相关数据可根据合理请求从通信作者(E-mail:092107@yzu.edu.cn)处获得

**Data Availability** All relevant data supporting the findings of this study can be accessed upon reasonable request from the corresponding author at 092107@yzu.edu.cn

**医学伦理** 研究通过扬州大学附属医院伦理委员会审查(2023-YKL01-课13)并符合1964年《赫尔辛基宣言》及之后的修订版或类似的伦理标准。研究豁免患者知情同意

**Ethical Approval** All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of Affiliated Hospital of Yangzhou University (2023-YKL01-ke13), and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. The exemption from informed consent for the study was approved

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**Conflict of Interests** The authors declare that there is no conflict of interests

©The author(s) 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

## 参考文献(References)

- [1] WANG W, FAN J, HUANG G, et al. Prevalence of kidney stones in mainland China: a systematic review [J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 41630.
- [2] TZELVES L, TÜRK C, SKOLARIKOS A. European Association of Urology Urolithiasis guidelines: where are we going?[J]. *Eur Urol Focus*, 2021, 7(1): 34-38.
- [3] D' COSTA M R, HALEY W E, MARA K C, et al. Symptomatic and radiographic manifestations of kidney stone recurrence and their prediction by risk factors: a prospective cohort study[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2019, 30(7): 1251-1260.
- [4] THONGPRAYOON C, KRAMBECK A E, RULE A D. Determining the true burden of kidney stone disease [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2020, 16(12): 736-746.
- [5] WONG Y, COOK P, RODERICK P, et al. Metabolic syndrome and kidney stone disease: a systematic review of literature[J]. *J Endourol*, 2016, 30(3): 246-253.
- [6] TAGUCHI K, CHEN L, USAWACHINTACHIT M, et al. Fatty acid-binding protein 4 downregulation drives calcification in the development of kidney stone disease[J]. *Kidney Int*, 2020, 97(5): 1042-1056.
- [7] TAN Z, HONG J, SUN A, et al. Causal effects of circulating lipids and lipid-lowering drugs on the risk of urinary stones: a Mendelian randomization study[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14: 1301163.
- [8] AMATO M C, GIORDANO C, GALIA M, et al. Visceral Adiposity Index: a reliable indicator of visceral fat function associated with cardiometabolic risk[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(4): 920-922.
- [9] XIA M F, CHEN Y, LIN H D, et al. A indicator of visceral adipose dysfunction to evaluate metabolic health in adult Chinese[J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 38214.
- [10] ZENG G, MAI Z, XIA S, et al. Prevalence of kidney stones in China: an ultrasonography based cross-sectional study[J]. *BJU Int*, 2017, 120(1): 109-116.

- [11] CHEN D, XIE Y, LUO Q, et al. Association between weight-adjusted waist index and kidney stones: a propensity score matching study[J]. **Front Endocrinol (Lausanne)**, 2024, 15: 1266761.
- [12] ZHONG S, LI G, TIAN C, et al. Associations between cardiometabolic index with kidney stones: evidence from NHANES 2007—2018[J]. **Front Endocrinol (Lausanne)**, 2025, 16: 1485477.
- [13] HU X, LI X, YE N, et al. Association of novel anthropometric indices with prevalence of kidney stone disease: a population-based cross-sectional study[J]. **Eur J Med Res**, 2024, 29(1): 204.
- [14] HAN M, QIN P, LI Q, et al. Chinese visceral adiposity index: a reliable indicator of visceral fat function associated with risk of type 2 diabetes[J/OL]. **Diabetes Metab Res Rev**, 2021, 37(2): e3370.
- [15] WAN H, WANG Y, XIANG Q, et al. Associations between abdominal obesity indices and diabetic complications: Chinese visceral adiposity index and neck circumference[J]. **Cardiovasc Diabetol**, 2020, 19(1): 118.
- [16] REN Y, HU Q, LI Z, et al. Dose-response association between Chinese visceral adiposity index and cardiovascular disease: a national prospective cohort study [J]. **Front Endocrinol (Lausanne)**, 2024, 15: 1284144.
- [17] ZHANG Z, ZHAO L, LU Y, et al. Association between Chinese visceral adiposity index and risk of stroke incidence in middle-aged and elderly Chinese population: evidence from a large national cohort study[J]. **J Transl Med**, 2023, 21(1): 518.
- [18] KHAN S R, PEARLE M S, ROBERTSON W G, et al. Kidney stones[J]. **Nat Rev Dis Primers**, 2016, 2: 16008.
- [19] QIAO T, LUO T, PEI H, et al. Association between abdominal obesity indices and risk of cardiovascular events in Chinese populations with type 2 diabetes: a prospective cohort study[J]. **Cardiovasc Diabetol**, 2022, 21(1): 225.
- [20] FAHED G, AOUN L, BOU ZERDAN M, et al. Metabolic syndrome: updates on pathophysiology and management in 2021[J]. **Int J Mol Sci**, 2022, 23(2): 786.
- [21] ROCHA V Z, LIBBY P. Obesity, inflammation, and atherosclerosis[J]. **Nat Rev Cardiol**, 2009, 6(6): 399-409.
- [22] VAN GAAL L F, MERTENS I L, DE BLOCK C E. Mechanisms linking obesity with cardiovascular disease [J]. **Nature**, 2006, 444(7121): 875-880.
- [23] WU H, BALLANTYNE C M. Metabolic inflammation and insulin resistance in obesity[J]. **Circ Res**, 2020, 126(11): 1549-1564.
- [24] PAGLIARA A S, GOODMAN A D. Elevation of plasma glutamate in gout[J]. **N Engl J Med**, 1969, 281(14): 767-770.
- [25] COOPER A J, GUPTA S R, MOUSTAFA A F, et al. Sex/gender differences in obesity prevalence, comorbidities, and treatment[J]. **Curr Obes Rep**, 2021, 10(4): 458-466.
- [26] GARAWI F, DEVRIES K, THOROGOOD N, et al. Global differences between women and men in the prevalence of obesity: is there an association with gender inequality?[J]. **Eur J Clin Nutr**, 2014, 68(10): 1101-1106.

[本文编辑 余方沈敏]

## · 学术动态 ·

### 钱玲慧研究员团队开发新型荧光分子高效设计“助推器”

2025年4月16日,浙江大学药学院钱玲慧研究员、廖佳宇研究员团队联合海洋学院马忠俊教授团队在《自然·通讯》(*Nature Communications*)在线刊登了题为“A modular artificial intelligence framework to facilitate fluorophore design”(DOI: 10.1038/s41467-025-58881-5)的研究论文,报道了模块化人工智能框架FLAME,用于新型荧光分子的智能设计。

荧光成像技术作为现代基础研究和临床诊疗的核心手段之一,其技术革新与突破始终依赖于荧光分子性能的持续优化和结构创新,但新型荧光分子的研发仍高度依赖于经验性探索和大量试错实验。对此,研究人员建立了迄今为止最大的开源荧光分子数据库FluoDB,创新性采用基于领域知识衍生的“荧光骨架”指纹进行表征,开发了快速精准的光学性能预测模型,进一步整合了分子生成器定向设计新型化合物,并利用有机合成新方法成功合成系列化合物实体,高效获取高亮度的新型荧光分子。该研究突破了传统试错法的化学空间限制,为荧光分子的智能化研发提供了新方案,也为新型荧光探针的构建奠定了技术和物质基础。

朱宇晨和方介斌博士研究生为论文第一作者。研究获得了国家自然科学基金等支持。