

论 著

CT腹主动脉钙化指数与血清同型半胱氨酸水平的相关性及其在尿毒症患者预后的预测价值*

刘晓清^{1*} 何杰²

1.长沙市第三医院(湖南大学附属

长沙医院)肾病内科

2.长沙市第三医院(湖南大学附属

长沙医院)影像科(湖南长沙 410015)

【摘要】目的 探讨CT腹主动脉钙化指数(AACI)与血清同型半胱氨酸水平的相关性及其对尿毒症患者预后的预测价值。**方法** 选取我院2019年1月至2021年12月肾内科住院的尿毒症患者160例为研究对象,根据钙化情况分为非钙化组和钙化组。随访2年后根据是否发生心血管事件分为预后良好组和预后不良组。观察所有患者的一般资料、实验室指标及AACI结果,分析血清同型半胱氨酸(tHcy)与AACI的相关性及二者联合检测对尿毒症患者预后不良的预测作用。**结果** 钙化组tHcy高于非钙化组,预后不良组tHcy和AACI高于预后良好组($P<0.05$),且tHcy与AACI呈正相关($r=0.485, P<0.05$)。tHcy与AACI联合预测的敏感度、特异性分别为93.1%、96.6%,曲线下面积(AUC)为0.952,说明联合预测的敏感度、特异性及AUC均高于单一项。**结论** 血清tHcy与AACI呈正相关,二者联合检测对预测尿毒症患者的不良预后具有重要价值,可提高预测准确性,适合在临床推广。

【关键词】 CT腹主动脉钙化指数; 血清同型半胱氨酸; 尿毒症; 预后

【中图分类号】 R692

【文献标识码】 A

【基金项目】 湖南省卫生健康委科研计划
课题项目(B20182009)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.043

The Correlation between CT Abdominal Aortic Calcification Index and Serum Homocysteine Levels and Its Prognostic Value in Patients with Uremia*

LIU Xiao-qing^{1*}, HE Jie².

1.Department of Nephrology, the Third Hospital of Changsha(the Affiliated Changsha Hospital of Hunan University), Changsha 410015, Hunan Province, China

2.Department of Imaging, the Third Hospital of Changsha (the Affiliated Changsha Hospital of Hunan University), Changsha 410015, Hunan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the correlation between computed tomography aortic calcium index (AACI) and serum total homocysteine (tHcy) levels and their predictive value for the prognosis of uremic patients.

Methods A total of 160 uremic patients admitted to the Department of Nephrology of our hospital from January 2019 to December 2021 were selected as the subjects of this study, and they were divided into non-calcification group and calcification group according to the calcification status. After a 2-year follow-up, the patients were divided into the favorable prognosis group and the unfavorable prognosis group based on whether cardiovascular events occurred. The general information, laboratory indicators and AACI results of all patients were observed. The correlation between tHcy and AACI and the predictive role of the combined detection of the two in the unfavorable prognosis of uremic patients were analyzed. **Results** The tHcy level in the calcification group was higher than that in the non-calcification group. The tHcy and AACI levels in the unfavorable prognosis group were higher than those in the favorable prognosis group ($P<0.05$). Moreover, tHcy was positively correlated with AACI ($r=0.485, P<0.05$). The sensitivity and specificity of the combined prediction of tHcy and AACI were 93.1% and 96.6%, respectively, with an area under the curve (AUC) of 0.952, indicating that the sensitivity, specificity, and AUC of the combined prediction were all higher than those of a single indicator. **Conclusion** Serum tHcy is positively correlated with AACI. The combined detection of the two has great value in predicting the unfavorable prognosis of uremic patients, which can improve the accuracy of prediction and is suitable for clinical promotion.

Keywords: CT Aortic Calcium Index; Serum Total Homocysteine; Uremia; Prognosis

尿毒症是慢性肾脏病(Chronic Kidney Disease, CKD)的终末期表现,其发病率在全球范围内不断上升,已成为严重的公共卫生问题^[1]。尿毒症患者常常伴有多种并发症,其中心血管疾病是导致患者死亡的主要原因,特别是进入终末期肾病(End Stage Renal Disease, ESRD),即尿毒症阶段后,心血管并发症的发生率高达50%,患者预后较差^[2]。血管钙化在CKD患者中普遍存在,随着肾功能恶化逐渐加重,终末期肾病时达到顶峰,尤其是腹主动脉钙化,是终末期肾病患者发生心血管事件及死亡的强有力预测因子^[3-4]。研究表明40%的终末期肾病患者会发生血管钙化^[5]。多层螺旋CT平扫被认为是检测和量化血管钙化的金标准,而腹主动脉钙化指数(abdominal aortic calcification index, AACI)则常用于评估腹主动脉钙化的程度^[6-7]。血清同型半胱氨酸(homocysteine, Hcy)是一种含硫氨基酸,是人体进食动物蛋白质后在体内消化、吸收产生的一种中间产物^[8]。在慢性肾功能不全的患者群体中,观察到Hcy水平呈现上升趋势,尤其当病情进展至尿毒症阶段时,Hcy水平的升高表现尤为显著^[9]。研究表明85%以上的终末期肾病患者存在轻到中度的高同型半胱氨酸血症^[10]。高同型半胱氨酸是慢性肾脏病心血管疾病的非传统风险因素之一,也是终末期肾病心血管疾病患病率及死亡率的一个独立预测因子^[11]。研究发现,同型半胱氨酸可以促进血管的钙化,可能与通过促进内质网应激反应诱导内皮细胞凋亡,促进血管平滑肌细胞向成骨样细胞表型转化有关^[12-14]。也有研究发现,尿毒症患者中血管钙化阳性组较阴性组的Hcy水平显著升高,提示高同型半胱氨酸可能与血管钙化有关^[15]。但血管钙化与Hcy是否相关,二者预测尿毒症患者心血管事件的研究较少。因此,本研究旨在探讨AACI与Hcy水平之间的相关性,并评估其在尿毒症患者预后中的预测价值,为临床医生提供新的诊断和预后评估工具,从而改善尿毒症患者的治疗效果和生活质量。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取我院2019年1月至2021年12月肾内科住院的尿毒症患者160例为研究对象,根据钙化情况分为非钙化组和钙化组。随访2年后根据是否发生心血管事件分为预后良好组和预后不良组。收集患者入院时一般资料,包括性别、年龄、BMI、高血压史、糖尿病史、吸烟史、饮酒史。

纳入标准: 均为慢性肾脏病5期患者,依据2002年美国K/DOQI的CKD定义标准^[16]:根据MDRD公式估算肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)小于15 mL/min/1.73m²;均行血清学和CT检查;签署知情同意书。**排除标准:** 3个月内使用影响叶酸代谢的药物(叶

【第一作者】 刘晓清,女,主治医师,主要研究方向:肾脏病方向。E-mail: Liuxiaoqing@163.com

【通讯作者】 刘晓清

酸、B族维生素)的患者;明确有显性感染的患者;CT图像质量不佳,影响AACI数据计算;各种原因导致退出研究,致使临床资料不完整者。本研究获得长沙市第三医院伦理委员会批准(伦理批准号:2018-KL-022),并已获得所有参与者的知情同意。

所有尿毒症患者均进行了为期2年的随访,随访方式包括门诊和电话方式随访,且每3个月进行一次随访,在随访过程中记录心血管事件发生的类型和时间,并根据是否发生心血管事件分为预后良好组和预后不良组。预后不良定义为发生心血管事件,包括心肌梗死、急性或慢性心力衰竭、心律失常、脑血管意外、冠状动脉疾病等。

1.2 方法

1.2.1 AACI 评定 住院患者在入院第2天接受全腹CT平扫检查,采用西门子40排多层螺旋CT机。由两位医师分别实行盲法阅片半定量计算AACI,取其平均值,采用下段AACI。下段AACI计算方法^[17](如图1):起始点为主动脉分叉处,取每层厚0.5 cm,CT向上连续扫描20个层面,每个层面分为12个扇形区域(A~T),计算钙化斑块(定义为病变部位CT密度 ≥ 130 Hu,并且面积 ≥ 1 mm²)所占的扇区个数,其个数相加除以12,每个层面总数累加后除以20,再乘以100%,所得百分比为下段AACI。即下段AACI=(A/12+B/12+...+T/12)/20 \times 100%(公式中的省略号表示从A到T的每个变量都除以12,然后求和)。参照Nitta的分级方法^[18],将AACI分为下面3种情况:轻度钙化为AACI $\leq 10\%$,中度钙化为11%~30%,重度钙化为AACI $> 30\%$ 。

1.2.2 血清指标检测 受试者在入院次日禁食8 h,清晨空腹抽取静脉血,由检验科医师进行血清学检测。采用迈瑞BC-6800PLUS检测血红蛋白(hemoglobin, Hb);采用罗氏cobas c702检测血清总同型半胱氨酸(total homocysteine, tHcy)、白蛋白(albumin, ALB)、钙(calcium, Ca)、磷(phosphorus, P)、镁(magnesium, Mg)、肌酐(creatinine, Cre)、尿素(Urea)、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)、C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)水平;采用罗氏cobas e602及Elecsys PTH试剂盒检测血清全段甲状旁腺激素(intact parathyroid hormone, iPTH)水平。

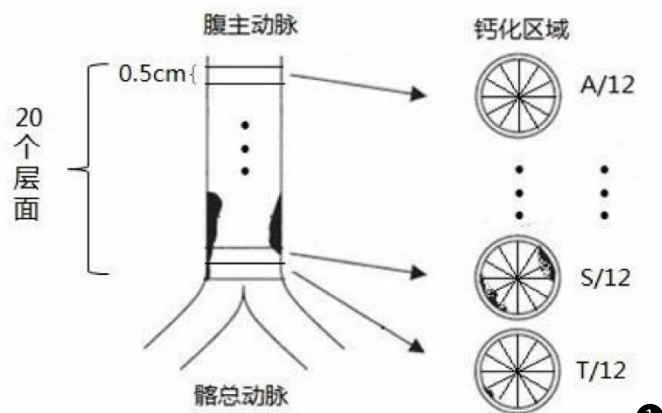


图1 下段AACI计算示意图。

1.3 统计学方法 使用SPSS 27.0软件(USA)进行数据分析。所有变量均进行正态性和方差齐性检验。对正态分布且方差齐的数值变量,采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)来描述,涉及重复测量数据时,组间比较使用单因素协方差分析,组内比较采用t检验。对于非正态分布的计量资料,用中位数及四分位数间距表示,组间采用Wilcoxon检验。计数资料以频数和百分比表示,行 χ^2 检验。血清tHcy与AACI相关性采用Pearson相关分析,利用受试者操作特征(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线评估联合检测及各指标单独检测对尿毒症患者预后不良的预测作用,并计算曲线下面积(area under curve, AUC)比较其预测能力, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 钙化组与非钙化组一般资料和实验室指标比较 两组性别、年龄、BMI、高血压史、吸烟史、饮酒史、Hb、ALB、CRP、P、Mg、Urea、Cre、iPTH、TC、LDL-C、HDL-C差异无统计学意义($P > 0.05$);与非钙化组相比,钙化组年龄较大、糖尿病病史比例较高、Ca水平较高($P < 0.05$)。见表1。

表1 两组一般资料和实验室指标比较

指标	非钙化组(n=40)			钙化组	F/ χ^2	P
	轻度(n=40)	中度(n=40)	重度(n=40)			
性别(男/女例)	18/22	20/20	22/18	23/17	1.477	0.688
年龄(岁)	48.69 \pm 11.94	50.02 \pm 11.25	53.93 \pm 12.37	54.20 \pm 13.21	2.064	0.107
BMI(kg/m ²)	23.66 \pm 4.62	22.49 \pm 3.72	22.41 \pm 3.96	23.60 \pm 4.73	1.015	0.388
高血压史(有/无例)	30/10	34/6	32/8	37/3	4.767	0.190
糖尿病史(有/无例)	9/31	19/21	22/18	23/17	12.370	0.006
吸烟史(有/无例)	17/23	19/21	22/18	23/17	2.275	0.517
饮酒史(有/无例)	19/21	22/18	23/17	20/20	1.003	0.801
Hb(g/L)	94.29 \pm 18.41	93.38 \pm 19.67	92.37 \pm 17.04	90.25 \pm 18.03	0.366	0.778
ALB(g/L)	35.13 \pm 5.63	32.92 \pm 7.06	33.45 \pm 5.51	34.80 \pm 6.48	1.154	0.329
CRP(mg/L)	8.41 \pm 2.03	9.30 \pm 5.47	9.00 \pm 5.08	9.46 \pm 5.36	0.385	0.764
Ca(mmol/L)	1.91 \pm 0.10	1.93 \pm 0.92	1.98 \pm 0.11	2.03 \pm 0.27	4.397	0.005
P(mmol/L)	2.07 \pm 0.60	1.96 \pm 0.65	1.94 \pm 0.65	1.94 \pm 0.58	0.372	0.773
Mg(mmol/L)	1.05 \pm 0.64	1.02 \pm 0.57	1.03 \pm 0.73	1.03 \pm 0.66	0.010	0.999
Cre(μ mol/L)	826.90 \pm 102.54	815.60 \pm 105.84	808.55 \pm 107.40	769.42 \pm 97.05	2.338	0.076
Urea(mmol/L)	30.94 \pm 9.55	29.48 \pm 11.45	29.31 \pm 10.13	29.53 \pm 11.23	0.205	0.893
TC(mmol/L)	4.78 \pm 1.03	4.69 \pm 1.00	4.34 \pm 1.26	4.45 \pm 0.95	1.475	0.233
LDL-C(mmol/L)	2.46 \pm 0.54	2.61 \pm 0.44	2.67 \pm 0.62	2.77 \pm 0.58	2.154	0.096
HDL-C(mmol/L)	1.13 \pm 0.58	1.11 \pm 0.60	1.06 \pm 0.54	1.05 \pm 0.53	0.193	0.901
iPTH(ng/L)	288.19 \pm 152.60	258.45 \pm 105.21	244.10 \pm 123.81	215.00 \pm 126.87	2.255	0.084

注: BMI: 体重指数; Hb: 血红蛋白; ALB: 白蛋白; CRP: C-反应蛋白; Ca: 钙; P: 磷; Mg: 镁; Urea: 肌酐; Cre: 尿素; TC: 总胆固醇; LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇; HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇; iPTH: 甲状旁腺激素。

2.2 钙化组与非钙化组影像学表现及血清tHcy水平比较 非钙化组腹主动脉无高密度钙化影，轻度、中度和重度钙化组患者腹主动脉的钙化斑块范围依次增大(见图2)。与非钙化组相比，中度和重度钙化组血清tHcy明显升高，且重度钙化组血清tHcy明显高于中度和轻度钙化组($P<0.05$)，见表2。

2.3 血清tHcy水平和AACI的相关性分析 Pearson相关性分析结果显示，血清tHcy水平和AACI呈正相关($r=0.485, P<0.05$)，见图3。

2.4 预后良好和预后不良组一般资料比较 预后良好组和预后不良组性别、年龄、BMI、高血压史、糖尿病史、吸烟史和饮酒史的差异无统计学意义($P>0.05$)，见表3。

2.5 预后良好和预后不良组血清tHcy水平和AACI比较 预后不良组血清tHcy水平明显高于预后良好组($P<0.05$)。预后不良组AACI中度和重度占比明显高于预后良好组($P<0.05$)。与预后良好组相比，预后不良组AACI明显高于预后良好组($P<0.05$)。见表4。

2.6 血清tHcy联合AACI预测尿毒症患者预后不良的预测效能 血清tHcy和AACI单独预测的敏感度分别为87.5%、69.4%，特异性分别为89.8%、65.9%，AUC分别为0.844、0.702，二者联合预测的敏感度为93.1%，特异性为96.6%，AUC为0.952，说明联合预测的敏感度、特异性及AUC均高于单一预测($P<0.05$)，见表5和图4。

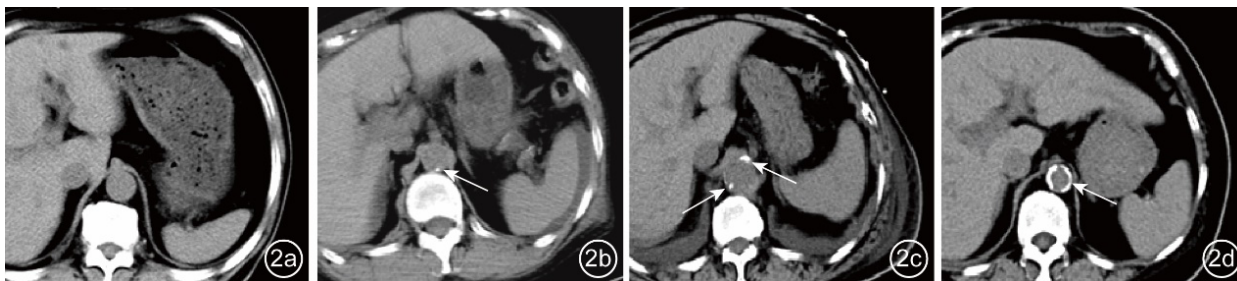


图2 尿毒症患者腹主动脉的CT钙化情况。
图2A: 无钙化; 图2B: 轻度钙化; 图2C: 中度钙化; 图2D: 重度钙化; 图中白色箭头所指为腹主动脉钙化斑块。

表2 钙化组与非钙化组血清tHcy比较

指标	非钙化组(n=40)	钙化组			F	P
		轻度(n=40)	中度(n=40)	重度(n=40)		
tHcy($\mu\text{mol/L}$)	23.11 \pm 8.05	24.95 \pm 7.57	29.86 \pm 8.69 ^{ab}	34.71 \pm 7.86 ^{abc}	16.771	<0.001

注: 与非钙化组相比, ^a $P<0.05$; 与轻度钙化组相比, ^b $P<0.05$; 与中度钙化组相比, ^c $P<0.05$ 。

表3 预后良好组和预后不良组一般资料比较

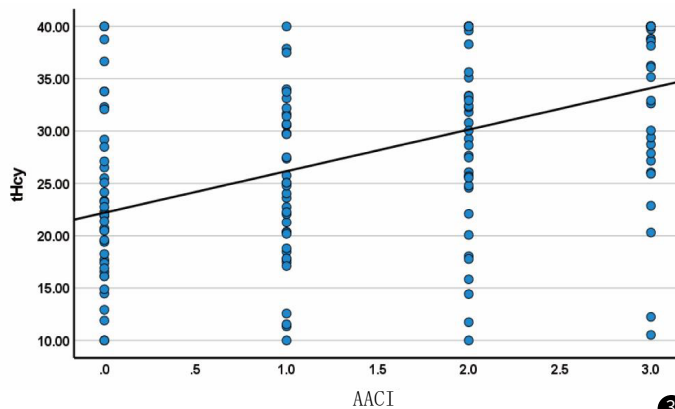
指标	预后良好组(n=88)	预后不良组(n=72)	t/ χ^2	P
性别(男/女, 例)	44/44	39/33	0.275	0.600
年龄(岁)	51.61 \pm 12.71	51.83 \pm 11.95	-0.109	0.913
BMI(kg/m^2)	23.25 \pm 4.23	22.79 \pm 4.35	0.673	0.502
高血压史(有/无, 例)	72/16	61/11	0.238	0.626
糖尿病史(有/无, 例)	38/50	35/37	0.471	0.493
吸烟史(有/无, 例)	45/43	36/36	0.020	0.886
饮酒史(有/无, 例)	46/42	38/34	0.004	0.949

表4 预后良好和预后不良组血清tHcy和AACI比较

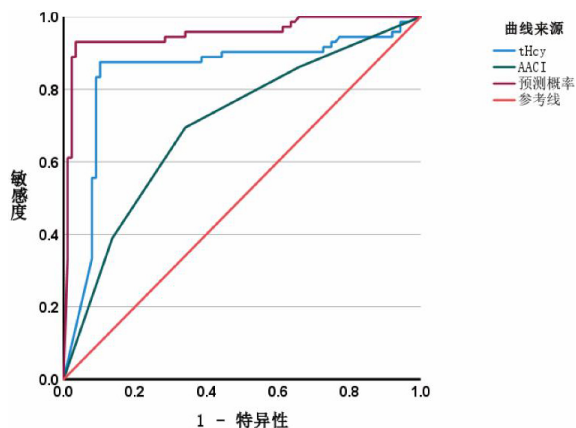
指标	预后良好组(n=88)	预后不良组(n=72)	t/ χ^2	P
tHcy($\mu\text{mol/L}$)	23.33 \pm 7.32	34.05 \pm 0.90	-8.986	<0.001
AACI(例%)			21.818	<0.001
无钙化	30(34.09)	10(13.89)		
轻度	28(31.82)	12(16.67)		
中度	18(20.45)	22(30.56)		
重度	12(13.64)	28(38.89)		

表5 tHcy联合AACI预测尿毒症患者预后不良的预测效能

指标	敏感度(%)	特异性(%)	AUC	95%CI	约登指数	P
tHcy	87.5	89.8	0.844	0.773~0.915	0.773	<0.001
AACI	69.4	65.9	0.702	0.620~0.784	0.354	<0.001
联合	93.1	96.6	0.952	0.915~0.989	0.896	<0.001



3



4

图3 血清tHcy水平和AACI的相关性。图4 tHcy和AACI预测预后不良的ROC曲线。

3 讨论

CKD以其高发病率、高死亡率以及沉重的医疗负担，已然成为全球范围内备受瞩目的重大健康议题^[19]。心血管疾病是终末期肾病患者死亡的首要原因，约50%患者因此丧生^[20]。因此，精准预测慢性肾脏病患者心血管事件的死亡风险具有极为重要的临床价值和深远意义。本研究探讨了血清tHcy与AACI之间的相关性，并进一步评估其对尿毒症患者预后的预测价值，以期临床早期干预和治疗提供更为有力的依据。

尿毒症患者心血管事件由高血压、代谢紊乱及tHcy蓄积等多重因素共同诱发，其中tHcy蓄积可损伤血管内皮并加速肾功能恶化，形成恶性循环。本研究通过对160例尿毒症患者的临床资料和影像学结果进行分析，发现钙化组tHcy高于非钙化组，且中度和重度钙化组血清tHcy明显升高，重度钙化组血清tHcy明显高于中度和轻度钙化组($P<0.05$)，这与杨星梦^[21]等人研究结果一致，提示高同型半胱氨酸可能与血管钙化有关。也有研究指出，tHcy可通过诱导LDL-C的氧化，使氧化型LDL-C堆积于泡沫细胞内，通过促进血栓形成等方式加速钙化的发生^[22]。有研究指出，高龄也是心血管疾病的传统危险因素，并且随着年龄的增长，心血管疾病的发病率也会越来越高，且Hcy水平和年龄具有一定的相关性。本研究中钙化组的年龄明显高于非钙化组($P<0.05$)。推测可能是因为高龄患者通常伴有多脏器的功能下降，如血管壁弹性逐渐减弱，加之可能存在的血管退行性变化和代谢紊乱，使得血管内膜容易发生损伤，从而导致钙盐在腹主动脉壁上沉积，引发钙化。此外，本研究中钙化组的糖尿病病史比例较高($P<0.05$)，这可能与长期高血糖状态下血管损伤加速、脂质代谢异常有关。Pearson相关性分析结果显示，血清tHcy水平和AACI呈正相关($r=0.485$, $P<0.05$)，这一结果与先前的研究报道相一致，这也侧面反映了tHcy与血管钙化之间的关联^[12]。这一相关性可能通过多种机制实现。首先，高同型半胱氨酸血症可能通过促进内质网应激反应，诱导内皮细胞凋亡，从而破坏血管内皮的完整性，促进钙盐沉积^[23]。其次，高同型半胱氨酸血症可能促进血管平滑肌细胞向成骨样细胞表型转化，增加血管壁的钙化倾向^[24]。也有研究表明，尿毒症患者血清中的tHcy水平与氧化应激标志物(MDA水平)呈正相关，而与抗氧化酶(SOD)水平呈负相关，这种氧化应激状态可能通过炎症反应和细胞凋亡等机制促进血管钙化^[25]。因此，在尿毒症患者的临床管理中，应关注患者的基础疾病并控制血糖，及时补充叶酸、维生素B等物质来促进Hcy的代谢，减少Hcy在体内的蓄积，降低高Hcy的发生率，这对于尿毒症患者减少血管钙化和降低心血管并发症的发生具有重要意义。

本研究的一个重要发现是，血清tHcy与AACI联合检测在预测尿毒症患者预后不良上具有显著意义。通过随访2年，我们根据是否发生心血管事件将患者分为预后良好组和预后不良组，并比较了两组患者的血清tHcy和AACI水平。结果显示，预后不良组的血清tHcy，AACI中度及重度占比，均明显高于预后良好组($P<0.05$)。推测高同型半胱氨酸血症和严重的腹主动脉钙化可能通过多种机制增加心血管事件的发生风险，从而导致预后不良。例如，高同型半胱氨酸血症可能通过促进血栓形成、加重动脉粥样硬化等途径，增加心血管事件的发生率，而严重的腹主动脉钙化可能通过增加血管僵硬、减少血管顺应性等机制，影响心血管系统的功能，进而增加心血管事件的风险^[26]。进一步分析发现，血清tHcy和AACI联合预测的敏感度为93.1%，特异性为96.6%，AUC为0.952，均高于单一预测指标($P<0.05$)。这表明血清tHcy和AACI联合检测可以显著提高对尿毒症患者预后不良的预测准确性。联合检测的优势在于综合了两种不同的生物学标志物，从而更全面地反映了患者的病理生理状态。血清tHcy水平主要反映了患者的代谢状态和心血管风险，而AACI则直接反映了血管钙化的程度。通过联合检测这两种指标，可以更准确地评估尿毒症患者的血管风险和预后，为临床医生提供更可靠的决策依据。

尽管本研究取得了有意义的结果，但也存在一些小局限性。首先，本研究为回顾性研究，可能存在选择偏倚和信息偏倚。未来的研究可以采用前瞻性队列研究设计，以减少偏倚的影响。其次，样本量相对较小，可能影响结果的外推性。未来的研究可以扩大样本量，进一步验证本研究的结果。此外，本研究仅关注了

血清tHcy和AACI两个指标，未来的研究可以考虑纳入更多的生物学标志物，如炎症因子、氧化应激指标等，以更全面地评估尿毒症患者的血管风险和预后。

4 结论

尿毒症患者中，血清tHcy与AACI呈正相关，二者联合检测对预测尿毒症患者的不良预后具有重要价值，可提高预测准确性，适合在临床推广。

参考文献

- [1]Lameire N H, Levin A, Kellum J A, et al. Harmonizing acute and chronic kidney disease definition and classification: report of a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Consensus Conference[J]. *Kidney Int*, 2021, 100(3): 516-526.
- [2]Ocak G, Boenink R, Noordzij M, et al. Trends in mortality due to myocardial infarction, stroke, and pulmonary embolism in patients receiving dialysis[J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(4): e227624.
- [3]Vieceli Dalla Sega F, Fortini F, Severi P, et al. Cardiac calcifications: phenotypes, mechanisms, clinical and prognostic implications[J]. *Biology (Basel)*, 2022, 11(3).
- [4]赵盼. 初始进入腹膜透析的糖尿病肾病冠状动脉钙化危险因素分析[J]. *罕少疾病杂志*, 2024, 31(11): 63-64.
- [5]齐杰, 黄宇. 慢性肾脏病患者血管钙化的病理机制研究进展[J]. *中国现代应用药学*, 2019, 36(10): 1311-1315.
- [6]王天昊, 饶胜国, 王乔, 等. 冠状动脉CT成像定量参数与冠心病患者病情严重程度的关系研究[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2024, 22(9): 76-78.
- [7]康男男, 林禹, 岳鑫, 等. 双源CT冠状动脉钙化积分及腹主动脉钙化评分与III-V期慢性肾功能不全的相关性分析[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2022, 20(6): 98-100.
- [8]Smith A D, Refsum H. Homocysteine - from disease biomarker to disease prevention[J]. *J Intern Med*, 2021, 290(4): 826-854.
- [9]Chen C H, Huang S C, Yeh E L, et al. Indoxyl sulfate, homocysteine, and antioxidant capacities in patients at different stages of chronic kidney disease[J]. *Nutr Res Pract*, 2022, 16(4): 464-475.
- [10]王倩, 陈水静, 李建文, 等. 高同型半胱氨酸血症对尿毒症患者心脏结构和功能的影响[J]. *湖南师范大学学报(医学版)*, 2021, 18(06): 10-13.
- [11]陈添儒, 李莹, 王建刚, 等. 慢性肾脏病患者胱抑素C、同型半胱氨酸与动脉硬化指标的相关性[J]. *中南大学学报(医学版)*, 2021, 46(12): 1338-1345.
- [12]裴建升, 杨文娟, 何静, 等. 骨形态发生蛋白2介导同型半胱氨酸促进血管钙化[J]. *中国组织工程研究*, 2024, 28(25): 4027-4033.
- [13]Ren J L, Hou Y L, Ni X Q, et al. Interleukin-1(5-3) ameliorates homocysteine-promoted atherosclerotic calcification by inhibiting endoplasmic reticulum stress[J]. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*, 2020, 25(3): 251-264.
- [14]Duan S, Chen X, Liu Y, et al. Endoplasmic reticulum stress mediates parathyroid hormone-induced apoptosis in vascular smooth muscle cells[J]. *Ren Fail*, 2022, 44(1): 126-136.
- [15]李康玲, 李杰峰, 吴乐昌. 尿毒症血液透析患者高同型半胱氨酸血症与动脉粥样硬化关系的研究[J]. *中国医药科学*, 2020, 10(6): 248-251.
- [16]KDIGO clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification[J]. *Am J Kidney Dis*, 2002, 39(2 Suppl 1): S1-266.
- [17]高娜, 何花, 马嘉乐, 等. Revolution CT低剂量扫描方案对腹主动脉钙化的定量诊断价值[J]. *放射学实践*, 2024, 39(09): 1228-1232.
- [18]Nitta K, Akiba T, Uchida K, et al. Serum osteoprotegerin levels and the extent of vascular calcification in haemodialysis patients[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2004, 19(7): 1886-1889.
- [19]KDIGO 2021 Clinical Practice Guideline for the Management of Blood Pressure in Chronic Kidney Disease[J]. *Kidney Int*, 2021, 99(3s): S1-S87.
- [20]顾春婷, 焦军东. 慢性肾脏病并发心血管疾病机制研究的进展[J]. *心血管康复医学杂志*, 2022, 31(3): 379-382.
- [21]杨星梦, 马晓迎, 生玉平, 等. 慢性肾脏病5期非透析患者同型半胱氨酸与腹主动脉钙化的相关性[J]. *临床荟萃*, 2024, 39(1): 30-33.
- [22]Orehkov A N, Sukhorukov V N, Nikiforov N G, et al. Signaling pathways potentially responsible for foam cell formation: cholesterol accumulation or inflammatory response-What is first?[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(8).
- [23]李炜, 刘静, 郭丽, 等. 内质网应激在同型半胱氨酸调控巨噬细胞向泡沫细胞转化中的作用[J]. *山西医科大学学报*, 2021, 52(4): 437-442.
- [24]钟颖怡, 丁宁, 王滔尘, 等. miR-22-3p靶向GSDMD抑制同型半胱氨酸诱导的平滑肌细胞焦亡[J]. *中国比较医学杂志*, 2024, 34(9): 12-18.
- [25]杜静歌, 张丽娜, 阎磊, 等. 线粒体在慢性肾脏病血管钙化中作用研究进展[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2021, 35(5): 530-533.
- [26]Lee S J, Lee I K, Jeon J H. Vascular calcification-new insights into its mechanism[J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(8).

(收稿日期: 2025-01-24)

(校对: 韩敏求 排版: 张鸿梁)