

本文引用: 李亚芳, 齐祺, 吴欣雨, 等. 肱踝脉搏波传导速度与中青年人群慢性肾病发病风险的关系[J]. 中国动脉硬化杂志, 2025, 33(12): 1075-1082. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2025.12.010.

[文章编号] 1007-3949(2025)33-12-1075-08

· 流行病学研究 ·

## 肱踝脉搏波传导速度与中青年人群慢性肾病发病风险的关系

李亚芳<sup>1</sup>, 齐祺<sup>2</sup>, 吴欣雨<sup>2</sup>, 韩全乐<sup>2</sup>, 李雷<sup>2</sup>, 邓洁<sup>2</sup>, 蒋越<sup>3</sup>, 岳博成<sup>2</sup>, 吴寿岭<sup>4</sup>, 李康博<sup>5</sup>

1. 唐山市中心血站, 2. 唐山市工人医院心内科, 3. 唐山市工人医院导管室, 4. 开滦总医院心内科, 5. 华北理工大学临床医学院, 河北省唐山市 063000

**[摘要]** [目的] 探讨肱踝脉搏波传导速度(BaPWV)与中青年人群慢性肾病(CKD)发病风险的关联性。[方法] 应用前瞻性队列研究,选取2010年首次参加BaPWV调查的开滦集团职工健康体检中青年人群( $n=5\ 835$ )为研究对象。以体检BaPWV水平按四分位数将研究对象分为四组。每两年随访1次,以新发CKD、死亡或至随访结束(2020年12月31日)为随访终点。分析BaPWV与中青年人群CKD发病风险是否具有关联性。[结果] (1)研究人群中男性4 029例(69.05%),女性1 806例(30.95%),年龄为(48.09±6.30)岁。(2)随访中903例患者新发CKD,中位随访时间9.47(5.16,10.18)年。Q1组患者发生CKD 159例(10.91%),发病密度11.56(9.89,13.50)/千人年;Q2组患者发生CKD 195例(13.36%),发病密度14.31(12.43,16.46)/千人年;Q3组患者发生CKD 248例(17.00%),发病密度18.50(16.33,20.95)/千人年;Q4组患者发生CKD 301例(20.63%),发病密度23.41(20.91,26.21)/千人年。随着BaPWV水平升高,四组患者新发CKD累积发病率逐渐升高,且均有统计学意义( $P<0.001$ );(3)多因素Cox回归结果显示,与Q1组相比,Q2组、Q3组和Q4组发生CKD的HR(95%CI)分别为1.08(0.87~1.34)、1.27(1.03~1.58)和1.44(1.14~1.82)( $P_{趋势}<0.001$ )。[结论] BaPWV与中青年人群CKD发病风险具有明显关联性。

**[关键词]** 肱踝脉搏波传导速度; 慢性肾病; 中青年人群; 流行病学

**[中图分类号]** R5

**[文献标识码]** A

### The relationship between brachial-ankle pulse wave velocity and risk of chronic kidney disease in young and middle-aged people

LI Yafang<sup>1</sup>, QI Qi<sup>2</sup>, WU Xinyu<sup>2</sup>, HAN Quanle<sup>2</sup>, LI Lei<sup>2</sup>, DENG Jie<sup>2</sup>, JIANG Yue<sup>3</sup>, YUE Bocheng<sup>2</sup>, WU Shouling<sup>4</sup>, LI Kangbo<sup>5</sup>

1. Tangshan Central Blood Station, 2. Department of Cardiology, Tangshan Gongren Hospital, 3. Department of Conduit Room, Tangshan Gongren Hospital, 4. Department of Cardiology, Kailuan Hospital, 5. College of Clinical Medicine, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063000, China

**[ABSTRACT]** **Aim** To investigate the relationship between brachial-ankle pulse wave velocity (BaPWV) and the risk of chronic kidney disease (CKD) in young and middle-aged people. **Methods** Using a prospective cohort study design, the young and middle-aged population ( $n=5\ 835$ ) of Kailuan Group workers who participated in the BaPWV survey for the first time during their health check-up in 2010 were selected for the study. The participants were divided into four groups according to the quartiles of BaPWV level. Follow-up was performed every two years, with new-onset CKD, death or the end of follow-up (31 December 2020) as the follow-up endpoints. The association between BaPWV and the risk incident CKD in young and middle-aged people was analyzed. **Results** (1) The study population consisted of 4 029 (69.05%) males and 1 806 (30.95%) females aged (48.09±6.30) years. (2) New-onset CKD occurred in 903 patients during follow-up, with a median follow-up time of 9.47 (5.16, 10.18) years. 159 (10.91%) patients in the group Q1 had CKD, with an incidence density of 11.56 (9.89,13.50)/1 000 person-years; 195 (13.36%) patients in the group Q2 had CKD, with an incidence density of 14.31 (12.43,16.46)/1 000 person-years; 248 (17.00%)

[收稿日期] 2025-01-20

[修回日期] 2025-03-05

[基金项目] 河北省医学课题重点研究计划项目(20231775)

[作者简介] 李亚芳,主治医师,研究方向为冠心病、高血压和慢性肾病,E-mail:li1ya23@163.com。通信作者韩全乐,博士,主任医师,硕士研究生导师,研究方向为冠心病、高血压、心力衰竭和慢性肾病,E-mail:hanquanle@126.com。

patients in group Q3 developed CKD with an incidence density of 18.50 (16.33, 20.95)/1 000 person-years; 301 (20.63%) patients in group Q4 developed CKD with an incidence density of 23.41 (20.91, 26.21)/1 000 person-years. The cumulative incidence of new-onset CKD in patients in the four groups gradually increased with increasing BaPWV levels, and all of them were statistically significant ( $P < 0.001$ ). (3) The results of multifactorial Cox regression showed that compared with group Q1, the HR (95% CI) for the incidence of CKD in group Q2, Q3, Q4 were 1.08 (0.87 ~ 1.34), 1.27 (1.03 ~ 1.58), 1.44 (1.14 ~ 1.82) ( $P_{trend} < 0.001$ ). **Conclusion** BaPWV is significantly associated with the risk of CKD in young and middle-aged people.

[KEY WORDS] brachial-ankle pulse wave velocity; chronic kidney disease; young and middle-aged people; epidemiology

全球疾病负担报告显示,慢性肾病(chronic kidney disease, CKD)的患病率逐年增加。2017年统计数据显示,全世界罹患CKD人数为6.98亿,我国大约1.32亿人群患有CKD<sup>[1]</sup>。CKD是继高血压病、糖尿病、高脂血症及心脑血管疾病外又一严重危及人类健康的慢性疾病。该病治疗周期长,医疗负担重,预后差,更需要关注的是CKD增加心血管疾病<sup>[2]</sup>、贫血<sup>[3]</sup>、骨代谢异常<sup>[4]</sup>等疾病的发生风险,并且将终生严重影响患者使用经肾代谢相关药物<sup>[5]</sup>。特别是当中青年人群罹患CKD时,将明显增加CKD的疾病累积暴露风险,加重其并发症的发生与发展,加速了CKD进展为终末期肾病的风险。所以,早期筛查与识别CKD的高危患者至关重要。

高血压、糖尿病、血脂异常、肥胖等与CKD的发生显著相关<sup>[6-7]</sup>,而这些危险因素同样是动脉粥样硬化的危险因素<sup>[8-9]</sup>,由于个体及危险因素差异的综合作用,动脉硬化进程将会不同,而肱踝脉搏波传导速度(brachial-ankle pulse wave velocity, BaPWV)是评估动脉硬化的较好指标<sup>[10-11]</sup>。本研究旨在探讨BaPWV与中青年人群罹患CKD是否具有相关性,为中青年人群CKD的早期筛查与一级预防提供证据支持。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

选取2010年首次参加BaPWV调查的开滦集团职工健康体检中青年人群( $n=6\ 615$ )为研究对象(本研究参照世界卫生组织关于年龄的划分标准,将青年人群界定为18~44岁、中年人群界定为45~59岁,因此本研究关于中青年人群年龄界定为18~59岁)。纳入标准:首次参加BaPWV调查并完成开滦研究队列健康体检者;年龄18~59岁;认知能力无缺陷,能够参与完成问卷的填写;同意参加此项研究并签署知情同意书。排除标准:随访过程中血

肌酐值缺失或尿蛋白资料缺失者;既往有CKD病史者;不配合签署知情同意书者。排除随访过程中血肌酐值缺失或尿蛋白资料缺失者81例,排除既往有CKD病史者699例,最终5 835例患者纳入研究。本研究遵照赫尔辛基宣言,并通过开滦总医院伦理委员会批准(批号:[2006]医伦字5号)。

### 1.2 资料收集

1.2.1 一般资料收集 患者的人口学特征、临床一般资料、实验室检查指标收集流程及研究设计的详细信息参照本课题组已发表的文献<sup>[12]</sup>。所有受试者于早晨空腹后抽取肘前静脉血(5 mL),置于乙二胺四乙酸管中,在30 min内室温下以3 000 r/min离心10 min。取上层血清,在4 h内用Beckman全自动生物化学分析仪测定血清学指标。

BaPWV的数据测量<sup>[13]</sup>采用动脉硬化检测装置欧姆龙BP-203RPE[欧姆龙健康医疗(中国)有限公司生产]。检查室室温保持在22~25℃,嘱观察对象测量前不吸烟,休息>5 min,穿薄衣,去枕平卧,双手手心向上置于身体两侧,将四肢血压袖带缚于上臂及下肢踝部,上臂袖带气囊标志处对准肱动脉,袖带下缘距肘窝横纹2~3 cm,下肢袖带气囊标志位于下肢内侧,袖带下缘距内踝1~2 cm,左右腕部夹心电采集装置,保持安静,对每位观察对象重复测量2次,取第2次数据为最后结果。本研究取左、右两侧BaPWV中的较大值进行分析。根据基线BaPWV四分位数将研究对象分为4组,即Q1组:BaPWV<1 273 cm/s;Q2组:1 273 cm/s≤BaPWV<1 418 cm/s;Q3组:1 418 cm/s≤BaPWV<1 604 cm/s;Q4组:BaPWV≥1 604 cm/s。

1.2.2 相关定义及诊断标准 (1)CKD诊断标准<sup>[14]</sup>:存在肾脏损害或估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)<60 mL/(min·1.73 m<sup>2</sup>)或尿蛋白≥30 mg/24 h,且持续时间超过3个月即可诊断CKD。eGFR的评估:血清肌酐(serum creatinine, SCr)采用肌氨酸氧化酶测定

法<sup>[15]</sup>测定,然后根据 CKD 流行病学协作方程<sup>[16]</sup>计算 eGFR(表 1)。

(2)高血压、糖尿病、血脂异常的诊断参照我国指南<sup>[17-19]</sup>。教育程度分为高中及以上受教育程度和初中及以下受教育程度。体育锻炼定义为锻炼 $\geq 3$ 次/周,持续时间 $\geq 30$  min/次。吸烟史定义为平均每日吸烟 1 支以上,持续 1 年以上。体质指数(body mass index, BMI)=体重(kg)/身高(m)<sup>2</sup>。

表 1. eGFR 计算公式

Table 1. eGFR calculation formula

性别	SCr/( $\mu\text{mol/L}$ )	eGFR/[ $\text{mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ]
女性	$\leq 62$	$144 \times (\text{SCr}/62)^{-0.329} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
	$> 62$	$144 \times (\text{SCr}/62)^{-1.209} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
男性	$\leq 80$	$141 \times (\text{SCr}/80)^{-0.411} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
	$> 80$	$141 \times (\text{SCr}/80)^{-1.209} \times (0.993)^{\text{年龄}}$

1.2.3 终点事件数据收集 以 2010 年健康体检时间为随访起始时间,以新发 CKD、死亡或至随访结束(2020 年 12 月 31 日)为随访终点。如研究对象未发生终点事件,则随访终止时间为 2020 年 12 月 31 日;如研究对象未发生终点事件而中途死亡,随访终止时间为死亡时间。

### 1.3 统计学方法

采用 SAS 9.4 软件进行数据分析,符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用单因素方

差分析;非正态分布的计量资料以中位数和四分位数表示,组间比较采用非参数秩和检验;计数资料采用相对数表示,率的比较采用  $\chi^2$  检验。采用 Kaplan-Meier 法绘制累积发病率曲线,并采用 log-rank 检验比较组间差异;采用 Cox 比例风险回归模型探究 BaPWV 水平与 CKD 的相关性。以双侧  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同 BaPWV 水平四分位分组一般资料比较

整体人群中,男性 4 029 例(69.05%),平均年龄(48.09 $\pm$ 6.30)岁。研究显示,随着基线 BaPWV 水平增高,研究对象的年龄、BMI、eGFR、收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP)、空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDLC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、高敏 C 反应蛋白(high sensitivity C-reactive protein, hs-CRP)、SCr、男性、受教育程度、体育锻炼、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病史、血脂异常、服用降糖药物、服用降压药物、服用降脂药物比较,差异均有统计学意义( $P$ 均 $< 0.001$ ;表 2)。

表 2. 不同 BaPWV 水平一般资料的比较

Table 2. Comparison of general information in different BaPWV levels

项目	总人群 ( $n=5\ 835$ )	BaPWV 水平四分位分组				$P$ 值
		Q1 组 ( $n=1\ 457$ )	Q2 组 ( $n=1\ 460$ )	Q3 组 ( $n=1\ 459$ )	Q4 组 ( $n=1\ 459$ )	
BaPWV/(cm/s)	1 473.44 $\pm$ 303.33	1 170.89 $\pm$ 77.56	1 346.46 $\pm$ 42.03	1 502.96 $\pm$ 52.26	1 873.10 $\pm$ 298.89	$< 0.001$
年龄/岁	48.09 $\pm$ 6.30	45.55 $\pm$ 6.11	47.82 $\pm$ 5.97	48.72 $\pm$ 6.13	50.26 $\pm$ 6.06	$< 0.001$
BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	25.16 $\pm$ 3.30	24.40 $\pm$ 3.16	25.09 $\pm$ 3.24	25.52 $\pm$ 3.42	25.63 $\pm$ 3.23	$< 0.001$
eGFR/[ $\text{mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ]	98.22 $\pm$ 16.58	100.49 $\pm$ 15.84	97.48 $\pm$ 16.59	97.28 $\pm$ 15.55	97.66 $\pm$ 18.04	$< 0.001$
SBP/(mmHg)	128.38 $\pm$ 18.21	115.53 $\pm$ 13.74	124.46 $\pm$ 14.14	131.34 $\pm$ 15.36	142.18 $\pm$ 17.98	$< 0.001$
DBP/(mmHg)	84.73 $\pm$ 11.37	77.52 $\pm$ 9.40	83.10 $\pm$ 9.71	86.62 $\pm$ 10.14	91.66 $\pm$ 11.22	$< 0.001$
FBG/(mmol/L)	5.57 $\pm$ 1.39	5.15 $\pm$ 0.77	5.41 $\pm$ 1.03	5.67 $\pm$ 1.53	6.04 $\pm$ 1.82	$< 0.001$
TG/(mmol/L)	1.40(0.99, 2.16)	1.15(0.81, 1.72)	1.35(0.97, 2.07)	1.51(1.07, 2.35)	1.65(1.17, 2.59)	$< 0.001$
TC/(mmol/L)	5.01 $\pm$ 1.37	4.77 $\pm$ 0.89	5.00 $\pm$ 1.81	5.06 $\pm$ 1.00	5.21 $\pm$ 1.52	$< 0.001$
HDLC/(mmol/L)	1.62 $\pm$ 0.48	1.68 $\pm$ 0.45	1.64 $\pm$ 0.56	1.58 $\pm$ 0.43	1.60 $\pm$ 0.46	$< 0.001$
LDLC/(mmol/L)	2.64 $\pm$ 0.75	2.40 $\pm$ 0.67	2.65 $\pm$ 0.67	2.71 $\pm$ 0.71	2.80 $\pm$ 0.85	$< 0.001$
hs-CRP/(mg/L)	1.00(0.49, 2.35)	0.80(0.40, 1.70)	0.95(0.42, 2.13)	1.04(0.52, 2.60)	1.20(0.57, 3.07)	$< 0.001$
SCr/( $\mu\text{mol/L}$ )	73.69 $\pm$ 16.56	69.74 $\pm$ 16.21	74.69 $\pm$ 16.89	75.39 $\pm$ 16.36	74.93 $\pm$ 16.16	$< 0.001$
男性/[例(%)]	4 029(69.05)	696(47.77)	1 016(69.59)	1 126(77.18)	1 191(81.63)	$< 0.001$

续表

项目	总人群 (n=5 835)	BaPWV 水平四分位分组				P 值
		Q1 组 (n=1 457)	Q2 组 (n=1 460)	Q3 组 (n=1 459)	Q4 组 (n=1 459)	
高中及以上教育程度/[例(%)]	2 427(41.59)	741(50.86)	675(46.23)	553(37.90)	458(31.39)	<0.001
体育锻炼/[例(%)]	3 236(55.46)	795(54.56)	789(54.04)	828(56.75)	824(56.48)	<0.001
饮酒史/[例(%)]	2 401(41.15)	396(27.18)	591(40.48)	670(45.92)	744(50.99)	<0.001
吸烟史/[例(%)]	2 229(38.20)	363(24.91)	532(36.44)	613(42.02)	721(49.42)	<0.001
糖尿病史/[例(%)]	543(9.31)	41(2.81)	87(5.96)	149(10.21)	266(18.23)	<0.001
高血压病史/[例(%)]	2 582(44.25)	222(15.24)	514(35.21)	752(51.54)	1 094(74.98)	<0.001
血脂异常/[例(%)]	3 344(57.31)	663(45.50)	814(55.75)	879(60.25)	988(67.72)	<0.001
服用降糖药物/[例(%)]	169(2.90)	14(0.96)	15(1.03)	52(3.56)	88(6.03)	<0.001
服用降压药物/[例(%)]	727(12.46)	39(2.68)	103(7.05)	203(13.91)	382(26.18)	<0.001
服用降脂药物/[例(%)]	70(1.20)	4(0.27)	15(1.03)	52(3.56)	88(6.03)	<0.001

注:1 mmHg=0.133 kPa。

## 2.2 不同 BaPWV 水平对 CKD 事件的多因素 Cox 比例回归分析

中位随访时间 9.47(5.16, 10.18) 年期间, 共有 903 例患者罹患 CKD。Q1 组 ~ Q4 组分别有 159 例 (10.91%)、195 例 (13.36%)、248 例 (17.00%) 和 301 例 (20.63%) 罹患 CKD, 四组发病密度分别为 11.56 (9.89, 13.50)/千人年、14.31 (12.43, 16.46)/千人年、18.50 (16.33, 20.95)/千人年、23.41 (20.91, 26.21)/千人年, 累积发病率分别为 10.44%、12.25%、14.88% 和 17.28%。随着 BaPWV 水平升高, CKD 累积发病率、发病密度逐渐升高, 经 log-rank 检验, 差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ ; 表 3 和图 1)。

校正年龄、性别、BMI、eGFR、SBP、FBG、TC、HDLc、LDLc、TG、hs-CRP、体育锻炼、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病史、血脂异常、服用降糖药物、服用降压药物、服用降脂药物等混杂因素后, 结果显示, 与 Q1 组相比, Q2 组、Q3 组、Q4 组发生 CKD

的 HR (95% CI) 分别为 1.08 (0.87 ~ 1.34)、1.27 (1.03 ~ 1.58) 及 1.44 (1.14 ~ 1.82) ( $P_{趋势} < 0.001$ ; 表 3)。

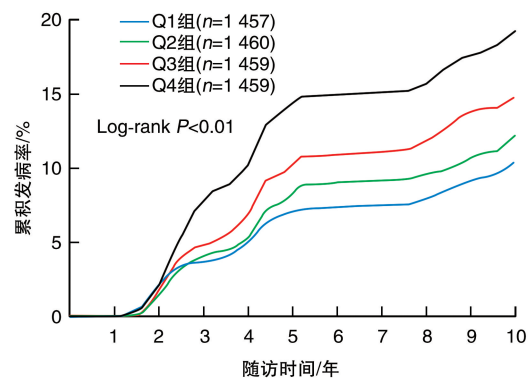


图 1. 不同 BaPWV 水平新发 CKD 事件的累积发病率曲线

Figure 1. Cumulative incidence curves of new-onset CKD in different BaPWV levels

表 3. 不同 BaPWV 水平分组与 CKD 发病风险的 Cox 比例回归分析

Table 3. Cox proportional hazards regression analysis of the association between different BaPWV level groups and the risk of new-onset CKD

分组	CKD 事件/ [例(%)]	发病密度 (/千人年)	累积发病率 (%)	HR(95% CI)		
				模型 1	模型 2	模型 3
Q1 组	159(10.91)	11.56(9.89, 13.50)	10.44	1.000	1.000	1.000
Q2 组	195(13.36)	14.31(12.43, 16.46)	12.25	1.25(1.01 ~ 1.54)	1.28(1.03 ~ 1.59)	1.08(0.87 ~ 1.34)
Q3 组	248(17.00)	18.50(16.33, 20.95)	14.88	1.60(1.31 ~ 1.95)	1.66(1.35 ~ 2.05)	1.27(1.03 ~ 1.58)
Q4 组	301(20.63)	23.41(20.91, 26.21)	19.28	2.01(1.66 ~ 2.43)	2.08(1.69 ~ 2.56)	1.44(1.14 ~ 1.82)
$P_{趋势}$	—	—	—	<0.001	<0.001	<0.001

注:模型 1 未校正;模型 2 校正了年龄、性别协变量;模型 3 在模型 2 的基础上校正了 BMI、eGFR、SCr、SBP、FBG、TC、HDLc、LDLc、TG、hs-CRP、体育锻炼、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病史、血脂异常、服用降糖药物、服用降压药物、服用降脂药物等协变量。“—”表示无法获取。

### 2.3 不同 BaPWV 水平对 CKD 影响的敏感性分析

在分别排除 2 年内新发 CKD 者 ( $n=140$ ) 及服用降压药、降糖药、降脂药者 ( $n=850$ ), 排除有心肌梗死病史、脑卒中病史及癌症病史者 ( $n=604$ ) 后, 就不同 BaPWV 水平对 CKD 影响分别进行敏感性分析, 结果与主要分析结果相似; 考虑到全因死亡与结局事件存在竞争关系, 进行死亡竞争风险分析。结果显示, 随访期间 189 例研究对象发生竞争事件 (死亡), 风险分析结果与主要分析结果相似 (表 4)。

表 4. 不同 BaPWV 水平对 CKD 影响的敏感性分析

Table 4. Sensitivity analysis of the effect of different

#### BaPWV levels on CKD

BaPWV 水平分组	发病人数/ 总人数	HR(95% CI)	$P_{趋势}$
排除 2 年内新发 CKD 者 ( $n=140$ )			<0.001
Q1	133/1 430	1.00	
Q2	169/1 431	1.12(0.89 ~ 1.42)	
Q3	211/1 421	1.30(1.03 ~ 1.65)	
Q4	261/1 413	1.52(1.18 ~ 1.96)	
排除服用降压药、降糖药、 降脂药者 ( $n=850$ )			0.006
Q1	154/1 405	1.00	
Q2	183/1 335	1.08(0.86 ~ 1.35)	
Q3	194/1 218	1.18(0.94 ~ 1.49)	
Q4	203/1 027	1.40(1.09 ~ 1.80)	
排除有心肌梗死病史、脑 卒中病史、癌症病史者 ( $n=604$ )			<0.001
Q1	152/1 371	1.00	
Q2	175/1 349	1.04(0.83 ~ 1.30)	
Q3	227/1 294	1.31(1.05 ~ 1.64)	
Q4	249/1 217	1.43(1.12 ~ 1.83)	
死亡竞争风险 ( $n=5 835$ )			<0.001
Q1	159/1 457	1.00	
Q2	195/1 460	1.08(0.87 ~ 1.34)	
Q3	248/1 459	1.28(1.03 ~ 1.60)	
Q4	301/1 459	1.45(1.15 ~ 1.84)	

注: 模型校正了年龄、性别、BMI、eGFR、SCr、SBP、FBG、TC、HDLc、LDLc、TG、hs-CRP、体育锻炼、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病史、血脂异常、服用降糖药物、服用降压药物、服用降脂药物等协变量。

### 2.4 不同 BaPWV 水平对 CKD 影响的亚组分析

以年龄 ( $\geq 45$  岁,  $< 45$  岁)、男性和女性、BMI ( $\geq 24$  kg/m<sup>2</sup>,  $< 24$  kg/m<sup>2</sup>)、有和无高血压、有和无糖尿病、有和无吸烟史、有和无饮酒史进行亚组分析。

在以 CKD 为结局分析中, 均未观察到交互作用 ( $P_{交互} > 0.05$ ), 但在年龄  $< 45$  岁、女性、BMI  $\geq 24$  kg/m<sup>2</sup>、吸烟史、无饮酒史等亚组中存在更显著的风险 ( $P < 0.05$ , 表 5)。

表 5. 不同 BaPWV 水平对 CKD 影响的亚组分析

Table 5. Subgroup analysis of the effect of different BaPWV levels on CKD

项目	发病人数/ 总人数	HR(95% CI)	$P$ 值	$P_{交互}$
年龄				0.421
$\geq 45$ 岁	650/4 061	1.47(1.11 ~ 1.95)	0.008	
$< 45$ 岁	253/1 774	1.61(1.04 ~ 2.50)	0.033	
性别				0.751
男性	619/4 029	1.47(1.10 ~ 1.98)	0.010	
女性	284/1 806	1.58(1.02 ~ 2.43)	0.040	
BMI				0.382
$\geq 24$ kg/m <sup>2</sup>	625/3 623	1.98(1.28 ~ 3.05)	0.002	
$< 24$ kg/m <sup>2</sup>	278/2 212	1.14(0.75 ~ 1.74)	0.532	
吸烟史				0.191
有	335/2 229	1.97(1.19 ~ 3.24)	0.008	
无	568/3 606	1.23(0.92 ~ 1.66)	0.157	
饮酒史				0.325
有	343/2 401	1.21(0.82 ~ 1.80)	0.345	
无	560/3 434	1.59(1.19 ~ 2.14)	0.002	

注: 校正了年龄、性别、BMI、eGFR、SCr、SBP、FBG、TC、HDLc、LDLc、TG、hs-CRP、体育锻炼、吸烟史、饮酒史、高血压病史、糖尿病史、血脂异常、服用降糖药物、服用降压药物、服用降脂药物等混杂因素。

## 3 讨论

本研究经多因素 Cox 比例风险回归分析发现: 随着 BaPWV 水平升高, Q2 ~ Q4 组发生 CKD 的风险逐渐增加, HR (95% CI) 分别为 1.08 (0.87 ~ 1.34)、1.27 (1.03 ~ 1.58) 及 1.44 (1.14 ~ 1.82)。与国内一项同样以开滦研究人群为基础, 纳入 19 376 例的研究<sup>[20]</sup> 结果一致, 该研究人群均  $\geq 18$  岁, 其中脑卒中队列纳入年龄  $> 40$  岁, 老年人群队列纳入年龄  $\geq 60$  岁, 得出随着 BaPWV 增加, eGFR 降低、尿蛋白阳性和 CKD 检出率增加。BaPWV 的测量值可反映全身动脉血管硬化的程度, 对人群罹患动脉粥样硬化性心脑血管病具有较好的风险评估<sup>[21-22]</sup>。肾动脉作为周身动脉一部分同样受到影响, 当发生动脉硬化后, 主动脉及肾动脉壁变得僵硬, 丧失了其弹性储器的缓冲作用, 过高的动脉压力在极短时间内对肾小球动脉造成极大的冲击压

力,久而久之使动脉发生变性坏死,eGFR降低,同时损伤血管内皮细胞,增加了血管通透性,出现蛋白尿,过多蛋白进入远端肾小管,肾小管的蛋白再吸收可进一步加重肾间质细胞损伤<sup>[23-24]</sup>;肾动脉出现的粥样斑块及动脉狭窄,将影响肾小球血液灌注,可产生肾前性肾功能减退<sup>[25]</sup>。但是国外研究<sup>[26]</sup>得出:调整各种混杂因素后,BaPWV与eGFR降低和肾功能的快速下降无关。分析其原因可能为:该研究纳入人群年龄偏大,平均年龄(63±10)岁,比本研究及上述研究<sup>[20]</sup>平均年龄增龄10多岁,不排除增龄带来的生理性eGFR降低对研究的影响;随访时间短,中位数随访只有3.2年,动脉硬化对肾脏的累积暴露影响还不足以降低eGFR。另有纳入日本人群的研究<sup>[27]</sup>显示:只有老年人群和高血压人群BaPWV升高与eGFR降低呈线性相关,该研究纳入人群年龄24~84岁,分析其原因可能只有高血压病及老年人产生的动脉硬化才足以影响肾功能减低。

本研究的主要特点在于纳入中青年人群。一方面,由于这一人群承担了更多的家庭和社会责任,若过早罹患CKD,其并发症的累积暴露风险将显著增加,身心健康和医疗负担也会随之倍增,最终将影响整个社会活动。因此,通过BaPWV尽早筛查和识别高危CKD患者显得尤为重要。另一方面,随着年龄增长,肌酐清除率的平均下降幅度为0.75 mL/(min·年)<sup>[28]</sup>。普通人群在40岁后会出现生理性eGFR下降,平均每年降低1 mL/(min·1.73 m<sup>2</sup>)<sup>[29]</sup>。尤为值得注意的是,年轻人eGFR的下降速度比老年人更快。Shojamoradi等<sup>[30]</sup>的研究结果显示,年龄<60岁和年龄≥60岁的CKD患者进展为终末期肾病的比例分别为6.3/100人年和3.6/100人年。因此,对中青年人群CKD的早期识别和干预具有更为重要的意义。

早在1985年,荷兰学者提出了心肾综合征的概念,心功能的减退将恶化肾功能,反之亦然<sup>[31]</sup>。研究<sup>[32]</sup>结果显示:无论年龄、性别、有无传统心血管危险因素,评估的PWV均与新发心力衰竭的发生存在显著关联( $P$ 均<0.01)。同时研究<sup>[33]</sup>显示:校正了年龄、性别等混杂因素后,心功能减退与eGFR降低呈明显正相关,并且这种心肾功能的相互影响是在心力衰竭与CKD出现临床症状之前就已经存在了。BaPWV的增加同时使心力衰竭和CKD的发病风险增加,而且二者又相互恶化。

区别于老年人群的eGFR降低属于生理性变化,中青年人群的肾功能通常保持正常状态。若中

青年出现eGFR降低,多数情况下为病理性原因所致。此外,许多增加CKD发生风险的危险因素与生活方式密切相关,且这些因素是可防可控的。一项关于不良生活方式对CKD影响的Meta分析<sup>[34]</sup>,纳入了104项针对非CKD人群的观察性研究,涉及2 755 719人,结果显示吸烟、高钠盐饮食及缺乏运动均会增加新发CKD的发病风险。另一项针对健康中青年人群中CKD发病率和进展的生活方式相关危险因素的述评<sup>[35]</sup>指出:与生活方式相关的疾病(如超重/肥胖、血脂异常、高血压、糖尿病、高尿酸血症)的发病年龄是CKD发生的危险因素。这些以超重/肥胖为首要表现的代谢综合征候群,多数在中青年人群中已显现。超重/肥胖还会导致血脂异常、高血压、糖尿病等引发CKD的危险因素相继出现。因此,利用BaPWV预测中青年人群罹患CKD的风险,不仅简便易行,还能体现不同个体的差异性,兼具可行性与科学性。这种方法有助于实现中青年人群早期CKD危险因素的筛查、识别与防控。

本研究的优势在于证实了BaPWV的增加与中青年人群罹患CKD之间存在显著相关性,为CKD的早期筛查和预防提供了有力的数据支持。然而,研究的不足之处在于,考虑到男性在蛋白尿和CKD的发生风险更高<sup>[36]</sup>,本研究纳入的男性受试者多于女性,尽管进行了性别校正,仍可能存在一定的偏倚风险。

总之,CKD是最常见的疾病之一,严重威胁人类健康,尤其是对中青年人群造成了多种不良影响。本研究结论显示,BaPWV的增加与中青年人群CKD发病风险呈显著正相关。通过监测BaPWV,我们可以实现对中青年人群CKD发病风险的早期筛查,进而早期干预CKD的发生,提高患者的生活质量,延长患者的寿命。

#### [参考文献]

- [1] GBD Chronic Kidney Disease Collaboration. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017; a systematic analysis for the global burden of disease study 2017 [J]. *Lancet*, 2020, 395 (10225): 709-733.
- [2] Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD Work Group. KDIGO 2024 clinical practice guideline for the evaluation and management of chronic kidney disease [J]. *Kidney Int*, 2024, 105(4S): S117-S314.
- [3] STAUFFER M E, FAN T. Prevalence of anemia in chronic kidney disease in the United States [J]. *PLoS One*, 2024,

- 9(1): e84943.
- [4] 国家肾脏疾病临床医学研究中心. 中国慢性肾脏病矿物质和骨异常诊治指南概要[J]. 肾脏病与透析肾移植杂志, 2019, 28(1): 52-57.  
National Clinical Research Center for Kidney Disease. Summary of Chinese guidelines for the diagnosis and treatment of mineral and bone abnormalities in chronic kidney disease[J]. Chin J Nephrol Dial Transpl, 2019, 28(1): 52-57.
- [5] 高翔, 梅长林. 《慢性肾脏病早期筛查、诊断及防治指南(2022年版)》解读[J]. 中国实用内科杂志, 2022, 42(9): 735-739.  
GAO X, MEI C L. Interpretation of guideline for early screening, diagnosis, prevention and treatment of chronic kidney disease(2022)[J]. Chin J Pract Int Med, 2022, 42(9): 735-739.
- [6] 韩全乐, 刘晓堃, 尚小明. 慢性肾病相关危险因素[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(13): 3301-3306.  
HAN Q L, LIU X K, SHANG X M. Risk factors associated with chronic kidney disease[J]. Chin J Gerontol, 2018, 38(13): 3301-3306.
- [7] ZHANG L X, WANG F, WANG L, et al. Prevalence of chronic kidney disease in China: a cross-sectional survey[J]. Lancet, 2012, 379(9818): 815-822.
- [8] TURER C B, BRADY T M, DE FERRANTI S D. Obesity, hypertension, and dyslipidemia in childhood are key modifiable antecedents of adult cardiovascular disease: a call to action[J]. Circulation, 2018, 137(12): 1256-1259.
- [9] 黄喆, 赵秀娟, 韩旭, 等. 开滦研究人群动脉硬化发病情况及其危险因素[J]. 中华高血压杂志, 2021, 29(7): 643-648.  
HUANG Z, ZHAO X J, HAN X, et al. Incidence and risk factors of arterial stiffness in Kailuan study[J]. Chin J Hypertension, 2021, 29(7): 643-648.
- [10] VLACHOPOULOS C, AZNAOURIDIS K, TEREINTES-PRINTZIOS D, et al. Prediction of cardiovascular events and all-cause mortality with brachial-ankle elasticity index: a systematic review and Meta-analysis[J]. Hypertension, 2012, 60(2): 556-562.
- [11] OHKUMA T, NINOMIYA T, TOMIYAMA H, et al. Brachial-ankle pulse wave velocity and the risk prediction of cardiovascular disease: an individual participant data Meta-analysis[J]. Hypertension, 2017, 69(6): 1045-1052.
- [12] HOU Q, QI Q, HAN Q, et al. Association of the triglyceride-glucose index with early-onset atherosclerotic cardiovascular disease events and all-cause mortality: a prospective cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2024, 23(1): 149.
- [13] 郑晓明, 李志芳, 吴云涛, 等. 老年人群立位肱-踝脉搏波传导速度和踝臂指数的影响因素分析[J]. 中华心血管病杂志, 2016, 44(2): 161-169.  
ZHENG X M, LI Z F, WU Y T, et al. Influencing factors of orthostatism brachial-ankle pulse wave velocity and ankle brachial index in the elderly[J]. Chin J Cardiol, 2016, 44(2): 161-169.
- [14] CHEN TK, KNICELY DH, GRAMS ME. Chronic kidney disease diagnosis and management: a review[J]. JAMA, 2019, 322(13): 1294-304.
- [15] LI J, HUANG Z, HOU J, et al. Sleep and CKD in Chinese adults: a cross-sectional study[J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2017, 12(6): 885-892.
- [16] JIA Z, ZHOU Y, LIU X, et al. Comparison of different anthropometric measures as predictors of diabetes incidence in a Chinese population[J]. Diabetes Res Clin Pract, 2011, 92(2): 265-271.
- [17] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压分会, 等. 中国高血压防治指南(2024年修订版)[J]. 中华高血压杂志, 2024, 32(7): 603-700.  
China Hypertension Prevention and Treatment Guidelines Revision Committee, Hypertension Alliance(China), Hypertension Branch of China Society for the Promotion of International Exchange in Health Care, et al. Chinese guidelines for the prevention and treatment of hypertension(2024 revision)[J]. Chin J Hypertens, 2024, 32(7): 603-700.
- [18] 中华医学会糖尿病学分会. 中国糖尿病防治指南(2024年版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2025, 17(1): 16-139.  
Chinese Medical Association Diabetes Branch. Guideline for the prevention and treatment of diabetes mellitus in China (2024 edition)[J]. Chin J Diabetes Mellit, 2025, 17(1): 16-139.
- [19] 中国血脂管理指南修订联合专家委员会. 中国血脂管理指南(2023年)[J]. 中国循环杂志, 2023, 38(3): 237-271.  
Joint Expert Committee on Revision of Chinese Lipid Management Guidelines. Chinese guidelines for lipid management(2023)[J]. Chin Circ J, 2023, 38(3): 237-271.
- [20] 周剑辉, 赵权辉, 于俊杏, 等. 臂踝动脉脉搏波传导速度与慢性肾脏病的关系[J]. 中华高血压杂志, 2017, 25(4): 363-369.  
ZHOU J H, ZHAO Q H, YU J X, et al. Association between brachial ankle pulse wave velocity and chronic kidney disease[J]. Chin J Hypertens, 2017, 25(4): 363-369.
- [21] 季春鹏, 施继红, 汪国栋, 等. 估算的脉搏波传导速度对心血管事件和全因死亡的影响[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(2): 185-191.  
JI C P, SHI J H, WANG G D, et al. Impact of estimated pulse wave velocity on risk of cardiovascular event and all-cause death[J]. Chin Circ J, 2021, 36(2): 185-191.
- [22] KO H J, LIU C C, HSU P J, et al. Risk assessment indicators and brachial-ankle pulse wave velocity to predict

- atherosclerotic cardiovascular disease[J]. *Medicine*( Baltimore), 2022, 101(32): e29609.
- [23] BAUMANN M, PAN C R, ROOS M, et al. Pulsatile stress correlates with (micro-) albuminuria in renal transplant recipients[J]. *Transpl Int*, 2010, 23(3): 292-298.
- [24] HASHIMOTO J, ITO S. Central pulse pressure and aortic stiffness determine renal hemodynamics: pathophysiological implication for microalbuminuria in hypertension[J]. *Hypertension*, 2011, 58(5): 839-846.
- [25] ZAMAMI R, ISHIDA A, MIYAGI T, et al. A high normal ankle-brachial index is associated with biopsy-proven severe renal small artery intimal thickening and impaired renal function in chronic kidney disease[J]. *Hypertens Res*, 2020, 43(9): 929-937.
- [26] KIM C S, KIM H Y, KANG Y U, et al. Association of pulse wave velocity and pulse pressure with decline in kidney function[J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2014, 16(5): 372-377.
- [27] CHEN Y F, CHEN C. Estimated glomerular filtration rate and arterial stiffness in Japanese population: a secondary analysis based on a cross-sectional study[J]. *Lipids Health Dis*, 2019, 18(1): 57.
- [28] LINDEMAN R D, TOBIN J, SHOCK N W. Longitudinal studies on the rate of decline in renal function with age[J]. *J Am Geriatr Soc*, 1985, 33(4): 278-285.
- [29] GUO Y, WANG H, ZHAO X, et al. Sequential changes in renal function and the risk of stroke and death in patients with atrial fibrillation[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 168(5): 4678-4684.
- [30] SHOJAMORADI MH, SABERI ISFEEDVAJANI M, MAHDAVI-MAZDEH M, et al. Chronic kidney disease progression in elderly Iranian patients: a cohort study[J]. *Nephrourol Mon*, 2014, 6(5): e20748.
- [31] BONGARTZ L G, CRAMER M J, DOEVENDANS P A, et al. The severe cardiorenal syndrome: 'guyton revisited'[J]. *Eur Heart J*, 2005, 26(1): 11-17.
- [32] 季春鹏, 汪国栋, 黄喆, 等. 估算的脉搏波传导速度对新发心力衰竭的影响[J]. *中国循环杂志*, 2023, 38(10): 1030-1035.
- JI C P, WANG G D, HUANG Z, et al. Association between estimated pulse wave velocity and risk of new onset heart failure[J]. *Chin Circ J*, 2023, 38(10): 1030-1035.
- [33] NERPIN E, INGELSSON E, RISÉRUS U, et al. The association between glomerular filtration rate and left ventricular function in two independent community-based cohorts of elderly[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2014, 29(11): 2069-2074.
- [34] KELLY J T, SU G, ZHANG L, et al. Modifiable lifestyle factors for primary prevention of CKD: a systematic review and Meta-analysis[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2021, 32(1): 239-253.
- [35] KUMA A, KATO A. Lifestyle-related risk factors for the incidence and progression of chronic kidney disease in the healthy young and middle-aged population[J]. *Nutrients*, 2022, 14(18): 3787.
- [36] ISEKI K, ISEKI C, IKEMIYA Y, et al. Risk of developing end-stage renal disease in a cohort of mass screening[J]. *Kidney Int*, 1996, 49(3): 800-805.
- (此文编辑 许雪梅)

(上接第 1059 页)

- [12] GENSINI G G. A more meaningful scoring system for determining the severity of coronary heart disease[J]. *Am J Cardiol*, 1983, 51(3): 606.
- [13] SULLIVAN D R, MARWICK T H, FREEDMAN S B. A new method of scoring coronary angiograms to reflect extent of coronary atherosclerosis and improve correlation with major risk factors[J]. *Am Heart J*, 1990, 119(6): 1262-1267.
- [14] FU Q, TAN X, TANG H, et al. CCL21 activation of the MAL-AT1/SRSF1/mTOR axis underpins the development of gastric carcinoma[J]. *J Transl Med*, 2021, 19(1): 210.
- [15] XIAO Y, BI X, ZHANG R, et al. Restoration of vascular dysfunction resulting from maternal high-fat diet via modulation of the NLRP3/IL-1 $\beta$  axis[J]. *Clin Exp Hypertens*, 2025, 47(1): 2440342.
- [16] ZHANG X, TANG Y, WANG J, et al. Heat stress enhances the expression of METTL3 to mediate N6-methyladenosine modification of SOS<sub>2</sub> and NLRP3 inflammasome activation in boar Sertoli cells[J]. *J Hazard Mater*, 2025, 488: 137432.
- [17] MANGALESH S, DUDANI S, MAHESH N K, et al. Development of a novel inflammatory index to predict coronary artery disease severity in patients with acute coronary syndrome[J]. *Angiology*, 2023, 75(3): 231-239.
- [18] DASHTI N R, FADAVI D, REZAEI R, et al. Circulating lncRNA HOTAIR is a biomarker for pediatric acute lymphoblastic leukemia and mediator of miR-326 exosomal export[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 4901.
- [19] BHANDARI K, KONG J S, HO W T, et al. Arginine demethylation of serine/arginine-rich splicing factor 1 enhances miRNA enrichment in small extracellular vesicles derived from pancreatic ductal adenocarcinoma cells[J]. *FASEB J*, 2025, 39(1): e70287.
- [20] 唐锴, 刘磊, 谭震, 等. 外周血衍生炎症标志物 SII 和 SIRI 对急性心肌梗死患者院内不良心血管事件的预测价值[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(7): 606-612.
- TANG K, LIU L, TAN Z, et al. The predictive value of peripheral blood-derived inflammatory markers S II and SIRI for in-hospital adverse cardiovascular events in patients with acute myocardial infarction[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(7): 606-612.
- (此文编辑 许雪梅)