

老年高血压患者心率变异性与脑血管储备功能的关系

赵建洵¹, 林阳², 易聪³, 邹涛⁴, 汪林¹

1. 四川大学华西医院上锦医院心血管内科, 2. 神经内科, 3. 神经功能室, 4. 心脏功能室; 四川 成都 610000

摘要:目的 探究老年高血压患者心率变异性(HRV)指标与脑血管储备功能(CVR)的关系。方法 回顾性分析2023年3月至2024年3月在四川大学华西医院上锦医院就诊的老年高血压患者513例。收集患者的一般临床资料。测定患者的CVR,并根据CVR是否受损将受试者分为CVR未受损组($n=312$)和CVR受损组($n=201$)。检测所有患者的HRV指标,包括全部窦性心搏RR间期的标准差(SDNN),连续正常RR间期之差的均方根值(rMSSD),相邻RR间期差值 >50 ms在24h内所占RR总数的百分值(pNN50),低频功率(LF)和高频功率(HF)。采用点二列相关分析探讨HRV指标与CVR受损的关系。采用多因素logistic回归分析探讨CVR受损的风险因素。结果 CVR受损组的SDNN[(97.85 \pm 12.68)比(108.47 \pm 15.33)ms, $t=8.182$, $P<0.001$]、rMSSD[(19.92 \pm 2.24)比(21.58 \pm 2.25)ms, $t=8.171$, $P<0.001$]、pNN50[(6.87 \pm 2.35)%比(8.47 \pm 2.31)%, $t=7.606$, $P<0.001$]、LF[(14.38 \pm 3.54)比(16.56 \pm 3.12)ms², $t=7.324$, $P<0.001$]和HF水平[(11.56 \pm 1.39)比(12.48 \pm 1.58)ms², $t=6.743$, $P<0.001$]低于CVR未受损组。相关性分析显示,SDNN($r=-0.338$, $P<0.001$)、rMSSD($r=-0.340$, $P<0.001$)、pNN50($r=-0.319$, $P<0.001$)、LF($r=-0.302$, $P<0.001$)和HF($r=-0.285$, $P<0.001$)与CVR受损呈负相关。多因素logistic回归分析结果显示,SDNN($OR=0.942$, 95%CI 0.926~0.959)、rMSSD($OR=0.687$, 95%CI 0.612~0.771)、pNN50($OR=0.708$, 95%CI 0.636~0.789)、LF($OR=0.791$, 95%CI 0.732~0.855)和HF($OR=0.616$, 95%CI 0.522~0.726)水平高是CVR受损的保护因素(均 $P<0.001$)。结论 HRV指标与老年高血压患者的CVR相关,其中SDNN、rMSSD、pNN50、LF和HF水平高是CVR受损的保护因素。

关键词: 高血压; 老年患者; 心率变异性; 脑血管储备功能; 多普勒超声检查; 心电图

心率变异性(heart rate variability, HRV)可反映自主神经系统对心脏和血管动态平衡的调节,通过量化心率间的微小差异,反映机体内部神经体液因素对心脏自主神经系统发出的调控^[1]。高血压个体对这种平衡的扰动通常表现为交感神经活动增加和副交感神经张力减弱,最终导致心率加快和持续的血管收缩,从而诱发或加重高血压^[2-3]。高血压是脑血管疾病的重要危险因素之一^[4]。脑血管储备功能(cerebrovascular reserve, CVR)是指脑血管对刺激产生舒张和收缩,优化大脑血流灌注功能并维持脑供血稳定的能力^[5]。其功能受损可能会导致脑血管疾病的发生。因此,高血压患者的CVR与HRV可能相关。交感神经激活通过增加血管收缩和炎症反应损害脑血管内皮功能,而副交感神经通过抗炎和血管舒张作用维持CVR,HRV降低可能反映二者失衡,加剧CVR损伤^[6]。目前,HRV与CVR的关系还有待研究,基于此,本文探究老年高血压患者HRV与CVR的关系。

1 对象与方法

1.1 对象 回顾性分析2023年3月至2024年3月在四川大学华西医院上锦医院就诊的老年高血压患者513例。

纳入标准:①患者年龄60~85岁;②高血压的诊断标准符合《老年高血压特点及临床诊治流程专家共识(2024)》^[7]的诊断规定:持续或者3次以上非同日坐位收缩压 ≥ 140 mmHg(1mmHg=0.133kPa)和/或舒张压 ≥ 90 mmHg,或先前被诊断为高血压且正在接受降压药治疗。排除标准:①临床资料不完整患者;②合并有其他严重心脑血管疾病或恶性肿瘤患者;③依从性差,无法配合完成检查的患者;④通过24h动态心电图监测,若存在持续性窦性心动过缓(平均心率 <50 次/min)、窦性停搏(RR间期 ≥ 3 s)、窦房传导阻滞(Ⅱ型或Ⅲ型)、快慢综合征(阵发性心房颤动后出现长间歇 ≥ 3 s)情况则视为窦房结功能异常并予以排除^[8];⑤合并患有其他心脏疾病患者,通过冠状动脉造影检查排除急性冠脉综合征以及心肌梗死、心绞痛等。本研究经四川大学华西医院上锦医院医学伦理委员会批准(审批号:202534)。

1.2 方法

1.2.1 一般临床资料收集 入组时记录患者的一般资料,包括患者性别、体重指数、年龄、高血压病程、吸烟史、饮酒史、糖尿病史、高脂血症史等一般临床资料,记录同型半胱氨酸、甘油三酯、总胆固醇、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)、入组收缩压、入组舒张压、降压药使用情况等。吸烟史定义参考《中国吸烟危害健康报告2020概要》^[9]:吸烟包年数 ≥ 20 包年,包括曾经吸烟 ≥ 20 包年,但戒烟不足15年。吸烟包年数=每天吸烟的包数(每包20支) \times 吸烟年数。饮酒史:饮酒超过5年,乙醇摄入量 ≥ 40 (男性), ≥ 20 g/d(女性)^[10]。高血脂:空腹血清总胆固醇 ≥ 5.2 mmol/L,甘油三酯 ≥ 1.7 mmol/L^[11]。血脂、同型半胱氨酸等指标采用全自动生化分析仪(美国贝克曼公司;型号:AU5800)检测,严格遵循试剂说明书操作。

1.2.2 CVR测定 使用经颅多普勒超声检查仪(德力凯医疗电子股份有限公司,EXP-9D)检测并记录患者在静息状态下大脑中动脉的平均流速(V_{m_1})。CVR检测由两名经验丰富的超声医师独立操作,结果取平均值。嘱咐患者屏住呼吸30 s,若患者无法屏气30 s,允许分次完成(每次10 s,间隔2 min),并记录大脑中动脉流速(V_{m_2})^[12]。CVR的计算方法为 $CVR = [(V_{m_1} - V_{m_2}) / V_{m_2}] \times 100\%$ 。CVR $< 10\%$ 表示CVR受损^[13]。按照该指标将患者分为CVR未受损组($n=312$)和CVR受损组($n=201$)。

1.2.3 HRV检测 使用动态心电记录仪(GE医疗,SEER12)行24 h动态心电图检查和HRV检测并采集相关指标。时域指标包括全部窦性心搏RR间期(又称NN期间)的标准差(standard deviation of NN intervals, SDNN),连续正常RR间期之差的均方根值(root mean square of successive differences, rMSSD),相邻RR间期差值 > 50 ms在24 h内所占RR总数的百分值(percent of NN 50 in the total number of RR intervals, pNN50)。频域指标包括低频功率(low frequency, LF)和高频功率(high frequency, HF)。其中HRV升高(SDNN、rMSSD、HF增加)表明自主神经调节灵活,副

交感神经占优,心血管健康风险低;HRV降低(SDNN、rMSSD、HF减少)反映自主神经失衡,交感神经主导,与心血管疾病、压力、焦虑等不良预后相关。LF/HF比值辅助评估交感-副交感平衡,比值升高提示交感神经占优,降低则副交感神经占优^[14]。由心电图专科医师对数据结果进行审核。

1.3 统计学方法 用SPSS22.0进行统计分析。计数资料以例(%)表示,两组间比较采用 χ^2 检验;所有计量资料经Shapiro-Wilk检验确认符合正态分布,符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用 t 检验,多组间比较采用单因素方差分析。HRV指标与CVR受损的相关性采用点二列相关分析。以老年高血压患者是否发生CVR受损为因变量(受损=1,未受损=0),SDNN、rMSSD、pNN50、LF和HF水平为自变量,并校正其他变量(年龄、性别、体重指数、高血压病程、糖尿病史、总胆固醇、甘油三酯、LDL-C、HDL-C、降压药使用),进行多因素logistic回归分析。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 CVR未受损组和CVR受损组患者一般资料 如表1所示,两组患者的一般资料,包括性别、体重指数、年龄、高血压病程、吸烟史、饮酒史、高脂血症史、半胱氨酸、甘油三酯、总胆固醇、LDL-C、HDL-C的差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

2.2 CVR未受损组和CVR受损组患者HRV指标 如表2所示,CVR受损组的SDNN、rMSSD、pNN50、LF和HF低于CVR未受损组(均 $P < 0.001$)。

2.3 不同高血压分级患者的HRV及CVR水平 如表3所示,按高血压分级分层后,各组间HRV及CVR差异无统计学意义(均 $P > 0.05$)。1级高血压、2级高血压、3级高血压患者的SDNN、rMSSD、pNN50、LF、HF及CVR水平对比,差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.4 HRV指标与CVR受损的相关性 相关性分析显示,SDNN($r = -0.338, P < 0.001$)、rMSSD($r = -0.340, P < 0.001$)、pNN50($r = -0.319, P < 0.001$)、LF($r = -0.302, P < 0.001$)和HF($r = -0.285, P < 0.001$)与CVR受损均呈负相关。

表1 CVR未受损组和CVR受损组患者一般资料

组别	例数	男性 [例(%)]	年龄 (岁)	体重指数 (kg/m ²)	高血压病程 (年)	吸烟史 [例(%)]	饮酒史 [例(%)]
CVR未受损	312	154(49.4)	68.54 \pm 2.24	22.14 \pm 1.58	6.64 \pm 1.24	125(40.1)	113(36.2)
CVR受损	201	115(57.2)	68.84 \pm 2.63	22.23 \pm 1.35	6.81 \pm 1.31	94(46.8)	81(40.3)
χ^2/t 值		3.024	-1.382	-0.666	-1.483	2.244	0.866
P 值		0.082	0.168	0.506	0.139	0.134	0.352

续表 1

组别	高脂病史 [例(%)]	同型半胱氨酸 ($\mu\text{mol/L}$)	甘油三酯 (mmol/L)	总胆固醇 (mmol/L)	LDL-C (mmol/L)	HDL-C (mmol/L)	入组收缩压 (mmHg)
CVR未受损	152(48.7)	15.18 \pm 2.25	1.52 \pm 0.23	4.86 \pm 0.86	2.25 \pm 0.44	1.84 \pm 0.42	145.65 \pm 3.14
CVR受损	93(46.3)	14.89 \pm 2.37	1.56 \pm 0.26	4.72 \pm 0.75	2.31 \pm 0.35	1.79 \pm 0.43	146.14 \pm 4.36
χ^2/t 值	0.294	1.395	-1.826	1.891	-1.629	1.304	-1.478
P 值	0.588	0.163	0.068	0.059	0.104	0.193	0.140

组别	入组舒张压 (mmHg)	降压和降脂药使用情况 [例(%)]				糖尿病史 [例(%)]	血肌酐 ($\mu\text{mol/L}$)
		β 受体阻滞剂	肾素血管紧张素系 统抑制剂	他汀类药物	钙通道阻滞药		
CVR未受损	94.64 \pm 3.52	86(27.6)	67(21.5)	62(19.9)	126(40.4)	68(21.8)	78.34 \pm 12.56
CVR受损	94.11 \pm 3.14	62(30.8)	42(20.9)	41(20.4)	71(35.2)	45(22.4)	79.12 \pm 13.24
χ^2/t 值	1.736	0.641	0.024	0.021	1.324	0.032	0.702
P 值	0.083	0.423	0.876	0.885	0.250	0.858	0.483

注: 正态分布的计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示, CVR为脑血管储备功能; LDL-C为低密度脂蛋白胆固醇; HDL-C为高密度脂蛋白胆固醇。

表 2 CVR 未受损组和 CVR 受损组患者 HRV 指标 ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	SDNN(ms)	rMSSD(ms)	pNN50(%)	LF(ms^2)	HF(ms^2)
CVR未受损	312	108.47 \pm 15.33	21.58 \pm 2.25	8.47 \pm 2.31	16.56 \pm 3.12	12.48 \pm 1.58
CVR受损	201	97.85 \pm 12.68	19.92 \pm 2.24	6.87 \pm 2.35	14.38 \pm 3.54	11.56 \pm 1.39
t 值		8.182	8.171	7.606	7.324	6.743
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: CVR为脑血管储备功能; HRV为心率变异性; SDNN为全部窦性心搏RR间期(又称NN期间)的标准差; rMSSD为连续正常RR间期之差的均方根值; pNN50为相邻RR间期差值>50 ms在24 h内所占RR总数的百分值; LF为低频功率; HF为高频功率。

表 3 不同高血压分级患者的 HRV 及 CVR 水平 ($\bar{x}\pm s$)

高血压分级	例数	SDNN(ms)	rMSSD(ms)	pNN50(%)	LF(ms^2)	HF(ms^2)	CVR(%)
1级	192	106.32 \pm 14.25	20.84 \pm 2.17	8.12 \pm 2.28	15.78 \pm 3.05	12.15 \pm 1.47	12.34 \pm 3.21
2级	241	104.87 \pm 13.98	20.35 \pm 2.30	7.89 \pm 2.41	15.32 \pm 3.21	11.98 \pm 1.52	11.89 \pm 3.05
3级	80	102.56 \pm 12.74	19.92 \pm 2.15	7.54 \pm 2.19	14.91 \pm 3.18	11.62 \pm 1.43	11.45 \pm 2.98
F 值		1.427	1.203	0.985	1.056	1.332	1.674
P 值		0.241	0.301	0.374	0.349	0.265	0.189

注: 1级高血压为收缩压140~159 mmHg和/或舒张压90~99 mmHg; 2级高血压为收缩压160~179 mmHg和/或舒张压100~109 mmHg; 3级高血压为收缩压 \geq 180 mmHg和/或舒张压 \geq 110 mmHg。HRV为心率变异性; CVR为脑血管储备功能; SDNN为全部窦性心搏RR间期(又称NN期间)的标准差; rMSSD为连续正常RR间期之差的均方根值; pNN50为相邻RR间期差值>50 ms在24 h内所占RR总数的百分值; LF为低频功率; HF为高频功率。

2.5 老年高血压患者发生 CVR 受损的影响因素 以老年高血压患者是否发生 CVR 受损为因变量(受损=1, 未受损=0), SDNN、rMSSD、pNN50、LF 和 HF 水平为自变量, 回归模型校正年龄、性别、体重指数、高血压病程、糖尿病史、总胆固醇、甘油三酯、LDL-C、HDL-C、降压药使用变量后, 结果显示, SDNN、rMSSD、pNN50、LF 和 HF 是 CVR 受损的独立保护因素(均 $P<0.001$)。见表 4。

3 讨论

高血压是一种受遗传、环境因素、生活方式选择和各种生理系统错综复杂的相互作用影响的多方面疾

病^[10]。高血压患者通常表现出交感神经系统活动增加, 导致心率加快、心脏收缩增强和外周血管收缩, 最终导致血压升高^[11-12]。此外, 交感神经活动增强促进肾上腺素和去甲肾上腺素的释放, 加强血管收缩并通过肾脏机制调节液体和钠潴留, 从而维持升高的血压水平^[13-14]。自主神经系统功能障碍通过影响血管壁的结构和功能也可导致高血压进展。HRV 是自主神经系统功能的关键指标, 其降低不仅反映了自主神经活动的改变, 还表明高血压个体的心血管风险增加。HRV 降低提示自主神经调节能力下降, 可能通过减少脑血管对代谢需求的适应性舒张, 加剧脑缺血风险, 最终导致 CVR 受损^[15]。高血压是大脑血管发生病变的主要

原因,而CVR是大脑血管功能的重要指标。在临床上,CVR是可用于诊断大脑血管的健康状况,其水平可评估脑组织的生理状况以及脑血管疾病的风险^[16-17]。脑血管病变使得血管功能衰退,患者发生脑动脉硬

化、脑血管痉挛、脑梗死、脑出血和脑血管性痴呆的可能性增加。本研究以此为目的,探究老年高血压患者HRV与CVR的关系。

表4 老年高血压患者发生CVR受损影响因素的多因素logistic回归分析(n=513)

自变量	β	SE	Wald χ^2 值	OR值	95%CI	P值
SDNN	-0.059	0.009	43.497	0.942	0.926~0.959	<0.001
rMSSD	-0.375	0.059	40.731	0.687	0.612~0.771	<0.001
pNN50	-0.345	0.055	39.123	0.708	0.636~0.789	<0.001
LF	-0.234	0.039	35.242	0.791	0.732~0.855	<0.001
HF	-0.485	0.084	32.984	0.616	0.522~0.726	<0.001

注:校正变量包括年龄、性别、体重指数、高血压病程、糖尿病史、总胆固醇、甘油三酯、LDL-C、HDL-C、降压药使用情况。CVR为脑血管储备功能;LDL-C为低密度脂蛋白胆固醇;HDL-C为高密度脂蛋白胆固醇;SDNN为全部窦性心搏RR间期(又称NN期间)的标准差;rMSSD为连续正常RR间期之差的均方根值;pNN50为相邻RR间期差值>50ms在24h内所占RR总数的百分值;LF为低频功率;HF为高频功率。共线性检验显示各变量方差膨胀因子<2,表明模型无多重共线性。

本研究结果表明,与CVR未受损的患者相比,CVR受损的患者HRV各项指标均降低。HRV反映自主神经系统对心脏的调节功能。HRV降低不仅意味着整体自主神经功能下降,还表示副交感神经功能下降,这种情况在高血压个体中尤其明显。LF和HF分别反映交感与副交感神经活动,二者平衡(LF/HF)是自主神经功能的重要指标。本研究中CVR受损组LF和HF水平均降低,可能提示交感神经持续激活导致血管张力升高,同时副交感神经功能减退削弱了血管舒张能力,共同加剧CVR损伤^[18]。有研究表明,以交感神经活动增强和副交感神经张力减弱为特征的自主神经系统功能障碍显著导致高血压的发展,加剧了心血管疾病的风险^[19]。此外,HRV降低与各种心血管危险因素有关,包括动脉粥样硬化、心血管事件发生率和总体死亡率,表明心血管系统反应性受损和不良事件风险增加。分析其原因,CVR受损(如脑卒中、脑外伤)可能导致下丘脑、脑干等自主神经调控中枢的结构或功能异常,引发交感神经与副交感神经失衡,HRV降低^[20]。另外脑血管损伤可激活下丘脑-垂体-肾上腺轴,导致皮质醇等应激激素分泌增加,抑制副交感神经活性,进一步降低HRV,CVR功能不足时,长期慢性脑缺血可能通过炎症因子释放引发心肌代谢紊乱,削弱心脏自主神经调节能力^[21]。

本研究的研究结果进一步表明了HRV与CVR的相互关系。多因素logistic回归结果显示,在老年高血压患者中,SDNN、rMSSD、pNN50、LF和HF升高是老年高血压患者发生CVR受损的保护因素。相关性分析表明HRV指标与CVR受损呈负相关。其原因在于,在高血压患者中,心肌代谢异常和氧化应激会降低患者的HRV,并加速动脉硬化及脑血管重塑,直接损

害CVR。Juttukonda等^[22]的研究表明,HRV对成人先天性心脏病的死亡率和存活率有一定的预测作用。王平等^[23]的研究表明,高夜间HRV与急性卒中患者未来心脑血管事件的风险增加相关。因此,HRV指标分析可用于预测心血管疾病、心源性猝死的预后,以及评估心脏自主神经系统的活动、平衡和相关病理状态^[24-29]。

综上所述,HRV指标SDNN、rMSSD、pNN50、LF和HF与老年高血压患者发生CVR损伤关系密切,且SDNN、rMSSD、pNN50、LF和HF水平高均实CVR受损的保护因素。本研究的局限性在于研究为单中心研究,样本量相对较小,因此研究结果的普遍性相对较弱。另外患者的药物使用可能会影响研究结果。未来可纳入更多的患者并对患者进行更细致的分组分层。

参考文献

- [1] 付军,蒋燕妮,刘辉,等.调脾护心方治疗稳定性冠心病的疗效及对心率变异性的影响[J].中西医结合心脑血管病杂志,2024,22(19):3483-3486.
- [2] Kim B, Park H. The effects of auricular acupressure on blood pressure, stress, and sleep in elders with essential hypertension: a randomized single-blind sham-controlled trial[J]. Eur J Cardiovasc Nurs, 2023, 22(6): 610-619.
- [3] Nagai M, Förster CY. Day-to-day blood pressure variability in COVID-19: a biomarker of disrupted central autonomic network[J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2022, 24(3): 234-236.
- [4] Takahashi M, Paradela RS, Grinberg LT, et al. Hypertension may associate with cerebral small vessel disease and infarcts through the pathway of intracranial atherosclerosis[J]. Neurobiol Aging, 2025, 145: 84-95.
- [5] 陈光,付森.急性缺血性脑卒中患者脑血管储备功能与其急诊治疗

- 结局相关性分析[J]. 陕西医学杂志, 2023, 52(1): 53-56.
- [6] 朱丽娜, 吴江, 杨朝慧, 等. 双时相 3D-pCASL 评估单侧大脑中动脉重度狭窄或闭塞病人脑血管储备能力的临床价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20(13): 2460-2463.
- [7] 中华医学会老年医学分会, 中国医疗保健国际交流促进会高血压病分会. 老年高血压特点及临床诊治流程专家共识(2024)[J]. 中华老年医学杂志, 2024, 43(3): 257-268.
- [8] Harding I, Kaura A, Yue A, et al. Impact of different selection policies on subcutaneous ICD implants and therapies[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2020, 43(6): 558-565.
- [9] 《中国吸烟危害健康报告 2020》编写组. 《中国吸烟危害健康报告 2020》概要[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(10): 937-952.
- [10] 胡奚榕, 李婷欣. 《中国居民膳食指南(2022)》在健康管理中的应用[J]. 健康体检与管理, 2022, 3(4): 408-410, 438.
- [11] 中国成人血脂异常防治指南修订联合委员会. 中国成人血脂异常防治指南(2016年修订版)[J]. 中华全科医师杂志, 2017, 16(1): 15-35.
- [12] Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms[J]. *Front Public Health*, 2017, 5(1): 258-267.
- [13] Murray EC, Delles C, Orzechowski P, et al. Vascular phenotypes in early hypertension[J]. *J Hum Hypertens*, 2023, 37(10): 898-906.
- [14] Damoun N, Amekran Y, Taiek N, et al. Heart rate variability measurement and influencing factors: towards the standardization of methodology[J]. *Glob Cardiol Sci Pract*, 2024, 2024(4): e202435.
- [15] Kang J, Chang Y, Kim Y, et al. Ten-second heart rate variability, its changes over time, and the development of hypertension[J]. *Hypertension*, 2022, 79(6): 1308-1318.
- [16] Dragun T, Brown CV, Tulppo MP, et al. The influence of oral cannabidiol on 24-h ambulatory blood pressure and arterial stiffness in untreated hypertension: a double-blind, placebo-controlled, cross-over pilot study[J]. *Adv Ther*, 2023, 40(8): 3495-3511.
- [17] Lopes S, Mesquita-Bastos J, Garcia C, et al. Aerobic exercise improves central blood pressure and blood pressure variability among patients with resistant hypertension: results of the EnRicH trial[J]. *Hypertens Res*, 2023, 46(6): 1547-1557.
- [18] Park JH, Ahn SK, Cho GY, et al. Increased blood pressure variability over a 16-year period is associated with left ventricular diastolic dysfunction in a population-based cohort[J]. *Am J Hypertens*, 2024, 37(3): 168-178.
- [19] Sabino-Carvalho JL, Jeong J, Sprick J, et al. Augmented resting beat-to-beat blood pressure variability in patients with chronic kidney disease[J]. *Clin Auton Res*, 2023, 33(6): 705-714.
- [20] Bajkó Z, Szekeres CC, Kovács KR, et al. Anxiety, depression and autonomic nervous system dysfunction in hypertension[J]. *J Neurol Sci*, 2012, 317(1-2): 112-116.
- [21] Leung J, Duffin J, Fisher JA, et al. MRI-based cerebrovascular reactivity using transfer function analysis reveals temporal group differences between patients with sickle cell disease and healthy controls[J]. *Neuroimage Clin*, 2016, 12: 624-630.
- [22] Juttukonda MR, Donahue MJ. Neuroimaging of vascular reserve in patients with cerebrovascular diseases[J]. *Neuroimage*, 2019, 187: 192-208.
- [23] 王平, 阳梅, 张红, 等. 心率变异性指标对老年高血压患者发生无症状心肌缺血的预测价值[J]. 国际心血管病杂志, 2025, 52(1): 58-61.
- [24] Panza GS, Puri S, Lin HS, et al. Daily exposure to mild intermittent hypoxia reduces blood pressure in male patients with obstructive sleep apnea and hypertension[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2022, 205(8): 949-958.
- [25] 蒋丹玛, 王青青. 高血压合并冠心病与单纯冠心病患者动态心电图心率变异性比较[J]. 医学临床研究, 2024, 41(10): 1530-1532, 1536.
- [26] 王寺梅, 殷晓明, 周航, 等. 合并 2 型糖尿病及高同型半胱氨酸血症对高血压患者动态血压和心率变异性的影响分析[J]. 现代医学与健康研究(电子版), 2024, 8(17): 68-71.
- [27] Pizarro C, Bosse FL, Begrich C, et al. Cardiac autonomic dysfunction in adult congenital heart disease[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2023, 23(1): 513.
- [28] Filchenko I, Mürner N, Dekkers M, et al. Blood pressure variability, nocturnal heart rate variability and endothelial function predict recurrent cerebro-cardiovascular events following ischemic stroke[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1288109.
- [29] He B, Ji D, Zhang B. Hypertension and its correlation with autonomic nervous system dysfunction, heart rate variability and chronic inflammation[J]. *Blood Press*, 2024, 33(1): 2405156.

收稿日期: 2025-01-22 责任编辑: 陈小明