



老年高血压患者左心室构型与运动耐量的相关性

林建珍, 章文杰, 张志民, 陈锦秋, 戴莉莉

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0154>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

原发性醛固酮增多症患者心肺运动试验中运动血压与左心室后壁增厚的相关性

中华高血压杂志. 2023, 31(9): 856-862 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.09.010>

老年血脂异常患者体重指数与高血压患病风险的关系

中华高血压杂志. 2025, 33(4): 370-377 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025.04.011>

急诊手术老年高血压患者手术当日使用血管紧张素转换酶抑制剂/血管紧张素受体阻滞药对围手术期心脑血管事件的影响：
倾向评分匹配分析

中华高血压杂志. 2024, 32(11): 1057-1064 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.11.011>

臂踝动脉脉搏波传导速度联合脉压指数对老年高血压患者冠心病的诊断及预测价值

中华高血压杂志. 2024, 32(1): 51-56 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.01.011>

中老年原发性高血压患者血清甲状旁腺素、25-羟维生素D水平与左心室肥厚的相关性

中华高血压杂志. 2024, 32(12): 1149-1155 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.12.008>

豆类摄入量与主要心血管事件和全因死亡的关系

中华高血压杂志. 2025, 33(5): 424-433 <https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024-0209>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

老年高血压患者左心室构型与运动耐量的相关性

林建珍¹, 章文杰¹, 张志民¹, 陈锦秋¹, 戴莉莉²

1. 福建省级机关医院, 福建卫生职业技术学院附属医院心内科, 福建 福州 350003;

2. 福建省级机关医院, 福建卫生职业技术学院附属医院检验科

摘要:目的 探讨老年高血压患者左心室构型与运动耐量的相关性及性别差异。**方法** 纳入 835 例年龄 ≥ 60 岁的原发性高血压患者作为病例组, 按 Ganau 分型分为正常构型(NL)、向心性重构(CR)、离心性肥厚(EH)、向心性肥厚(CH)四个亚组; 同时收集 151 例同时期年龄 ≥ 60 岁的非高血压且正常心脏构型的人群作为对照组。比较 5 组峰值摄氧量(Peak VO_2)差异; 采用多元线性回归分析探讨左心室结构参数——左心室舒张末期内径(LVEDD)、左心室收缩末期内径(LVESD)、舒张末期室间隔厚度(IVST)、左心室后壁厚度(PWT)、相对室壁厚度(RWT)和左心室质量指数(LVMI)与 Peak VO_2 的相关性及男女差异。**结果** 高血压四个构型亚组(NL、CR、EH、CH)的 Peak VO_2 较对照组低 $[(16.20 \pm 4.93)$ 、 (15.56 ± 5.18) 、 (13.56 ± 4.92) 、 (13.27 ± 4.40) 比 (18.14 ± 4.76) mL/(kg·min), $P < 0.001$]; 高血压患者中, 异常构型组的 Peak VO_2 较 NL 组低($P < 0.001$)。男性的 NL 及 CR 构型比例高于女性, EH 及 CH 构型比例低于女性。多元线性回归分析结果显示, 在老年高血压患者中, 调整年龄、性别、吸烟史、饮酒史、收缩压、舒张压、体重指数、高血压病程、心率、空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、血清尿酸、降压药物使用等因素后, IVST 与 Peak VO_2 独立负相关($B = -0.264$, $P = 0.028$)。IVST 在男性患者是 Peak VO_2 的独立负相关因素($B = -0.551$, $P < 0.001$), 而在女性患者该相关性无统计学意义($B = -0.033$, $P = 0.323$)。**结论** 老年高血压患者的运动耐量低于非高血压老年人, 其中左心室异常构型组的运动耐量低于正常构型组; 老年男性患者 IVST 和运动耐量独立负相关。

关键词: 高血压; 老年; 左心室构型; 心肺运动试验; 运动耐量; 性别

Correlation between left ventricular configuration and exercise tolerance in elderly patients with hypertension

LIN Jianzhen¹, ZHANG Wenjie¹, ZHANG Zhimin¹, CHEN Jinqiu¹, DAI Lili²

1. Department of Cardiology, Fujian Provincial Governmental Hospital / Affiliated Hospital of Fujian Health College,

Fuzhou, Fujian 350003, China; 2. Department of Clinical Laboratory, Fujian Provincial Governmental

Hospital / Affiliated Hospital of Fujian Health College

Abstract: Objective To explore the correlation and gender differences between left ventricular (LV) morphology and exercise tolerance in elderly patients with hypertension. **Methods** A total of 835 patients aged ≥ 60 with essential hypertension were included as case groups. According to the Ganau classification, they were divided into four subgroups: normal configuration (NL), concentric remodeling (CR), eccentric hypertrophy (EH), and concentric hypertrophy (CH). At the same time, 151 non-hypertensive and normal heart configuration people aged ≥ 60 years were collected as a control group. The differences were compared in Peak oxygen consumption(Peak VO_2) among the five groups. Multiple linear regression analysis was used to explore the correlation between Peak VO_2 and LV structural parameters, including LV end-diastolic diameter (LVEDD), LV end-systolic diameter (LVESD), interventricular septum thickness (IVST), LV posterior wall thickness (PWT), relative ventricular wall thickness (RWT) and LV mass index (LVMI) in total subjects, as well as in men and women. **Results** The Peak VO_2 in the four configuration subgroups of hypertension (NL, CR, EH, CH) was lower than that in the control group $[(16.20 \pm 4.93)$, $[15.56 \pm 5.18]$, $[13.56 \pm 4.92]$, $[13.27 \pm 4.40]$ vs. $[18.14 \pm 4.76]$ mL/(kg·min), $P < 0.001$), and the Peak VO_2 of the three abnormal configuration groups was lower than that of the NL group ($P < 0.001$). The proportions of NL and CR patterns were higher in males than in females, while the proportions of EH and CH patterns were lower in females. Multiple linear regression analysis showed that in the entire elderly hypertensive

patients, after adjusting for age, gender, smoking history, alcohol drinking history, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, body mass index, duration of hypertension, heart rate, fasting blood glucose, total cholesterol, triglyceride, serum uric acid and antihypertensive medication use, IVST and Peak VO_2 were independently negatively correlated ($B = -0.264$, $P = 0.028$). IVST was an independent negative factor correlate to Peak VO_2 in male patients ($B = -0.551$, $P < 0.001$), but this correlation was not statistically significant in female patients ($B = -0.033$, $P = 0.323$). **Conclusions** The exercise tolerance of elderly hypertensive patients is lower than that of non-hypertensive elderly people; and the exercise tolerance of the left ventricular abnormal configuration groups is lower than that of the normal configuration group; IVST is independently negatively correlated with exercise tolerance in elderly male patients.

Keywords: hypertension; elderly; left ventricular geometry; cardiopulmonary exercise test; exercise tolerance; gender

运动耐量是评估患者心肺功能状态及预后的核心指标,运动耐量下降可增加全因死亡和心血管疾病的风险^[1]。研究证实,老年原发性高血压患者运动耐量较血压正常人群明显下降^[2];另有研究发现,高血压患者左心室结构参数与运动耐量存在相关性^[3],而高血压患者左心室肥厚与心血管疾病和全因死亡率的较高风险相关^[4]。但老年高血压患者左心室四种构型对运动耐量影响如何,目前研究较少。峰值摄氧量(peak oxygen consumption, Peak VO_2)是目前公认的反映运动耐量的重要指标^[5],其水平的高低直接体现了运动耐量的强弱,本研究通过整合超声心动图与心肺运动试验,以 Peak VO_2 为运动耐量主要指标,旨在探索老年高血压群体左心室不同构型与运动耐量的相关性。有流行病学调查研究发现,高血压患者左心室几何模式存在性别差异^[6],故本研究进一步分层探讨男性和女性患者中左心室构型与运动耐量相关性的差异。

1 对象与方法

1.1 对象 入选福建省级机关医院(本院)2023年1月至2024年12月共835例门诊和住院高血压患者作为高血压病例组,以及151例同期非高血压人群作为对照组。

纳入标准:①高血压病例组:年龄 ≥ 60 岁原发性高血压患者,根据《中国高血压防治指南(2024年修订版)》,高血压定义为:非同日3次测量收缩压 ≥ 140 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)和/或舒张压 ≥ 90 mmHg,或已接受降压药治疗且血压 $< 140/90$ mmHg^[7]。②对照组:增加本院同时期年龄 ≥ 60 岁的非高血压且正常心脏构型的人群作为对照组,与病例组采用相同的检测流程。

排除标准:①继发性高血压;②合并冠心病(心肌梗死史、冠状动脉造影显示冠状动脉狭窄率 $\geq 50\%$)、中重度心脏瓣膜疾病;③心功能不全(纽约心功能分级 $\geq \text{II}$ 级)或恶性心律失常(持续 > 30 s室性心动过

速、心室颤动、RonT现象);④肺功能障碍者(一秒率 $< 70\%$ 且第一秒用力呼气量 $< 50\%$ 预计值);⑤严重肝功能损伤(丙氨酸转氨酶 ≥ 5 倍正常值上限或总胆红素 ≥ 2 倍正常值上限)、肾功能损伤[血清肌酐 > 5 mg/dL (1 mg/dL = 76.3 $\mu\text{mol/L}$)或肾小球滤过率 < 60 mL/(min $\cdot 1.73$ m²)];急性脑卒中、贫血(男性血红蛋白 < 120 g/L,女性血红蛋白 < 110 g/L)或甲状腺功能亢进;⑥下肢活动障碍或无法配合完成心肺运动试验。本研究经福建省级机关医院伦理委员会批准(RL2022-09-08),受试者签署书面知情同意书。

样本量计算:高血压病例组通过软件 G*Power 3.1.9.7 计算样本量。选择线性回归固定模型 F 检验 (Test family: F tests; Statistical test: Linear multiple regression: Fixed model, R^2 deviation from zero), 设定效应量 ($f^2 = 0.15$ ^[8])、检验水准 ($\alpha = 0.05$)、统计功效 ($1 - \beta = 0.95$)、预测变量数 ($k = 20$)。软件输出最小样本量 $n = 222$ (非中心参数 $\lambda = 33.30$, 临界 F 值 = 1.62); 实际功效: 0.951 (满足 > 0.95 功效要求)。为补偿预期数据无效风险,按 20% 扩充样本: $222/(1 - 0.20) = 278$ 。本研究同时进行男女性别亚组分析,故男女患者均至少 278 例。由于非单独收集男女病例,根据研究进度本研究连续纳入 2023 年 1 月至 2024 年 12 月就诊的高血压患者,实际纳入男性 432 例,女性 403 例,总共 835 例老年(年龄 ≥ 60 岁)原发性高血压患者,符合样本量要求。对照组的样本量根据高血压病例最小亚组的样本量确定。

1.2 方法

1.2.1 临床资料采集 收集受试者的性别、年龄、身高、体重、静息心率、高血压病程、血压、吸烟史、饮酒史、降压药等临床资料。计算体重指数 (body mass index, BMI): $\text{BMI} = \text{体重}(\text{kg})/\text{身高}^2(\text{m}^2)$ 。

血压测量:受试者安静休息 5 min 以上,用上臂式电子血压计(欧姆龙-J710)测量受试者右上臂肱动脉血压,测量时袖带中心与心脏保持同一水平,测量 3 次,计算 3 次的均值作为该时刻的血压水平,分别记

录收缩压和舒张压水平。

吸烟史: 每日吸烟不低于10支且持续时间不低于1年; 饮酒史: 过去一年每周至少饮酒一次。

生化指标检测: 受试者空腹8 h, 晨起抽取静脉血5 mL。利用全自动生化分析仪(迈瑞BS-2000M), 采用酶比色法检测总胆固醇、甘油三酯、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), 用尿酸酶法测血清尿酸水平, 用己糖激酶法检测空腹血糖。主要降压药情况: 肾素-血管紧张素系统抑制剂(renin-angiotensin system inhibitor, RASi)[包括血管紧张素转换酶抑制剂(angiotensin-converting enzyme inhibitor, ACEI)、血管紧张素受体阻滞药(angiotensin receptor blocker, ARB)、血管紧张素受体脑啡肽酶抑制剂(angiotensin receptor-neprilysin inhibitor, ARNI)]、 β 受体阻滞剂(beta receptor blocker, β B)、钙通道阻滞药(calcium channel blocker, CCB)和利尿剂。

1.2.2 心肺运动试验(cardiopulmonary exercise test, CPET) 采用SCHILLER®(型号: CARDIOVIT CS-200 Ergo Spiro)心肺运动测试系统, 严格遵循美国胸科学会CPET标准化操作指南^[9]。测试流程包括: ①静息期(3 min, 记录基础代谢率及静态心肺参数); ②热身期(0功率, 60转/min, 3 min); ③递增负荷期(10~20 W/min递增速率); ④恢复期(0功率, 5 min)。全程监测12导联心电图、无创血压及呼吸气体, 通过V-slope法确定无氧阈, 以呼吸交换率 ≥ 1.05 作为最大努力程度的验证标准。终止试验指征包括: 胸闷/胸痛、心电图ST段压低 ≥ 2 mm、持续性室性心律失常或受试者主动要求终止。CPET测试指标有: Peak VO_2 、无氧阈(anaerobic threshold, AT)、氧脉搏(oxygen pulse, VO_2/HR)、心率储备(heart rate reserve, HRR); 运动收缩压变化量(change in exercise systolic blood pressure, ΔSBP); 摄氧量-功率斜率(oxygen uptake to work rate slope, $\Delta\text{VO}_2/\Delta\text{WR}$)。

1.2.3 超声心动图评估 采用Philips® Sonos 5500超声诊断系统, 由两名经验丰富的医师双盲法测量, 在胸骨旁左心室长轴切面中测以下参数: ①室间隔厚度(interventricular septum thickness, IVST)与左心室后壁厚度(left ventricular posterior wall thickness, PWT): 取舒张末期连续5个心动周期均值; ②左心室舒张末期内径(left ventricular end-diastolic diameter, LVEDD)、左心室收缩末期内径(left ventricular end-systolic diameter, LVESD): M型超声测量; ③左心室质量(left ventricular mass, LVM)按Devereux校正公式计算^[10]: $\text{LVM}(\text{g}) = 0.8 \times 1.04 \times [(\text{IVST} + \text{PWT} + \text{LVEDD})^3 - \text{LVEDD}^3] + 0.6$; ④体表面积(body surface area, BSA) = $0.007184 \times \text{身高}$

$(\text{cm})^{0.725} \times \text{体重}(\text{kg})^{0.425}$, 左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI) = LVM/BSA , 相对室壁厚度(relative ventricular wall thickness, RWT) = $(\text{IVST} + \text{PWT})/\text{LVEDD}$ 。

⑤射血分数(ejection fraction, EF): 采用改良Simpson双平面法, 于心尖四腔心及两腔心切面, 手动描记舒张末期与收缩末期左心室内膜轮廓, 仪器自动计算左心室舒张末期容积(left ventricular end-diastolic volume, LVEDV)与收缩末期容积(left ventricular end-systolic volume, LVESV), 按公式: $\text{EF}(\%) = [(\text{LVEDV} - \text{LVESV})/\text{LVEDV}] \times 100\%$ 计算, 取连续5个心动周期的均值作为最终结果。左心室肥厚诊断标准: 男性LVMI $\geq 115 \text{ g/m}^2$, 女性LVMI $\geq 95 \text{ g/m}^2$ 。左心室构型按Ganau分型^[10]分为4组: ①正常构型组(NL组): LVMI正常, RWT < 0.42 ; ②向心性重构组(CR组): LVMI正常, RWT ≥ 0.42 ; ③离心性肥厚组(EH组): LVMI升高, RWT < 0.42 ; ④向心性肥厚组(CH组): LVMI升高, RWT ≥ 0.42 。

1.3 统计学方法 采用统计软件SPSS 25.0进行数据处理和分析。计量资料符合正态分布者以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 五组间比较采用单因素方差分析, 两两比较在整体差异有统计学意义后, 方差齐时采用LSD法, 方差不齐时采用Dunnett's T3检验; 比较高血压不同构型之间的运动耐量差异, 采用协方差分析; 分类变量以频数及百分比(%)表示, 整体比较采用 χ^2 检验, 组间两两比较在整体差异有统计学意义后采用Bonferroni校正法。高血压左心室构型参数与Peak VO_2 的相关性, 符合正态分布者采用Pearson相关分析, 非正态分布者采用Spearman秩相关分析; 分析高血压不同左心室构型和Peak VO_2 的相关性, 以及高血压左心室构型参数和Peak VO_2 的相关性, 采用多元线性回归分析, 要求残差独立、无多重共线性(方差膨胀因子 < 10)。Bonferroni校正法检验以 $P < 0.0125$ (0.05/4)为差异具有统计学意义, 其他检验则以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

缺失数据处理: 本研究中, 对照组无缺失数据, 高血压病例数据中, 心率、收缩压、舒张压、 $\Delta\text{VO}_2/\Delta\text{WR}$ 和病程存在缺失值, 缺失比例均低于2%。通过利特尔完全随机缺失检验(Little's missing completely at random test, Little's MCAR检验) ($P < 0.001$)拒绝完全随机缺失的假设, 进一步经二元logistic回归分析(各缺失变量均有 $P < 0.05$ 的自变量)支持随机缺失机制, 故采用多重插补法进行10次插补, 生成完整数据集用于分析。为评估插补结果的稳健性, 进一步进行敏感性分析比较不同插补次数及方法, 结果均显示主要结论未发生实质性改变。

2 结 果

2.1 基本临床特征 对照组 151 例,老年高血压患者 835 例(其中 NL 组 260 例,CR 组 257 例,EH 组 167 例,CH 组 151 例)。正常组的年龄、BMI、收缩压、HDL-C、血清尿酸与各病例亚组差异有统计学意

义。高血压病例组中,CH 组男性比例最少、年龄最大、高血压病程最久、静息舒张压最低、吸烟和饮酒的比例也最低。降压药使用方面,βB 在 EH 组最高,和 NL、CR 组比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),RASi、CCB 在四组差异无统计学意义,利尿剂比例均较少。见表 1。

表 1 对照组和高血压不同左心室构型组的基本特征
Table 1 Basic characteristics of control group and hypertensive groups with different left ventricular geometry

组别 Group	例数 <i>n</i>	男性 [n(%)] Male	年龄 (岁) Age (years)	BMI (kg/m ²)	心率(次/min) HR (beats/ min)	高血压病程(年) Hypertension disease course (years)	收缩压(mmHg) SBP
对照 Control	151	78 (51.6)	66.73 ± 5.20	23.39 ± 3.17	79.28 ± 11.05		116.13 ± 15.52
NL	260	161 (61.9)	70.08 ± 6.82 [*]	24.74 ± 3.16 ^a	79.86 ± 11.64	8.56 ± 6.75	125.14 ± 18.20 ^a
CR	257	177 (68.9) ^a	70.36 ± 6.65 ^a	24.71 ± 3.13 ^a	81.91 ± 11.86 ^b	8.60 ± 6.79	125.00 ± 18.07 ^a
EH	167	69 (41.3) ^{abc}	71.78 ± 6.95 ^{abc}	24.66 ± 2.90 ^a	79.95 ± 11.22	9.75 ± 6.82	127.28 ± 16.64 ^a
CH	151	25 (16.6) ^{abcd}	72.91 ± 7.37 ^{abc}	24.91 ± 3.07 ^a	79.30 ± 10.27 ^c	10.77 ± 8.37 ^{bc}	124.70 ± 18.61 ^a
χ ² /F值		123.139	18.910	6.280	1.634	4.114	10.745
P值		<0.001	<0.001	<0.001	0.164	0.007	<0.001

组别 Group	舒张压 (mmHg) DBP	空腹血糖 (mmol/L) FBG	总胆固醇(mmol/L) TC	甘油三酯(mmol/L) Triglyceride	LDL-C (mmol/L)	HDL-C (mmol/L)	血清尿酸(μmol/L) SUA
对照 Control	74.26 ± 9.26	6.19 ± 2.18	5.02 ± 1.21	1.39 ± 0.95	3.19 ± 0.97	1.38 ± 0.37	331.19 ± 86.57
NL	76.30 ± 10.02	6.62 ± 2.35	4.59 ± 1.24 ^a	1.57 ± 1.10	2.81 ± 1.03 ^a	1.27 ± 0.35 ^a	371.53 ± 95.27 ^a
CR	75.86 ± 10.55	6.27 ± 3.15	4.69 ± 1.19 ^a	1.66 ± 1.10	2.93 ± 0.99	1.21 ± 0.34 ^a	375.78 ± 95.12 ^a
EH	77.80 ± 11.14 ^{ac}	6.53 ± 4.45	4.65 ± 1.26 ^a	1.51 ± 1.06	2.90 ± 1.01	1.22 ± 0.30 ^a	366.59 ± 89.97 ^a
CH	73.99 ± 10.49 ^{bd}	6.52 ± 2.70	5.07 ± 1.26 ^{bcd}	1.64 ± 0.92	3.19 ± 1.09 ^{bcd}	1.28 ± 0.37 ^{ac}	353.27 ± 93.56 ^{ac}
χ ² /F值	3.659	0.908	5.944	1.909	4.534	6.821	6.742
P值	0.006	0.459	<0.001	0.107	0.001	<0.001	<0.001

组别 Group	吸烟史[n(%)] Smoking	饮酒史[n(%)] Drinking	RASi [n(%)]	βB [n(%)]	CCB [n(%)]	利尿剂 [n(%)] Diuretics
对照 Control	11 (7.3)	6 (4.0)				
NL	35 (13.5)	13 (5.0)	192 (73.8)	135 (51.9)	104 (40.0)	16 (6.2)
CR	50 (19.5) ^a	22 (8.6)	187 (72.8)	143 (55.6)	100 (38.9)	4 (1.6) ^b
EH	14 (8.4) ^c	7 (4.2)	136 (81.4)	113 (67.7) ^{bc}	67 (40.1)	17 (7.2) ^c
CH	9 (6.0) ^{bc}	2 (1.3) ^{bc}	120 (79.5)	92 (60.9)	58 (38.4)	7 (4.6)
χ ² /F值	24.612	21.002	5.848	11.443	0.163	9.255
P值	<0.001	<0.001	0.119	0.010	0.983	0.026

注:正态分布计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示。NL组为正常构型组;CR组为向心性重构组;EH组为离心性肥厚组;CH组为向心性肥厚组;BMI为体重指数;RASi为肾素-血管紧张素系统抑制剂;βB为β受体阻滞剂;CCB为钙通道阻滞药;LDL-C为低密度脂蛋白胆固醇;HDL-C为高密度脂蛋白胆固醇。方差分析中,与对照组比,^a $P < 0.05$;与NL组比,^b $P < 0.05$;与CR组比,^c $P < 0.05$;与EH组比,^d $P < 0.05$ 。χ²检验中,两两比较以Bonferroni校正,与对照组比,^a $P < 0.0125$;与NL组比,^b $P < 0.0125$;与CR组比,^c $P < 0.0125$;与EH组比,^d $P < 0.0125$ 。

Normally distributed continuous data are presented as ($\bar{x} \pm s$). Abbreviations: NL, normal configuration; CR, centripetal remodeling; EH, eccentric hypertrophy; CH, centripetal hypertrophy; BMI, body mass index; HR, heart rate; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; FBG, fasting blood glucose; TC, total cholesterol; LDL-C, low-density lipoprotein cholesterol; HDL-C, high-density lipoprotein cholesterol; SUA, serum uric acid; RASi, renin-angiotensin system inhibitor; BB, beta receptor blocker; CCB, calcium channel blocker. In the analysis of variance, compared with control group, ^a $P < 0.05$; compared with NL group, ^b $P < 0.05$; compared with CR group, ^c $P < 0.05$; compared with EH group, ^d $P < 0.05$. In the χ² test, the pairwise comparison is corrected by Bonferroni, compared with control group, ^a $P < 0.0125$; compared with NL group, ^b $P < 0.0125$; compared with CR group, ^c $P < 0.0125$; compared with EH group, ^d $P < 0.0125$.

生化指标方面,高血压病例组中,空腹血糖、甘油三酯在四组之间差异无统计学意义,总胆固醇和 LDL-C

在 CH 组最高。心脏超声指标方面,对照组的 PWT、IVST、LVMI 均低于 4 个高血压构型亚组($P < 0.001$),

EH、CH 组的 PWT、IVST、LVMI 均大于 NL、CR 组 ($P<0.001$); 对照组和 NL 组之间的 EF 差异无统计学意义, 但数值均高于其他三个异常构型组 ($P<0.05$)。见表 2。

表 2 对照组和高血压不同左心室构型患者的心脏超声指标对比 ($\bar{x}\pm s$)
Table 2 Comparison of cardiac ultrasound indexes between control group and hypertensive patients with different left ventricular configurations

组别 Group	例数 <i>n</i>	EF(%)	LVEDD(mm)	LVESD(mm)	PWT(mm)	IVST(mm)	LVMI(g/m ²)	RWT
对照 Control	151	65.73 ± 4.31	46.33 ± 3.34	29.62 ± 2.71	8.51 ± 0.79	9.80 ± 0.98	87.74 ± 12.98	0.37 ± 0.04
NL	260	65.78 ± 4.94	46.92 ± 3.14	29.93 ± 2.66	8.88 ± 0.75 ^a	10.42 ± 1.19 ^a	90.55 ± 12.09 ^a	0.38 ± 0.03
CR	257	64.88 ± 3.68 ^{ab}	43.82 ± 1.99 ^{ab}	28.50 ± 2.56 ^{ab}	9.91 ± 0.54 ^{ab}	11.03 ± 0.95 ^{ab}	90.82 ± 11.97 ^a	0.45 ± 0.03 ^b
EH	167	64.73 ± 6.57 ^{ab}	50.19 ± 3.28 ^{abc}	32.10 ± 3.26 ^{abc}	9.57 ± 0.77 ^{abc}	11.39 ± 1.25 ^{abc}	116.78 ± 15.75 ^{abc}	0.38 ± 0.03 ^c
CH	151	64.24 ± 3.35 ^{ab}	46.05 ± 2.46 ^{bcd}	30.21 ± 2.20 ^{cd}	10.28 ± 0.52 ^{abcd}	11.59 ± 1.35 ^{abc}	112.38 ± 13.55 ^{abcd}	0.45 ± 0.02 ^{bcd}
<i>F</i> 值		3.754	108.574	46.321	203.084	68.182	210.187	348.127
<i>P</i> 值		0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: NL 组为正常构型组; CR 组为向心性重构组; EH 组为离心性肥厚组; CH 组为向心性肥厚组。EF 为射血分数; LVEDD 为左心室舒张末期
内径; LVESD 为左心室收缩末期内径; PWT 为左心室后壁厚度; IVST 为室间隔厚度; LVMI 为左心室质量指数; RWT 为相对室壁厚度。与对照
组比, ^a $P<0.05$; 与 NL 组比, ^b $P<0.05$; 与 CR 组比, ^c $P<0.05$; 与 EH 组比, ^d $P<0.05$ 。
Abbreviations: NL, normal configuration; CR, centripetal remodeling; EH, eccentric hypertrophy; CH, centripetal hypertrophy; EF, ejection fraction;
LVEDD, left ventricular end-diastolic diameter; LVESD, left ventricular end-systolic diameter; PWT, left ventricular posterior wall thickness; IVST, inter
ventricular septal thickness; LVMI, left ventricular mass index; RWT, relative ventricular wall thickness. Compared with control group, ^a $P<0.05$; compared
with NL group, ^b $P<0.05$; compared with CR group, ^c $P<0.05$; compared with EH group, ^d $P<0.05$.

2.2 对照组和高血压各左心室构型组之间心肺功能的差异
高血压各构型亚组的心肺功能指标 (包括 Peak VO₂、AT、ΔVO₂/ΔWR、VO₂/HR、HRR、ΔSBP) 与对照组的差异均有统计学意义 ($P<0.05$), 见表 3。高血压病例组中, 三个异常构型组的 Peak VO₂ 均较 NL 组降低 ($P<0.001$), EH 组和 CH 组的 Peak VO₂ 差异无统计学意义, 但数值均低于 CR 组 ($P<0.001$)。为

排除干扰因素的影响, 进一步通过协方差分析, 在调整了临床基本资料之后, 异常组 Peak VO₂ 仍低于 NL 组 ($P<0.001$), 但各异常构型组之间的差异无统计学意义。心肺功能的其他指标 (如 AT、ΔVO₂/ΔWR、VO₂/HR、HRR、ΔSBP), EH、CH 组均低于对照组和 CR 组 ($P<0.001$)。

表 3 对照组和高血压不同左心室构型患者之间心肺功能指标对比 ($\bar{x}\pm s$)
Table 3 Comparison of cardiopulmonary function indexes between control group and hypertensive patients with different left ventricular configurations

组别 Group	例数 <i>n</i>	HRR(次/min) HRR(beats/min)	ΔSBP (mmHg)	Peak VO ₂ [#] [mL/(kg·min)]	Peak VO ₂ [*] [mL/(kg·min)]	AT [mL/(kg·min)]	ΔVO ₂ /ΔWR (mL/min·W)	VO ₂ /HR(mL/次) VO ₂ /HR(mL/beat)
对照 Control	151	46.28 ± 21.71	41.37 ± 22.64	18.14 ± 4.76		13.31 ± 4.04	9.50 ± 2.63	9.68 ± 2.65
NL	260	38.76 ± 17.81 ^a	37.89 ± 22.73 ^a	16.20 ± 4.93 ^a	15.60 ± 0.18	11.40 ± 3.95 ^a	8.35 ± 2.55 ^a	8.76 ± 2.88 ^a
CR	257	37.79 ± 18.82 ^a	39.75 ± 24.05 ^a	15.56 ± 5.18 ^{ab}	15.58 ± 0.21 ^b	11.19 ± 4.14 ^a	8.40 ± 3.12 ^a	8.59 ± 2.99 ^a
EH	167	33.46 ± 19.27 ^{abc}	31.39 ± 21.09 ^{abc}	13.56 ± 4.92 ^{abc}	14.26 ± 0.30 ^b	10.32 ± 3.81 ^{abc}	7.36 ± 3.45 ^{abc}	7.49 ± 2.73 ^{abc}
CH	151	34.18 ± 18.27 ^{abc}	33.25 ± 23.07 ^{abc}	13.27 ± 4.40 ^{abc}	14.27 ± 0.32 ^b	10.24 ± 3.70 ^{abc}	7.30 ± 3.16 ^{abc}	7.02 ± 2.26 ^{abc}
<i>F</i> 值		13.311	6.263	21.417	8.513	5.521	9.833	22.769
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001

注: NL 组为正常构型组; CR 组为向心性重构组; EH 组为离心性肥厚组; CH 组为向心性肥厚组; HRR 为心率储备; ΔSBP 为运动收缩压变化
量; Peak VO₂ 为峰值摄氧量; AT 为无氧阈; ΔVO₂/ΔWR 为摄氧量-功率斜率; VO₂/HR 为氧脉搏。与对照组比, ^a $P<0.05$; 与 NL 组比, ^b $P<0.05$; 与
CR 组比, ^c $P<0.05$ 。[#] 对对照组与高血压各构型亚组之间 Peak VO₂ 的方差分析; ^{*} 高血压各构型亚组之间 Peak VO₂ 进一步行协方差分析, 调整了组
间有差异的临床计量资料 (年龄、收缩压、舒张压、静息心率、病程、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇等)。
Abbreviations: NL, normal configuration; CR, centripetal remodeling; EH, eccentric hypertrophy; CH, centripetal hypertrophy; HRR, heart rate reserve;
ΔSBP, exercise systolic pressure change; Peak VO₂, Peak oxygen uptake; AT, anaerobic threshold; ΔVO₂/ΔWR, oxygen uptake-power slope; VO₂/HR, oxygen
pulse. Compared with control group, ^a $P<0.05$; compared with NL group, ^b $P<0.05$; compared with CR group, ^c $P<0.05$. [#] Analysis of variance between Peak
VO₂ of control group and each configuration subgroup of hypertension; ^{*} Further analysis of covariance between Peak VO₂ of each configuration subgroup of
hypertension adjusted clinical measurement data with differences between groups (age, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, resting heart rate,
course of disease, total cholesterol, low density lipoprotein cholesterol, etc).

2.3 男女左心室构型比例及参数的差异 比较老年高血压患者左心室构型比例在性别方面的差异(见表4),结果发现,男性的NL比例、CR比例均高于女性,而EH

比例、CH比例均低于女性($P<0.001$)。左心室构型参数方面,男性LVMI、LVEDD、LVESD、PWT、IVST指标均大于女性($P<0.001$)。

表4 高血压患者左心室构型参数和构型比例的性别差异

Table 4 Sex differences in left ventricular configuration parameters and configuration proportions in hypertensive patients

性别 Gender	例数 <i>n</i>	LVEDD (mm)	LVESD (mm)	PWT (mm)	IVST (mm)	LVMI (g/m ²)
男 Male	432	47.45 ± 3.91	30.62 ± 3.05	9.77 ± 0.80	11.40 ± 1.28	101.64 ± 18.71
女 Female	403	45.41 ± 3.36	29.29 ± 2.71	9.38 ± 0.83	10.60 ± 1.07	97.88 ± 16.12
χ^2 值		-8.063	-6.635	-6.861	-9.629	-3.106
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
性别 Gender		RWT	NL [<i>n</i> (%)]	CR [<i>n</i> (%)]	EH [<i>n</i> (%)]	CH [<i>n</i> (%)]
男 Male		0.41 ± 0.04	161 (37.3)	177 (41.0)	69 (16.0)	25 (5.8)
女 Female		0.42 ± 0.05	99 (24.6) ^a	80 (19.9) ^a	98 (24.3) ^a	126 (31.3) ^a
χ^2 值		0.420		123.129		
<i>P</i> 值		0.675		<0.001		

注:正态分布计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示。LVEDD为左心室舒张末期内径;LVESD为左心室收缩末期内径;PWT为左心室后壁厚度;IVST为室间隔厚度;LVMI为左室质量指数;RWT为相对室壁厚度;NL为正常构型;CR为向心性重构;EH为离心性肥厚;CH为向心性肥厚。 χ^2 检验中,两两比较以Bonferroni校正,^a $P<0.0125$ 。

Normally distributed continuous data are presented as ($\bar{x} \pm s$). Abbreviations: LVEDD, left ventricular end-diastolic diameter; LVESD, left ventricular end-systolic diameter; PWT, left ventricular posterior wall thickness; IVST, interventricular septal thickness; LVMI, left ventricular mass index; RWT, relative ventricular wall thickness; NL, normal configuration; CR, centripetal remodeling; EH, eccentric hypertrophy; CH, centripetal hypertrophy. In the χ^2 test, pairwise comparisons were made with Bonferroni correction, ^a $P<0.0125$.

2.4 高血压左心室构型参数和运动耐量的相关性 通过单因素相关分析,发现在高血压病例组中,左心室构型相关参数LVEDD、LVESD、PWT、IVST和Peak VO₂呈负相关($P<0.001$)。进一步男女分层分析,

男性患者LVMI、IVST与Peak VO₂呈负相关($P<0.05$),而女性患者只有IVST和Peak VO₂呈负相关($P<0.05$),且相关性弱于男性。见表5。

表5 高血压患者左心室构型参数与Peak VO₂的相关性

Table 5 Correlation between left ventricular configuration parameters and Peak VO₂ in hypertensive patients

患者 Patients	例数 <i>n</i>	LVEDD (mm)		LVESD (mm)		PWT (mm)		IVST (mm)		LVMI (g/m ²)		RWT	
		<i>r</i> 值	<i>P</i> 值	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值	<i>r</i> 值	<i>P</i> 值
全体患者 Total	835	-0.115	<0.001	-0.122	<0.001	-0.141	<0.001	-0.151	<0.001	-0.042	0.111	-0.043	0.109
男性患者 Male	432	-0.010	0.416	-0.009	0.423	-0.040	0.204	-0.114	0.009	-0.100	0.019	-0.054	0.133
女性患者 Female	403	-0.025	0.306	-0.057	0.129	-0.047	0.171	-0.088	0.039	-0.051	0.154	-0.026	0.304

注:Peak VO₂为峰值摄氧量;LVEDD为左心室舒张末期内径;LVESD为左心室收缩末期内径;PWT为左心室后壁厚度;IVST为室间隔厚度;LVMI为左室质量指数;RWT为相对室壁厚度。

Abbreviations: Peak VO₂, Peak oxygen uptake; LVEDD, left ventricular end-diastolic diameter; LVESD, left ventricular end-systolic diameter; PWT, left ventricular posterior wall thickness; IVST, interventricular septal thickness; LVMI, left ventricular mass index; RWT, relative ventricular wall thickness.

2.5 高血压构型组和构型参数与Peak VO₂多元线性回归分析 为明确老年高血压患者不同左心室构型组和运动耐量的独立相关性,进一步采用多元线性回归分析高血压4个构型亚组(以对照组为参考)与核心指标Peak VO₂的相关性,结果显示:在调整临床基本

资料等混杂因素(年龄、性别、血压、心率、空腹血糖、血清尿酸、总胆固醇、甘油三酯、吸烟史、饮酒史)后,高血压4个构型组(NL、CR、EH、CH)的Peak VO₂平均比对照组低1.08、1.14、1.78、1.73 mL/(kg·min)($P<0.05$),见表6。

表 6 高血压患者左心室构型(以对照组为参照)与 Peak VO₂ 关系的多元线性回归分析

Table 6 Multiple linear regression analysis of the relationship between Peak VO₂ and left ventriculus in hypertensive patients configuration (with normal group as reference)

自变量 Independent variable	B值	SE	β值	t值	P值
常数 Constant	33.168	2.342		14.162	<0.001
NL	-1.082	0.428	-0.102	-2.531	0.012
CR	-1.135	0.432	-0.106	-2.626	0.009
EH	-1.777	0.476	-0.142	-3.736	<0.001
CH	-1.725	0.468	-0.137	-3.640	<0.001
年龄(岁) Age(years)	-0.270	0.020	-0.398	-13.369	<0.001
男性 Male	2.910	0.313	0.311	9.284	<0.001
收缩压(mmHg) SBP	-0.027	0.008	0.103	3.294	0.001
舒张压(mmHg) DBP	0.008	0.014	0.018	0.584	0.559
心率(次/分) HR(beats/min)	-0.009	0.011	-0.023	-0.839	0.401
空腹血糖(mmol/L) FBG	-0.099	0.047	-0.059	-2.123	0.034
BMI (kg/m ²)	-0.150	0.042	-0.100	-3.568	<0.001
血清尿酸 (μmol/L) SUA	0.001	0.001	0.022	0.752	0.452
总胆固醇(mmol/L) TC	0.105	0.113	0.028	0.928	0.354
甘油三酯(mmol/L) TG	-0.155	0.131	-0.035	-1.182	0.238
吸烟 Smoking	-0.976	0.490	-0.065	-1.991	0.047
饮酒 Drinking	0.785	0.707	0.035	1.111	0.267

注: Peak VO₂为峰值摄氧量; NL为正常构型; CR为向心性重构; EH为离心性肥厚; CH为向心性肥厚; BMI为体重指数。调整后R² = 0.284。
Abbreviations: Peak VO₂, Peak oxygen uptake; NL, normal configuration; CR, centripetal remodeling; EH, eccentric hypertrophy; CH, centripetal hypertrophy; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; HR, heart rate; FBG, fasting blood glucose; BMI, body mass index; SUA, serum uric acid; TC, total cholesterol; TG, triglyceride. After adjustment, R² = 0.284.

为进一步明确高血压患者中左心室构型参数与运动耐量的独立相关性,以 Peak VO₂ 为因变量,以左心室构型各参数和临床基本资料为自变量,对高血压病例组患者进行多元逐步线性回归分析,在调整了混杂因素后,结果显示男性是 Peak VO₂ 的独立正相关因素,而年龄、收缩压、BMI、空腹血糖、βB 和 IVST($B = -0.264, P = 0.028$)各因素与 Peak VO₂ 独立负相关,见表 7。进一步男女分层分析,男性患者的年龄、收缩压、空腹血糖、βB 和 IVST($B = -0.551, P < 0.001$)与 Peak VO₂ 独立负相关;女性患者的年龄、BMI 和 βB 各因素与 Peak VO₂ 负相关,舒张压是 Peak VO₂ 独立正相关因素,但 IVST 与女性患者 Peak VO₂ 相关性无统计学意义($B = -0.033, P = 0.323$)。

3 讨 论

随着老龄化进程的加速,老年高血压人群的比例逐渐增高^[5]。高血压相关心脏重构是多种因素共同作用的结果,包括压力负荷、容量超载、神经内分泌激活、炎症反应及代谢紊乱等^[11]。在高血压早期,压力负荷通过机械应力刺激诱发心肌细胞代偿性肥大及间质胶原沉积,表现为向心性重构;而长期压力超负荷状态下,肾素-血管紧张素-醛固酮系统持续激活可促进心肌细胞病理性肥大、排列紊乱及间质纤维化,进展

为左心室向心性肥厚,出现舒张功能障碍。另一部分患者受到容量超负荷影响,通过室壁应力增加诱导心肌细胞长度依赖性生长,导致离心性肥厚,常与射血分数降低相关。两种肥厚均存在线粒体氧化磷酸化功能障碍及脂肪酸 β 氧化受损,导致三磷酸腺苷生成减少,限制骨骼肌氧利用效率,是高血压运动耐量下降的核心机制。本研究也证实了年龄和血压水平是老年高血压患者影响运动耐量重要的相关因素。左心室重构不仅直接导致运动能力的下降,还进一步增加心血管事件风险^[12]。

男女患者心脏的衰老,主要因性激素的变化而存在差异^[13],传统上认为,由于男性冠状动脉疾病的患病率较高^[14],容易导致离心性肥厚,而女性与左心室向心性重构有关,本研究人群排除了合并冠心病的患者,消除这种潜在影响因素。本研究中,老年女性高血压患者的 EH、CH 比例高于男性,特别是女性比例最高的 CH 组患者年龄大、病程长,这和近期一项关于高血压患者左心室几何模式性别差异的流行病学调查结果相一致^[6]。女性患者往往比男性更关注家庭成员健康而忽视自身早期症状,导致高血压未干预的时间延长,另外一方面,女性的血压进行性升高比男性进展快,尤其是在绝经期的女性中,她们的血压会急剧增加^[15],从而导致女性患者进展更差的左心室构型。

表7 高血压患者左心室构型参数与Peak VO₂关系的多元逐步线性回归分析Table 7 Multiple stepwise linear regression analysis of the relationship between left ventricular configuration parameters and Peak VO₂ in hypertensive patients

患者Patients	例数 <i>n</i>	自变量 Independent variable	<i>B</i> 值	<i>SE</i>	β 值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
全体Total	835	常数 Constant	26.409	1.989		13.276	<0.001
		年龄 (10岁) Age (10 years)	-2.409	0.200	-0.365	-12.047	<0.001
		男性 Male	2.870	0.292	0.314	9.817	<0.001
		收缩压(mmHg) SBP	-0.028	0.008	-0.106	-3.464	<0.001
		IVST (mm)	-0.264	0.120	-0.072	-2.195	0.028
		β B	-0.785	0.282	-0.084	-2.784	0.005
		空腹血糖 (mmol/L) FBG	-0.115	0.047	-0.073	-2.439	0.015
		BMI (kg/m ²)	-0.099	0.046	-0.067	-2.146	0.032
男性Male	432	常数 Constant	28.867	2.647		10.907	<0.001
		年龄 (10岁) Age(10 years)	-2.422	0.291	-0.363	-8.332	<0.001
		IVST (mm)	-0.551	0.155	-0.155	-3.565	<0.001
		收缩压(mmHg) SBP	-0.040	0.012	-0.153	-3.496	<0.001
		β B	-1.048	0.406	-0.113	-2.580	0.010
		空腹血糖 (mmol/L) FBG	-0.140	0.059	-0.103	-2.359	0.019
女性Female	403	常数 Constant	19.252	2.093		9.196	<0.001
		年龄 (10岁) Age(10 years)	-1.846	0.138	-0.433	-13.379	<0.001
		BMI (kg/m ²)	-0.227	0.044	-0.169	-5.170	<0.001
		收缩压(mmHg) SBP	0.043	0.014	0.099	3.138	0.002
		β B	-0.744	0.342	-0.070	-2.175	0.030

注: Peak VO₂为峰值摄氧量; BMI为体重指数; β B为 β 受体阻滞剂; IVST为室间隔厚度; LVEDD为左心室舒张末期内径; LVESD为左心室收缩末期内径; PWT为左心室后壁厚度; LVMI为左室质量指数; RWT为相对室壁厚度; RASi为肾素-血管紧张素系统抑制剂; CCB为钙通道阻滞药。多元回归方程中, 定量变量包括年龄(每10岁)、体重指数、收缩压、舒张压、高血压病程、心率、左心室构型参数(LVEDD、LVESD、IVST、PWT、LVMI、RWT)及空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯、血清尿酸; 定性变量包括性别、吸烟史、饮酒史、降压药(RASi、 β B、CCB、利尿剂)。全体患者, 调整后 $R^2=0.306$; 男性患者, 调整后 $R^2=0.243$; 女性患者, 调整后 $R^2=0.251$ 。

Abbreviations: Peak VO₂, Peak oxygen uptake; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; β B, beta blocker receptor; FBG, fasting blood glucose; BMI, body mass index; IVST, interventricular septal thickness; LVEDD, left ventricular end-diastolic diameter; LVESD, left ventricular end-systolic diameter; PWT, left ventricular posterior wall thickness; LVMI, left ventricular mass index; RWT, relative ventricular wall thickness; RASi, renin-angiotensin system inhibitor; CCB, calcium channel blocker. In multiple regression equations, quantitative variables included age (every 10 years), BMI, SBP, DBP, duration of hypertension, heart rate, parameters of left ventricular geometry (LVEDD, LVESD, IVST, PWT, LVMI, RWT) and FBG, total cholesterol, triglyceride, serum uric acid; qualitative variables included sex, smoking history, drinking history, antihypertensive drugs (RASi, β B, CCB, diuretics). All patients, adjusted $R^2=0.306$; males, adjusted $R^2=0.243$; females, adjusted $R^2=0.251$.

高血压左心室构型与运动耐量之间的关系已被多项研究证实。一项关于高血压患者运动耐量与左心室几何形状的相关性研究显示, 向心性肥厚患者的峰值耗氧量低于向心性重构组和正常构型组^[16]。本研究针对老年高血压人群, 发现高血压NL组 and 对照组相比, 虽然左心室构型处在正常范围, 射血分数也无明显变化, 但Peak VO₂ 也已经开始下降, 提示高血压患者运动耐量在心脏结构出现异常前就开始出现下降, 随着心脏重构的进展, 异常构型组的射血分数和运动耐量进一步下降, 发现三组异常构型的Peak VO₂ 均比正常构型组有不同程度的下降, EH、CH组的Peak VO₂ 也低于CR组, 而且心率储备及血压运动反应弱于非肥厚组, 提示心肌质量增加比构型特异性改变起到更关键的作用, 这和既往的研究相一致^[17]。由于本研究对象排除了心功能不全患者, 异常构型组患者射血分数虽在正常范围, 仍低于正常构型组, 反映了心脏从代偿性重构向失代偿过渡的早期阶段。

Framingham 心脏磁共振研究证实, 左心室构型参

数LVMI与不良心血管事件的增加相关^[18]。本研究针对无明显心血管事件的老年高血压患者, 发现虽然EH组的LVMI大于CH组, 但EH组的Peak VO₂ 和CH组无明显差异, 提示LVMI的增高并没有伴随运动耐量的同步下降。单因素相关分析发现, 全体高血压患者和女性患者的LVMI和Peak VO₂ 相关性没有统计学意义。只有男性患者LVMI与Peak VO₂ 的负相关有统计学意义。在线性回归分析中, 调整混杂因素后, 不管是全体高血压患者还是男女分层分析, LVMI和Peak VO₂ 的负相关均没有统计学意义。LVMI作为一个综合指标, 本身受IVST、PWT和LVEDD等参数的影响, 既往研究发现其与运动耐量的相关性结论不一。国内一项高血压患者左心室结构与运动耐量相关性的横断面研究发现, LVMI是运动耐量的独立负相关因素^[4], 而一项探讨年轻高血压患者的研究证实, 尽管高血压患者的舒张功能有所改变, 但运动能力的降低与LVMI无关^[19]。另外一项针对老年患者的研究也发现, 调整性别和年龄后的LVMI不再和运动耐量存

在负相关^[16]。考虑部分患者长期耐力运动可适应性地引起心脏“生理性”重构,可表现为离心性左心室肥厚^[20]。还有研究发现, LVMI 和体力活动量增加呈“U型”曲线,过低或过高的运动量都会导致 LVIM 的增高^[21]。本研究针对老年高血压群体,受到文化水平、活动多样性和回忆偏差的影响,无法区分所有患者日常长期有氧运动和缺乏运动的差异,考虑部分患者不同程度的“生理 EH”可部分抵消“病理 EH”的影响,影响其和运动耐量的相关性。

IVST 受有氧运动的影响和 LVMI 并不同步^[22]。本研究发现,高血压 EH、CH 两肥厚组的 IVST、Peak VO₂ 均比两非肥厚组增加, CR 组的 IVST、Peak VO₂ 又大于 NL 组, IVST 和 Peak VO₂ 在四组构型中的差异趋势相同,多元线性回归分析发现左心室构型参数只有 IVST 与 Peak VO₂ 存在负相关($B = -0.264, P = 0.028$),在男性患者中尤为明显($B = -0.551, P < 0.001$),室间隔的增厚,主要由高血压直接引起的心肌细胞肥大和纤维化驱动,受运动适应性影响较少,可限制心脏舒张期容量储备、降低心室顺应性,减少运动时每搏输出量,较 LVMI 更能直接反映运动耐量受损的病理生理过程。本研究中女性的 IVST 和运动耐量的相关性弱于男性,主要受到体重指数的影响,绝经后女性由于雌激素的缺乏,脂肪重新分布,储存的内脏脂肪组织的数量可以达到绝经前女性的两倍^[23],过多的脂肪会导致其前负荷和后负荷增加,以及炎症刺激进一步影响左心室构型重塑^[24],进而引起左心室舒张功能和运动耐量的下降。

综上所述,本研究发现,相对于非高血压且心脏构型正常的老年人,老年高血压患者运动耐量在心脏结构异常前就开始出现下降,随着心脏重塑的进展,异常构型组的运动耐量进一步下降;其中老年女性患者比男性患者存在更多差的左心室构型,左心室构型参数的 IVST 与老年男性高血压患者的运动耐量存在独立负相关。当然本研究也存在着局限性:首先,本研究是一个横断面研究,左心室构型及参数与运动耐量的关系仅反映其关联性,无法推断因果关系;其次,由于本研究对象均为老年群体,受到文化层次及回忆偏差的影响,无法区分长期有氧运动和缺乏运动的患者,以及运动习惯和当前健康状态的先后关系,影响运动生理性和病理性心室肥厚的分析,需通过纵向研究一步验证;最后,由于条件的限制,本研究中缺少心脏超声参数二尖瓣口舒张早期血流速度与二尖瓣环舒张早期运动速度的比值和氨基末端脑钠肽前体等心功能指标,研究群体没有覆盖到心功能不全的高血压患者,探讨的深度不足,今后将继续完善该方向的研究。

利益冲突声明 本研究获得了[福建省卫健委科技计划项目(2022CXBO14)]的资助,资助方未参与研究设计、数据收集与分析、论文撰写及发表决策。不存在与本文内容相关的任何商业或财务利益冲突。所有作者均能完全访问本研究中的数据,并对数据的完整性和分析的准确性负责。所有作者均已阅读并同意本声明内容。

作者贡献声明 林建珍(通信作者):负责提出研究设想、设计研究方案、数据统计分析、撰写论文、统筹修改与投稿全过程,对研究承担最终责任;章文杰:负责研究的学术监督与伦理审核,确保设计科学性,并协调研究所需场地资源;张志民:对临床研究方法提供指导,协助解决研究对象收集问题;陈锦秋:负责心肺运动试验数据采集及临床资料的收集、整理;戴莉莉:负责研究对象生化标本实验室检测,确保数据的准确性与可靠性;所有作者均已审阅并同意论文的最终版本

本主题国内外已有的结论

已有研究证实高血压左心室构型影响运动耐量,较少有研究探讨老年高血压群体中左心室构型和运动耐量的相关性和性别差异。

本文特色与见解

老年高血压患者的运动耐量在心脏结构正常时就下降了,女性较男性存在更多差的左心室构型,男性左心室构型参数中只有 IVST 和运动耐量下降存在独立负相关。

参考文献

- [1] Han M, Qie R, Shi X, et al. Cardiorespiratory fitness and mortality from all causes, cardiovascular disease and cancer: dose-response meta-analysis of cohort studies[J]. Br J Sports Med, 2022, 56(13): 733-739.
- [2] 叶福银. 老年高血压患者运动血压反应及心肺耐量评估[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.
- [3] 李莉, 严静, 龚仕金, 等. 高血压患者左心室结构与运动耐量的相关性研究[J]. 解放军医学杂志, 2011, 36(1): 64-67.
- [4] Movahed MR, Ramaraj R, Manrique C, et al. Left ventricular hypertrophy is independently associated with all-cause mortality[J]. Am J Cardiovasc Dis, 2022, 12(1): 38-41.
- [5] 沈逸华, 林沁, 谢良地. 心肺运动试验的指标及结果解读[J]. 中华高血压杂志, 2019, 27(1): 84-88.
- [6] Canciello G, Piccolo R, Izzo R, et al. Sex-related differences in left ventricular geometry patterns in patients with arterial hypertension[J]. JACC Adv, 2024, 3(10): 101256.
- [7] 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病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2024年修订版)[J]. 中华高血压杂志(中英文), 2024, 32(7): 603-700.
- [8] Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences[M]. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [9] Dores H, Mendes M, Abreu A, et al. Cardiopulmonary exercise testing

- in clinical practice: principles, applications, and basic interpretation[J]. Rev Port Cardiol, 2024, 43(9): 525-536.
- [10] Sheng Y, Li M, Xu M, et al. Left ventricular and atrial remodelling in hypertensive patients using thresholds from international guidelines and EMINCA data[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022, 23(2): 166-174.
- [11] Niu J, Zeng M, Wang Y, et al. Sensitive marker for evaluation of hypertensive heart disease: extracellular volume and myocardial strain[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2020, 20(1): 292.
- [12] Tadic M, Ivanovic B. Why is functional capacity decreased in hypertensive patients? From mechanisms to clinical studies[J]. J Cardiovasc Med (Hagerstown), 2014, 15(6): 447-455.
- [13] Ferreira C, Trindade F, Ferreira R, et al. Sexual dimorphism in cardiac remodeling: the molecular mechanisms ruled by sex hormones in the heart[J]. J Mol Med (Berl), 2022, 100(2): 245-267.
- [14] Yusifov A, Woulfe KC, Bruns DR. Mechanisms and implications of sex differences in cardiac aging[J]. J Cardiovasc Aging, 2022, 2: 20.
- [15] Ji H, Kim A, Ebinger JE, et al. Sex differences in blood pressure trajectories over the life course[J]. JAMA Cardiol, 2020, 5(3): 19-26.
- [16] Pierson LM, Bacon SL, Sherwood A, et al. Association between exercise capacity and left ventricular geometry in overweight patients with mild systemic hypertension[J]. Am J Cardiol, 2004, 94(10): 1322-1325.
- [17] Lam CSP, Grewal J, Borlaug BA, et al. Size, shape, and stamina: the impact of left ventricular geometry on exercise capacity[J]. Hypertension, 2010, 55(5): 1143-1149.
- [18] Tsao CW, Gona PN, Salton CJ, et al. Left ventricular structure and risk of cardiovascular events: a Framingham heart study cardiac magnetic resonance study[J]. J Am Heart Assoc, 2015, 4(9): e002188.
- [19] Hasan Noaman A, Al-Salihi O. Low exercise capacity is independent of LVMI despite significant change in diastolic function in young non complicated hypertensive patients[J]. Al-Kufa Univ J Biol, 2019, 11(1): 24-29.
- [20] Iso Y, Kitai H, Kubota M, et al. Is systolic blood pressure an early marker of concentric left ventricular geometry in young rugby athletes as a potential cardiac maladaptation?[J]. Int J Cardiol Cardiovasc Risk Prev, 2025, 24: 200362.
- [21] Jin H, Wang X, Dai H, et al. Association of leisure-time physical activity and mortality risk in high cardiovascular risk population with and without left ventricular hypertrophy[J]. Rev Cardiovasc Med, 2023, 24(10): 285.
- [22] Palatini P, Visentin P, Dorigatti F, et al. Regular physical activity prevents development of left ventricular hypertrophy in hypertension[J]. Eur Heart J, 2009, 30(2): 225-232.
- [23] Marsh ML, Oliveira MN, Vieira-Potter VJ. Adipocyte metabolism and health after the menopause: the role of exercise[J]. Nutrients, 2023, 15(2): 444.
- [24] Bielecka-Dabrowa A, Gryglewska K, Sakowicz A, et al. Obesity and body mass components influence exercise tolerance and the course of hypertension in perimenopausal women[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2022, 9(8): 238.
- 收稿日期: 2025-06-03 修回日期: 2025-11-20
录用日期: 2025-12-23 责任编辑: 刘莉

• 简 讯 •

甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值对血压因果关系的新见解

Wan A, Han Y, Wu L, Wei Y, Xiang X, Chen Y, Chen J, Song A, Zhao K. Novel insights into the causal effects of triglycerides to high density lipoprotein cholesterol ratio on blood pressure. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2026, 36(4): 104474.

既往研究表明, 甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值(the triglycerides to high-density lipoprotein cholesterol, TG/HDL-C)与血压特征和高血压风险之间存在联系。然而, 其因果关系尚不清楚。方法与结果: 本研究进行了全基因组连锁不平衡评分回归(genome-wide linkage disequilibrium score regression, LDSC)、两样本孟德尔随机化(Mendelian randomization, MR)、共定位分析、反向MR和多变量MR(multivariable MR, MVMR)分析, 以评估TG/HDL-C比值与各项血压指标之间的因果关系。血压特征(收缩压, 舒张压和脉压)数据取自国际血压联盟和英国生物样本库。高血压数据来自全基因组关联研究荟萃分析。主要分析采用逆方差加权法(inverse variance method, IVW), 并对MR进行敏感性分析。TG/HDL-C与各类血压指标均存在显著遗传相关性(均 $P < 0.05$)。遗传预测的TG/HDL-C与收缩压($\beta = 1.194$, 95%CI: 1.007~1.382)、舒张压($\beta =$

0.680, 95%CI: 0.553~0.807)和脉压($\beta = 0.469$, 95%CI: 0.359~0.579)升高相关; 同时它也增加了高血压的风险(初筛队列 $OR = 1.030$, 95%CI: 1.025~1.036, 验证队列 $OR = 1.169$, 95%CI: 1.138~1.200, 荟萃分析 $OR = 1.089$, 95%CI: 1.049~1.131)。MVMR分析证实, 该指标与舒张压($\beta = 0.219$, 95%CI: 0.072~0.366)和高血压(初筛队列 $OR = 1.010$, 95%CI: 1.005~1.015, 验证队列 $OR = 1.055$, 95%CI: 1.024~1.086)仍存在稳定因果关联。共定位分析证实二者存在共同遗传调控机制, 敏感性分析进一步验证了研究结论的可靠性。结论: 本研究提供了遗传学证据, 表明TG/HDL-C与舒张压和高血压存在因果关系。这些发现通过多种稳健的MR方法得到了一致验证。然而, 在MVMR中, 经过血脂校正后, 未观察到TG/HDL-C与收缩压或脉压之间存在独立的因果关系。还需要进一步的干预研究佐证该结论。

袁源(译), 郑武洪(审校)