

CMR-FT量化的左心房应变对高血压合并缺血性卒中的诊断价值

宁 婷, 赵新湘*

昆明医科大学第二附属医院放射科, 云南 昆明

收稿日期: 2025年3月14日; 录用日期: 2025年4月7日; 发布日期: 2025年4月14日

摘 要

目的: 探讨在高血压患者中心脏磁共振特征跟踪技术(CMR-FT)量化的左心房(LA)应变与缺血性脑卒中(IS)的关系。方法: 100例高血压患者据颅脑磁共振检查结果分为无-IS组62例和IS组38例, 比较两组患者年龄、性别、身体质量指数(BMI)等一般资料和左心室、左心房心脏磁共振(CMR)功能参数。Logistic回归分析高血压合并IS的影响因素, 受试者工作特征(ROC)曲线分析各指标的预测效能。结果: IS组年龄、同型半胱氨酸(Hcy)、LA最小容积(LA Vmin)高于无-IS组($P < 0.05$), 存储期、泵血期及导管期的应变、应变率、射血分数低于无-IS组($P < 0.05$)。年龄及Hcy、存储期应变是高血压合并IS的独立危险因素, 单指标分析时, 存储期应变敏感度较高, Hcy诊断特异度最高; 联合检测时综合效能较高。结论: 年龄、Hcy和存储期应变及其联合指标对高血压伴IS患者具有一定的诊断价值, 可优化高血压患者的治疗和管理。

关键词

高血压, 缺血性卒中, 心肌应变, 心脏磁共振特征跟踪技术

Diagnostic Value of Left Atrial Strain Quantified by CMR-FT in Hypertensive Patients with Ischemic Stroke

Ting Ning, Xinxiang Zhao*

Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming Yunnan

Received: Mar. 14th, 2025; accepted: Apr. 7th, 2025; published: Apr. 14th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 宁婷, 赵新湘. CMR-FT 量化的左心房应变对高血压合并缺血性卒中的诊断价值[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(2): 1093-1102. DOI: 10.12677/jcpm.2025.42281

Abstract

Objective: To investigate the relationship between left atrial (LA) strain quantified by cardiac magnetic resonance feature tracking (CMR-FT) and ischemic stroke (IS) in hypertensive patients. **Methods:** 100 hypertensive patients were divided into a non-IS group of 62 cases and an IS group of 38 cases based on the results of cranial magnetic resonance imaging. General data such as age, gender, and body mass index (BMI), as well as cardiac magnetic resonance (CMR) functional parameters of the left ventricle and left atrium, were compared between the two groups. Logistic regression analysis was used to identify factors influencing IS in hypertensive patients, and receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to evaluate the predictive efficacy of each index. **Results:** The IS group had higher age, homocysteine (Hcy), and minimum left atrial volume (LA Vmin) compared to the non-IS group ($P < 0.05$), while strain, strain rate, and ejection fraction during the reservoir, pump, and conduit phases were lower than in the non-IS group ($P < 0.05$). Age, Hcy, and reservoir phase strain were independent risk factors for IS in hypertensive patients. In single-index analysis, reservoir phase strain had higher sensitivity, while Hcy had the highest diagnostic specificity; in combined detection, the comprehensive efficacy was higher. **Conclusion:** Age, Hcy, reservoir phase strain, and their combined indicators have certain diagnostic value for hypertensive patients with IS and can optimize treatment and management for these patients.

Keywords

Hypertension, Ischemic Stroke, Myocardial Strain, Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking Technology

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前,心脑血管疾病是发病率和病死率最高的疾病,截至 2020 年我国约有 3.3 亿人患有心脑血管病,每年 300 万人死于该病,其中至少一半的患者有高血压病史[1]。脑卒中包括缺血性脑卒中(ischemic stroke, IS)和出血性脑卒中,其中 IS 占全球所有脑卒中的 71%,1 年后致死/致残率高达 33.4%~33.8% [2]。高血压可造成心脑血管不同程度的损伤,进而引起心脏和大脑功能障碍。IS 已被证实与心脏疾病密切相关,其中心房颤动和心力衰竭是 IS 的危险因素,且由于心-脑轴的双向作用,心脏疾病会持续增加 IS 的发生风险[3]。研究显示,我国患者对高血压的知晓率、治疗率和控制率分别为 41.0%、34.9%和 11.0%,总体还处于较低的水平,患者就医时往往已经出现了心脑血管损伤的症状[1]。目前,能反映心脏结构和功能的影像学标志物越来越重要,但既往影像研究通常聚焦于左心室重构[4]和收缩功能障碍[5]方面。有研究显示,高血压累及心脏时,左心房(left atrium, LA)出现功能障碍比左心室早[6],早期发现心脏出现的病理性变化并进行干预性治疗有助于减少脑卒中的发生。本研究基于心脏磁共振特征追踪技术(cardiac magnetic resonance feature tracking, CMR-FT),探讨高血压患者 LA 功能障碍与 IS 的关系。

2. 材料与方法

2.1. 研究人群

收集 2021 年 1 月~2023 年 12 月间在本院就诊的高血压患者,所有患者行头颅磁共振和心脏磁共振

(Cardiac Magnetic Resonance, CMR)检查。本研究方案经本院伦理委员会批准同意(批准号: 审-PJ-科-2023-30)。

2.2. 纳入与排除标准

纳入标准: 符合《中国高血压防治指南(2018年修订版)》的诊断标准: 在未使用降压药物的情况下, 非同日3次测量诊室血压, 收缩压 ≥ 140 mmHg 和(或)舒张压 ≥ 90 mmHg; 收缩压 ≥ 140 mmHg 和舒张压 < 90 mmHg; 或既往高血压史, 目前服用降压药物。

排除标准: (1) 合并扩张型心肌病、肥厚型心肌病等其他心血管疾病; (2) 影响心脏功能代谢性的疾病(肝肾功能异常、甲状腺功能亢进等、内分泌系统疾病及恶性肿瘤); (3) 既往存在卒中病史。

2.3. 临床资料收集

收集患者的临床资料: 性别、年龄、身体质量指数(Body Mass Index, BMI)、总胆固醇(Total Cholesterol, TC)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(High Density Lipoprotein cholesterol, HDL-c)、低密度脂蛋白胆固醇(Low Density Lipoprotein cholesterol, LDL-c)、血清同型半胱氨酸(Homocysteine, Hcy)、收缩压、舒张压。

2.4. 分组

根据头颅磁共振影像, 将患者分为无-IS 组和 IS 组。

注: IS 诊断符合中华医学会发布的《缺血性卒中基层诊疗指南(2021年)》四定义: 脑血液循环障碍病因导致脑血管堵塞或严重狭窄, 使脑血流灌注下降, 进而缺血、缺氧导致脑血管供血区脑组织死亡。①临床上表现为突发局灶性或弥散性的神经功能缺损; ② 头部电子计算机断层扫描或 MRI 上形成新的局灶性脑梗死病灶。

2.5. CMR 检查与图像分析

磁共振检查: 使用 3.0T 磁共振扫描仪。(1) 心脏。对患者进行头卧位扫描获取 CMR 图像, 用快速稳态自由进动序列获得短轴和 2 个长轴心脏电影图像(四腔心长轴位、左心室二腔心长轴位、以及左心室短轴位)。采集参数: 回波时间(TE) 1.52 ms, 重复时间(TR) 3.0 ms; 翻转角 45° , 视野(FOV) $350\text{ mm} \times 350\text{ mm}$, 1 次采集, 每层采集 25 个心动周期, 层厚 8 mm。(2) 颅脑。扫描序列包括 T1 加权自旋回波序列(TR 2000 ms, TE 20 ms, 体素大小 $0.65 \times 1.37 \times 5.0\text{ mm}^3$)、横轴位 T2 加权自旋回波序列(TR 3000 ms, TE 80 ms, 体素大小 $0.5 \times 0.91 \times 5.0\text{ mm}^3$)、液体衰减反转恢复序列(TR 7000 ms, TE 120 ms, 体素大小 $0.65 \times 0.90 \times 5.0\text{ mm}^3$)、弥散加权成像序列(TR 2766 ms, TE 86 ms, 体素大小 $1.51 \times 1.89 \times 5.0\text{ mm}^3$), 以上序列层厚均为 5 mm、层间距均为 1.5 mm。

CMR 图像分析: 将 CMR 图像导入心脏后处理软件 CVI42 (Circle Cardiovascular Imaging, Canada)进行分析。心脏功能参数测量: 在短轴功能模块, 导入电影短轴图像自动分析获得左心室射血分数(LVEF)、左心室舒张末期容积(Left Ventricular End Diastolic Volume, LVEDV)、左心室收缩末期容积(Left Ventricular End Systolic Volume, LVESV)及左心室质量指数(Left Ventricular Mass Index, LVMI)。心脏应变参数测量: 使用应变模块在二腔心、四腔心图像上确定左心室舒张末期、收缩末期, 勾画 LA 心内膜和心外膜并避开肺静脉及左心耳(图 1), 自动生成 LA 纵向应变的时间-应变曲线以及时间-应变率曲线, 得到 LA 三期应变(Left Atrial Strain, LAS)及应变率(Left Atrial Strain Rate, LASR)。其中 LA 导管期应变 = LA 存储期应变 - LA 泵血期应变。采用长轴功能模块, 在二腔心、四腔心上再次勾画 LA 心外膜并避开肺静脉及左心耳, 得到各期容积: LA 最大容积(LA Maximal Volume, LAVmax)、LA 最小容积(LA Minimal Volume,

LAVmin)和 LA 收缩前容积(LA Pre-Atrial Contractil Evolume, LAVpac)。由 LA 容积计算 LA 射血分数: LA 储存期射血分数 = $[(V_{\max} - V_{\min})/V_{\max}] \times 100\%$, LA 导管期射血分数 = $[(V_{\max} - V_{\text{pac}})/V_{\max}] \times 100\%$, LA 泵血期射血分数 = $[(V_{\text{pac}} - V_{\min})/V_{\text{pac}}] \times 100\%$ 。

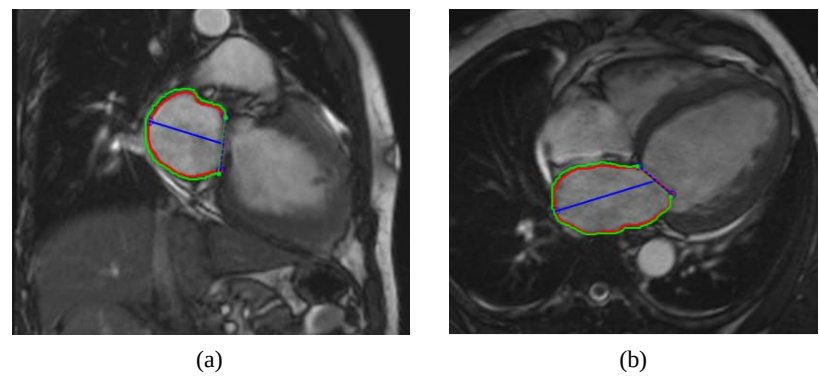


Figure 1. CVI42 semi-automatically identifies the end-systolic two-chamber (a) and four-chamber (b) cine sequences of hypertensive patients, outlining the endocardial (red) and epicardial (green) contours
图 1. CVI42 半自动识别高血压患者收缩末期二腔心(a)、四腔心(b)电影序列的心内膜(红色)轮廓和心外膜(绿色)轮廓

2.6. 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件及 MedCalc 软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组间比较采用独立样本 t 检验; 非正态分布的计量资料用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示, 组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。计数资料用例(%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验。Logistic 回归分析高血压患者合并 IS 的危险因素。受试者工作特征(ROC)曲线分析各指标对高血压伴 IS 患者的风险预测效能。P < 0.05 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两组患者临床基线资料及 CMR 参数的组间比较

3.1.1. 两组患者临床基线资料比较

共收集 100 例高血压患者, 62 例无-IS 组, 38 例 IS 组。两组间比较, 两组性别、BMI、TG、TC、HDL-C、LDL-C、心率、收缩压和舒张压差异均无统计学意义(P > 0.05), IS 组年龄和 Hcy 水平较无-IS 组增加(P < 0.05), 见表 1。

Table 1. Comparison of baseline data between two groups of patients
表 1. 两组患者基线资料比较

指标	无-IS 组(n = 62)	IS 组(n = 38)	$\chi^2/F/Z$ 值	P 值
女性/例(%)	23 (37.11)	16 (42.11)	0.248	0.618
年龄/岁	61.19 $\pm$ 7.82	66.71 $\pm$ 9.11	3.216	0.002
BMI/(kg/m ²)	26.00 (23.00, 28.00)	25.00 (23.00, 27.00)	-1.083	0.281
TC/(mmol·L ⁻¹)	4.33 $\pm$ 1.20	4.15 $\pm$ 1.16	-0.764	0.457
TG/(mmol·L ⁻¹)	1.52 (1.15, 2.17)	1.56 (1.12, 2.25)	-0.266	0.790

续表

LDL-c/(mmol·L ⁻¹)	2.62 ± 0.90	2.39 ± 0.83	-1.279	0.204
HDL-c/(mmol·L ⁻¹)	1.09 (0.92, 1.21)	1.00 (0.87, 1.23)	-1.282	0.200
Hcy/(μmol/L)	14.44 (12.05, 16.37)	16.90 (13.67, 19.60)	-2.915	0.004
心率/(次/min)	79.00 (71.00, 87.00)	75.00 (65.00, 80.00)	-1.760	0.078
收缩压/mmHg	137.18 ± 20.01	144.42 ± 17.83	1.830	0.070
舒张压/mmHg	87.56 ± 13.51	83.53 ± 15.60	-1.367	0.175

注: BMI: 身体质量指数; TC: 总胆固醇; TG 甘油三脂; HDL-c: 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-c: 低密度脂蛋白胆固醇; Hcy: 血清同型半胱氨酸; P < 0.05 差异具有统计学意义。

3.1.2. 两组患者左心 CMR 参数比较

两组间比较, 两组 LVEF、LVEDV/BSA、LVESV/BSA、LVMI、LAVmax 和 LAVpre 差异无统计学意义(P > 0.05); 与无-IS 组比较, IS 组患者的存储期、泵血期及导管期的应变、应变率、射血分数均减少, LAVmin 增加(P < 0.05), 见表 2。

Table 2. Comparison of left ventricular CMR parameters between two groups of patients
表 2. 两组患者间左心 CMR 参数比较

指标	无-IS 组(n = 62)	IS 组(n = 38)	F/Z 值	P 值
LVEF/%	55.00 (47.00, 64.00)	58.00 (44.00, 65.00)	-0.504	0.614
(LVEDV/BSA)/(mL·m ²)	76.73 (67, 83)	75.50 (66.00, 100.30)	-0.512	0.704
(LVESV/BSA)/(mL·m ²)	31.00 (24.00, 38.50)	31.50 (22.00, 54.25)	-0.380	0.704
存储期应变/%	28.81 ± 8.58	20.49 ± 7.74	-4.878	0.000
导管期应变/%	13.5 (10.78, 18.58)	9.55 (6.45, 15.12)	-3.452	0.000
泵血期应变/%	13.75 ± 6.58	10.18 ± 4.56	-2.938	0.004
存储期应变率/s ⁻¹	1.30 (1.07, 1.54)	0.90 (0.54, 1.20)	-3.918	0.000
导管期应变率/s ⁻¹	-1.20 (-1.80, -0.88)	-0.70 (-1.20, -0.40)	-3.422	0.001
泵血期应变率/s ⁻¹	-1.39 ± 0.0.75	-0.95 ± 0.59	3.046	0.003
存储期射血分数/%	49.37 (40.34, 55.00)	39.69 (34.60, 49.34)	-3.902	0.000
导管期射血分数/%	29.40 (22.48, 39.90)	22.45 (15.31, 28.94)	-3.310	0.001
泵血期射血分数/%	38.64 (30.76, 47.09)	33.67 (24.82, 39.01)	-2.621	0.009
LAVmax/mL	62.35 (48.68, 78.96)	60.98 (48.67, 84.13)	-0.142	0.887
LAVmin/mL	25.79 (18.21, 33.91)	34.09 (18.74, 47.35)	-2.131	0.033
LAVpre/mL	49.81 (38.76, 61.95)	49.56 (35.58, 67.19)	-0.114	0.910

注: LVEF: 左心室射血分数; LVEDV/BSA: 左心室舒张末期容积标准化值; LVESV/BSA: 左心室收缩末期容积标准化值; LVMI: 左心室质量指数; LAVmax: 左心房最大容积; LAVmin: 左心房最小容积; LAVpac: 左心房收缩前容积; P < 0.05 差异具有统计学意义。

3.2. 二分类 Logistic 逐步回归分析高血压伴 IS 的危险因素

将两组间比较 $P < 0.05$ 的变量纳入为自变量, 由于存储期应变率、导管期应变率、泵血期应变率及其射血分数、左房容积指标是存储期应变、导管期应变及泵血期应变计算所得, 存在共线性问题, 排除。最终选择年龄、Hcy、存储期应变、导管期应变及泵血期应变为自变量, 以高血压合并 IS 为因变量(是 = 1, 否 = 0)。Logistic 回归分析年龄(OR = 1.139, 95%CI: 1.051~1.234, $P = 0.002$)、Hcy (OR = 1.182, 95%CI: 1.017~1.373, $P = 0.029$)、存储期应变(OR = 0.838, 95%CI: 0.742~0.946, $P = 0.004$)是高血压合并 IS 的独立危险因素。高血压患者 IS 的发生风险随年龄、Hcy 增加而升高, 随存储期应变降低而升高, 见表 3、表 4。

Table 3. Univariate analysis of hypertension with IS risk factors
表 3. 高血压伴 IS 危险因素的单因素分析

变量	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI
年龄	0.081	0.027	8.650	0.003	1.084	1.027~1.144
Hcy	0.164	0.060	7.462	0.006	1.178	1.047~1.325
存储期应变	-0.131	0.033	15.656	<0.001	0.877	0.822~0.936
导管期应变	-0.145	0.043	11.144	0.001	0.865	0.795~0.942
泵血期应变	-0.111	0.041	7.439	0.006	0.895	0.826~0.969

注: $P < 0.05$ 差异具有统计学意义。

Table 4. Multivariate analysis of hypertension with IS risk factors
表 4. 高血压伴 IS 危险因素的多因素分析

变量	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI
年龄	0.130	0.041	10.059	0.002	1.139	1.051~1.234
Hcy	0.167	0.077	4.768	0.029	1.182	1.017~1.373
存储期应变	-0.177	0.062	8.188	0.004	0.838	0.742~0.946

注: $P < 0.05$ 差异具有统计学意义。

3.3. 绘制年龄、Hcy、存储期应变及多参数联合指标与高血压伴 IS 的受试者工作曲线 (ROC 曲线)

单因素模型对高血压伴 IS 的风险诊断效能的 AUC 从小到大依次为 Hcy (AUC = 0.674, 95%CI: 0.573~0.765, $P = 0.002$)、年龄(AUC = 0.685, 95%CI: 0.585~0.774, $P = 0.001$)、存储期应变(AUC = 0.758, 95%CI: 0.663~0.838, $P < 0.001$); 年龄、Hcy 及存储期应变联合检测高血压伴 IS 的风险预测效能为(AUC = 0.869, 95%CI: 0.787~0.928, $P < 0.001$)。年龄的截断值为 65.50 岁, 敏感度为 65.80%, 特异度为 74.20%; Hcy 的截断值为 16.75 $\mu\text{mol/L}$, 敏感度为 52.60%, 特异度为 79.00%; 存储期应变的截断值为 25.10%, 敏感度为 76.30%, 特异度为 66.10%; 年龄、Hcy 及存储期应变联合检测的敏感度为 78.90%, 特异度为 85.50%, 见表 5、图 2。

Table 5. ROC curve analysis results of age, Hcy, storage period strain, and their multiparameter combined index in evaluating hypertension with IS

表 5. 年龄、Hcy、存储期应变及其多参数联合指标评估高血压伴 IS 的 ROC 曲线分析结果

参数	截断值	灵敏度	特异度	AUC	95%CI	P 值
年龄	65.50 岁	65.80%	74.20%	0.685	0.585~0.774	0.001
Hcy	16.75 $\mu\text{mol/L}$	52.60%	79.00%	0.674	0.573~0.765	0.002
存储期应变	25.10%	76.30%	66.10%	0.758	0.663~0.838	<0.001
年龄 + Hcy + 存储期应变	-	78.90%	85.50%	0.869	0.787~0.928	<0.001

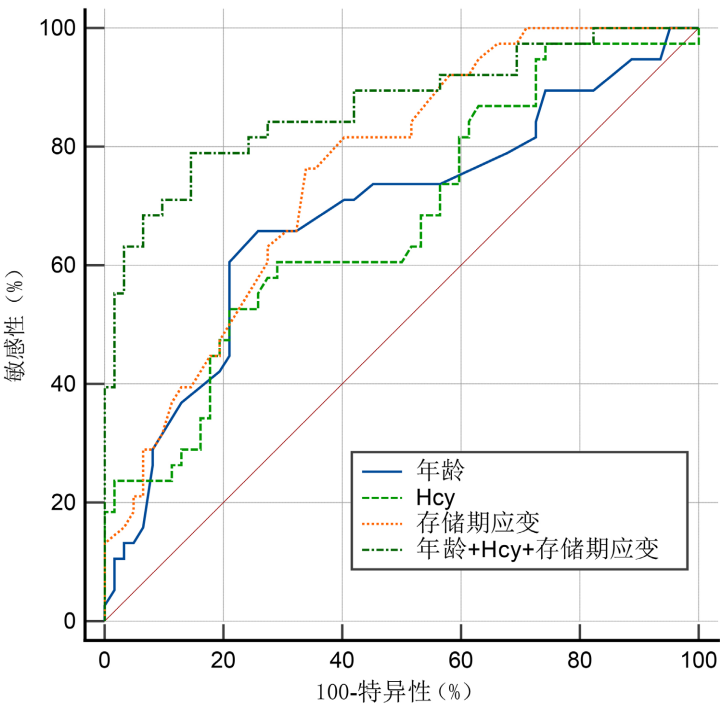


Figure 2. ROC curve analysis of age, homocysteine, storage-induced strain, and multiparameter combined index for detecting hypertension with IS

图 2. 年龄、Hcy、存储期应变及多参数联合指标检测高血压伴 IS 的 ROC 曲线

4. 讨论

慢性高血压会导致心肌肥厚、心肌顺应性减低及心肌纤维化，从而引起心脏肥大甚至心力衰竭。高血压可影响脑血管功能，导致缺血性脑卒中的发生，且其与认知功能障碍和痴呆风险增加相关[7]。《“健康中国 2030”规划纲要》中明确将心脑血管共同防治作为战略要点，因此，心脏结构和功能的影像学标志物对缺血性脑卒中的防治尤为重要。

研究显示，当心肌明显损伤时，LVEF 仍然可能 $\geq 50\%$ ，其对早期心功能损伤不敏感[8]。本研究结果亦显示，2 组患者 LVEF、LVESV/BSA、LVEDV/BSA 差异均无统计学意义，且两组 LVEF 均 $>50\%$ ，证实在高血压患者中，常规左室容积和 LVEF 无法反映心功能的异常。近年研究发现，LA 受高血压的影响最早，高血压可引起 LA 体积增大，从而增加 IS 的发生风险[9]。本研究结果亦显示，IS 组 LAVmin 较无

-IS 组显著增大, 而 LAVmin 增加反映了继发于压力引起的心房重构[10], 表明高血压患者的心房结构重构可能促进了 IS 的发生。有研究显示, 在 LA 重构的过程中, LA 的功能变化早于结构的改变[11]。在心动周期中, LA 应变及其衍生参数应变率反映了心肌形变能力, 包括 LA 的存储、导管及泵功能, 在正常情况下左心房存储、导管和泵功能相互调节。有研究对 408 例中国健康人群进行应变分析, 得出存储期应变、导管期应变、泵血期应变的正常值范围为 $(41 \pm 9)\%$ 、 $(24 \pm 8)\%$ 、 $(17 \pm 4)\%$, 应变率正常值为 $(1.7 \pm 0.5) \text{ s}^{-1}$ 、 $(-2.3 \pm 0.8) \text{ s}^{-1}$ 、 $(-1.9 \pm 0.5) \text{ s}^{-1}$ [12]。本研究显示, 高血压患者三期应变及应变率均低于前述正常值, 表明高血压患者左房心肌形变能力发生了不同程度的损伤, 影响了左房功能。研究认为, 动脉血管压力过高可导致心脏后负荷增加, 左心室充盈压升高传递至 LA, 引起 LA 压力升高、壁张力增加, 从而使 LA 充盈减少, LA 功能降低[13]。本研究结果显示, IS 组较无-IS 组三期应变及应变率、射血分数降低, 单因素 Logistic 回归分析显示三期应变是高血压患者发生缺血性脑卒中的潜在危险因素, 证实了 LA 功能较低的高血压患者可能更容易发生缺血性脑卒中。Maheshwari 等[14]研究亦显示, 左房机械功能障碍与缺血性脑卒中的发生密切相关, 推测其原因因为左房缩短和收缩力下降导致左房形成血栓, 先引起腔隙性脑梗死, 随后导致明显的卒中反应[15]。然而, 多因素 Logistic 回归分析结果显示导管期应变与泵血期应变不是 IS 的独立危险因素, 这可能是因为在心脏运动过程中左房的存储、导管和泵血功能是相互影响的, 左房存储期功能主要受左室纵向收缩和左房心肌顺应性的影响, 而泵血期功能则受左房心肌收缩及左室充盈压的影响[16], 在高血压的作用下存储功能最先受累, 随着左房容积增加, 储存功能、管道功能受损, 左房泵血功能进一步减低[17], 因此, 左房存储功能可更好地反映早期左房顺应性的降低。存储功能越差, 左心房有效的心房收缩越少, 促使血液停滞并进一步在左心房或左心房附件形成血栓, 导致缺血性脑卒中的发生风险增加[18]。另有研究认为, 具有高心脏栓塞风险和中度至重度神经功能障碍的患者左心房存储期应变降低, 无论何种卒中亚型以及是否伴有房颤, 左心房存储期应变 $\leq 15.5\%$ 均提示患者的心血管疾病负担更高、更严重[19], 增加 CHA2DS2-VASc 评分后, 还可改善卒中风险预测[14]。此外, 左房三期射血分数也是评价左心房功能的指标, Lima 等[20]认为, 左房射血分数的降低会增加心源性卒中的发生概率。本研究结果亦显示, IS 组 LA 三期射血分数小于无-IS 组, 证实了上述论断。

高 Hcy 与心脏的收缩和舒张功能降低有关, 可导致心肌纤维化, 增加缺血性脑卒中的发生风险[21]。本研究结果亦显示, IS 组患者 Hcy 较无-IS 组增加, 其机制可能与 Hcy 通过促进动脉氧化损伤、破坏血管基质, 进而导致动脉粥样硬化发生有关[22]。老年人一直是 IS 的高危人群, 本研究中患者发生 IS 的年龄截断值为 65.50 岁, 考虑可能是因为老年异常血管僵硬与心室弹性(舒张功能障碍的底物)降低所致[23]。ROC 曲线显示, 单个指标检测时, 存储期应变敏感度较高, Hcy 诊断特异度最高, 年龄、Hcy、存储期应变的联合检测综合效能较高, 提示高血压叠加衰老以及高 Hcy 时, 会加重左心房结构和功能的改变, 进一步加大脑卒中的发生概率。相关研究认为, LA 功能障碍和缺血性卒中有较大关联, 而高血压可造成动脉粥样硬化, 通过炎症机制引起内皮功能障碍、心房和动脉壁纤维化重塑[24]。因此, 笔者认为左心房功能障碍可能是共存心血管疾病严重程度的标志, 导致过高的卒中风险。

综上所述, 基于 CMR-FT 技术量化评估的左心房应变可有效评价左心房重构以及功能障碍。年龄、Hcy、存储期应变是高血压伴 IS 的有效预测指标, IS 的发生风险随年龄、Hcy 的增加而增加, 随存储期应变的降低而增加。年龄、Hcy 以及存储期应变作为单一参数可以互补各自的局限性。因此, 年龄、Hcy、存储期应变联合构建的 Logistic 回归模型对高血压患者发生 IS 的风险具有一定的预测价值, 对临床高血压患者的治疗和管理有着积极的意义。但本研究还存在局限性: 首先样本量较小, 尚需前瞻性、多中心、大样本的研究进行验证; 其次, 本研究未对 IS 病因进行分型, 未来需要进一步探讨不同卒中亚型与左心房功能之间的关系。

参考文献

- [1] 刘明波, 何新叶, 杨晓红, 等. 《中国心血管健康与疾病报告 2023》概要(心血管疾病流行及介入诊疗状况) [J]. 中国介入心脏病学杂志, 2024, 32(10): 541-550.
- [2] Campbell, B.C.V., De Silva, D.A., Macleod, M.R., Coutts, S.B., Schwamm, L.H., Davis, S.M., *et al.* (2019) Ischaemic Stroke. *Nature Reviews Disease Primers*, 5, Article No. 70. <https://doi.org/10.1038/s41572-019-0118-8>
- [3] Sanders, G.D., Lowenstern, A., Borre, E., *et al.* (2018) Stroke Prevention in Patients with Atrial Fibrillation: A Systematic Review Update. Agency for Healthcare Research and Quality (US).
- [4] Díez, J. and Butler, J. (2023) Growing Heart Failure Burden of Hypertensive Heart Disease: A Call to Action. *Hypertension*, 80, 13-21. <https://doi.org/10.1161/hypertensionaha.122.19373>
- [5] Cuspidi, C., Gherbesi, E., Faggiano, A., Sala, C., Carugo, S. and Tadic, M. (2022) Early Left Ventricular Dysfunction and Non-Dipping: When Ejection Fraction Is Not Enough. A Meta-Analysis of Speckle Tracking Echocardiography Studies. *American Journal of Hypertension*, 36, 109-119. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpac110>
- [6] Song, Y., Li, L., Chen, X., Shao, X., Lu, M., Cheng, J., *et al.* (2020) Early Left Ventricular Diastolic Dysfunction and Abnormal Left Ventricular-Left Atrial Coupling in Asymptomatic Patients with Hypertension: A Cardiovascular Magnetic Resonance Feature Tracking Study. *Journal of Thoracic Imaging*, 37, 26-33. <https://doi.org/10.1097/rti.0000000000000573>
- [7] Vermeer, S.E., Hollander, M., van Dijk, E.J., Hofman, A., Koudstaal, P.J. and Breteler, M.M.B. (2003) Silent Brain Infarcts and White Matter Lesions Increase Stroke Risk in the General Population: The Rotterdam Scan Study. *Stroke*, 34, 1126-1129. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000068408.82115.d2>
- [8] Amzulescu, M.S., De Craene, M., Langet, H., Pasquet, A., Vancraeynest, D., Pouleur, A.C., *et al.* (2019) Myocardial Strain Imaging: Review of General Principles, Validation, and Sources of Discrepancies. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, 20, 605-619. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez041>
- [9] Armstrong, A.C., Liu, K., Lewis, C.E., Sidney, S., Colangelo, L.A., Kishi, S., *et al.* (2014) Left Atrial Dimension and Traditional Cardiovascular Risk Factors Predict 20-Year Clinical Cardiovascular Events in Young Healthy Adults: The CARDIA Study. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, 15, 893-899. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu018>
- [10] Chamsi-Pasha, M.A., Zhan, Y., Debs, D. and Shah, D.J. (2020) CMR in the Evaluation of Diastolic Dysfunction and Phenotyping of HFpEF: Current Role and Future Perspectives. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 13, 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.02.031>
- [11] Zhou, D., Yang, W., Yang, Y., Yin, G., Li, S., Zhuang, B., *et al.* (2022) Left Atrial Dysfunction May Precede Left Atrial Enlargement and Abnormal Left Ventricular Longitudinal Function: A Cardiac MR Feature Tracking Study. *BMC Cardiovascular Disorders*, 22, Article No. 99. <https://doi.org/10.1186/s12872-022-02532-w>
- [12] Nielsen, A.B., Skaarup, K.G., Hauser, R., Johansen, N.D., Lassen, M.C.H., Jensen, G.B., *et al.* (2021) Normal Values and Reference Ranges for Left Atrial Strain by Speckle-Tracking Echocardiography: The Copenhagen City Heart Study. *European Heart Journal—Cardiovascular Imaging*, 23, 42-51. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab201>
- [13] 蔡金, 梁中书, 冯文畅, 等. 左房应变与高血压患者左室舒张功能的相关性[J]. 中南大学学报(医学版), 2023, 48(6): 846-851.
- [14] Maheshwari, A., Norby, F.L., Inciardi, R.M., Wang, W., Zhang, M.J., Soliman, E.Z., *et al.* (2023) Left Atrial Mechanical Dysfunction and the Risk for Ischemic Stroke in People without Prevalent Atrial Fibrillation or Stroke: A Prospective Cohort Study. *Annals of Internal Medicine*, 176, 39-48. <https://doi.org/10.7326/m22-1638>
- [15] Bianco, F., De Caterina, R., Chandra, A., Aquila, I., Claggett, B., Johansen, M.C., *et al.* (2022) Left Atrial Remodeling and Stroke in Patients with Sinus Rhythm and Normal Ejection Fraction: ARIC-NCS. *Journal of the American Heart Association*, 11, e24292. <https://doi.org/10.1161/jaha.121.024292>
- [16] Hoit, B.D. (2022) Left Atrial Reservoir Strain: Its Time Has Come. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 15, 392-394. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.10.003>
- [17] 刘瑞中, 王飞, 赖玉琼. 实时三维超声心动图联合二维斑点追踪技术评价高血压患者左心房时相功能[J]. 中国心血管杂志, 2021, 26(2): 137-141.
- [18] Kamel, H., Bartz, T.M., Longstreth, W.T., Elkind, M.S.V., Gottdiener, J., Kizer, J.R., *et al.* (2021) Cardiac Mechanics and Incident Ischemic Stroke: The Cardiovascular Health Study. *Scientific Reports*, 11, Article No. 17358. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96702-z>
- [19] Sonaglioni, A., Vincenti, A., Baravelli, M., Rigamonti, E., Tagliabue, E., Bassi, P., *et al.* (2018) Prognostic Value of Global Left Atrial Peak Strain in Patients with Acute Ischemic Stroke and No Evidence of Atrial Fibrillation. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, 35, 603-613. <https://doi.org/10.1007/s10554-018-1485-z>
- [20] Lima, J.A.C. and Ambale-Venkatesh, B. (2018) Left Atrial Strain to Address the Cryptogenic Puzzle. *JACC:*

- Cardiovascular Imaging*, **11**, 1566-1568. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.08.020>
- [21] Hankey, G.J. and Eikelboom, J.W. (2001) Homocysteine and Stroke. *Current Opinion in Neurology*, **14**, 95-102. <https://doi.org/10.1097/00019052-200102000-00015>
- [22] Kim, K.Y., Shin, K.Y. and Chang, K. (2022) Potential Biomarkers for Post-Stroke Cognitive Impairment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, **23**, Article 602. <https://doi.org/10.3390/ijms23020602>
- [23] Kamel, H., Bartz, T.M., Elkind, M.S.V., Okin, P.M., Thacker, E.L., Patton, K.K., *et al.* (2018) Atrial Cardiopathy and the Risk of Ischemic Stroke in the CHS (Cardiovascular Health Study). *Stroke*, **49**, 980-986. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.117.020059>
- [24] Larsen, B.S., Kumarathurai, P., Falkenberg, J., Nielsen, O.W. and Sajadieh, A. (2015) Excessive Atrial Ectopy and Short Atrial Runs Increase the Risk of Stroke beyond Incident Atrial Fibrillation. *Journal of the American College of Cardiology*, **66**, 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.05.018>