

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.15.021

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240511.1138.010\(2024-05-11\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240511.1138.010(2024-05-11))

# 生物阻抗向量分析对冠状动脉造影术患者水化的指导价值\*

曹丽君, 李小旺, 王文娟, 张 瑛

(湖州市第一人民医院心血管内科, 浙江湖州 313000)

**[摘要]** **目的** 探索生物阻抗向量分析(BIVA)对冠状动脉造影术(CAG)患者水化的指导价值,为临床提供实用的、可操作性强的客观指标,减少对比剂相关急性肾损伤(CI-AKI)的发生。**方法** 采用便利抽样法,选取 2023 年 8—10 月该院心血管内科首次行 CAG 的 72 例住院冠心病患者,收集患者基本信息,采集血生化、氨基端前脑钠肽(NT-ProBNP),使用 BIVA 获得患者术前身体水分情况;收集实验室数据和对比剂用量信息。使用 SPSS27.0 软件分析患者术前身体水分情况与术后肌酐水平、肾小球滤过率(eGFR)、CI-AKI 发生的相关性。通过公式计算本研究身体总水分推荐范围(90%概率)。**结果** CAG 患者术前测定的身体总水分与术后第 1 天的 eGFR 呈弱正相关(相关系数 0.19,  $P=0.02$ );身体总水分与术后第 1 天肌酐水平呈弱负相关(相关系数  $-0.23$ ,  $P<0.01$ ),与术后第 3 天肌酐水平呈弱负相关(相关系数  $-0.24$ ,  $P=0.04$ ),与术后 CI-AKI 发生呈中度负相关(相关系数  $-0.35$ ,  $P<0.01$ );体水分占比与术后第 3 天 eGFR 呈轻度正相关(相关系数 0.22,  $P=0.01$ )。以 CAG 患者不发生 CI-AKI 为目标,本研究身体总水分推荐范围(90%概率)为不低于 33.25 L。**结论** BIVA 对 CAG 患者水化具有指导意义。

**[关键词]** 生物阻抗向量分析;冠状动脉造影术;对比剂;水化;肾功能

**[中图分类号]** R654.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)15-2357-05

## Value of bioimpedance vectorial analysis in hydration guidance in patients undergoing coronary angiography\*

CAO Lijun, LI Xiaowang, WANG Wenjuan, ZHANG Ying

(Department of Cardiovascular Medicine, Huzhou Municipal First People's Hospital, Huzhou, Zhejiang 313000, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the guiding value of bioimpedance vector analysis (BIVA) in the hydration of the patients undergoing coronary angiography (CAG) in order to provide the practical and strongly operable objective indicators for clinical practice reducing the occurrence of contrast agent-related acute renal injury (CI-AKI). **Methods** The convenience sampling method was used to select 72 inpatients with coronary heart disease who underwent CAG for the first time in the department of cardiovascular medicine in this hospital from August to October 2023. The basic information of the patients was collected, the blood biochemistry and N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-ProBNP) were collected, and the preoperative body moisture situation was obtained by BIVA. The laboratory data and contrast agent dosage were extracted from LIS system and nursing document system. The SPSS27.0 software was used to analyze the correlation between preoperative body water and postoperative creatinine level, glomerular filtration rate (eGFR), CI-AKI. The recommended range of total body water in this study was calculated by the formula (90% probability). **Results** The total body moisture measured before operation in the patients with CAG had weakly positive correlation with eGFR on postoperative 1 d ( $r=0.19$ ,  $P=0.02$ ). The total body moisture had weakly negative correlation with creatinine on postoperative 1 d ( $r=-0.23$ ,  $P<0.01$ ), slightly negative correlation with creatinine on postoperative 3 d ( $r=-0.24$ ,  $P=0.04$ ), and moderately negative correlation with postoperative CI-AKI occurrence ( $r=-0.35$ ,  $P<0.01$ ); the proportion of body water had slightly positive correlation with

\* 基金项目:浙江省医药卫生科技计划项目(2024KY1646);湖州师范学院“四新”教育教学改革研究项目(JG202258)。

eGFR on postoperative 3 d ( $r=0.22, P=0.01$ ). With the no occurrence of CI-AKI in the patients with CAG as the target, according to the formula calculation, it is suggested that the total body moisture range (90% probability) of this study should not be less than 33.25 L. **Conclusion** BIVA is of guiding significance for the hydration of the patients with CAG.

**[Key words]** bioimpedance vector analysis; coronary angiography; contrast agent; hydration; renal function

冠状动脉造影术 (coronary angiography, CAG) 是冠状动脉疾病诊断和治疗中不可替代的重要技术。对比剂相关急性肾损伤 (contrast-induced acute kidney injury, CI-AKI) 是 CAG 的常见并发症,《急性肾损伤的全球流行病学和转归》数据显示,心脏手术患者 CI-AKI 的发生率高达 22.3%,仅次于缺血性和药物诱导的损伤<sup>[1]</sup>,其直接并发症包括容量超负荷、需要紧急透析的高钾血症、终末期肾病的发展和死亡,与心血管发病率和死亡率增加、住院时间延长、医疗费用增加密切相关<sup>[2-8]</sup>。目前,水化是预防和治疗 CI-AKI 首选的重要手段<sup>[9]</sup>。CAG 所使用的碘对比剂为水溶性,因此通过静脉扩容、增加肾小球滤过率和尿量等预防策略能有效减少 CI-AKI 的发生<sup>[10]</sup>。目前国内外专家共识均将识别高危患者、适当的围手术期水化和尽量减少高危患者的对比剂用量作为预防 CI-AKI 的策略<sup>[8]</sup>,然而临床尚缺乏简单有效的非侵入性方法来评估 CAG 患者当前的体液状态。生物阻抗向量分析 (bioimpedance vectorial analysis, BIVA) 是一种廉价、能快速准确评估患者当前体液状态的非侵入性工具,它与血管内容量密切相关,可以确定身体的水分状态,有效指导静脉扩容,护理人员可在几分钟内于患者床边完成<sup>[10]</sup>。BIVA 目前被用于监测体液成分,指导危重患者 (特别是透析或心力衰竭患者) 的液体治疗,尚未被用于 CAG 患者的相关评估和指导。本研究拟探索 BIVA 对 CAG 患者水化的指导价值,以为临床提供实用、可操作性强的客观指标,降低 CI-AKI 的发生率。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

研究对象为 2023 年 8—10 月该院心血管内科的住院患者,样本量计算采用相关因素  $\times 5$  倍  $\times 1.1$  (10%失访) =  $13 \times 5 \times 1.1 = 71.5$ ,即 72 例。纳入标准:符合冠心病诊断标准且首次行 CAG;无沟通障碍;签署知情同意书。排除标准:无法平稳站立;心源性休克、多发性骨髓瘤;妊娠和哺乳期;有对比剂过敏反应史;术前 7 d 内接触对比剂;术前 48 h 内应用口服二甲双胍、茶碱和肾毒性药物;术后 3 d 内再次接触对比剂;肾小球滤过率 (eGFR)  $< 30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot$

$1.73 \text{ m}^{-2}$ ;甲状腺功能异常、恶性肿瘤者;术中死亡;中途退出;沟通交流障碍。本研究已获得医院医学伦理委员会批准。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 基本信息收集

患者入院时常规采集基本信息,包括年龄、性别、体重、身高、BMI、高血压史、糖尿病/糖尿异常史、血脂异常史、肾病/肾功能不全史,并于术前进一步明确基线情况。

#### 1.2.2 BIVA

使用人体成分分析仪 (韩国 Biospace 公司 In-Body770) 进行 BIVA 数据检测,其原理是人体具有固定的电阻和电抗 (细胞储存能量的容量),体液成分的体积在很大程度上反映在电阻中,而电抗则代表细胞膜的完整性。使用  $800 \mu\text{A}$  的交流电流量和  $50 \text{ kHz}$  的工作频率测量电阻和电抗值。根据电阻/身高和电抗/身高比计算身体总水分 (L)。

测量前 2 h 暂停进食和大量饮水,更换轻便服饰,安静休息 (避免洗浴和运动);测量时需排空膀胱,取下手机、钥匙、手表、心电电极、动态心电图机、动态血压计等干扰物品,双腿自然分开,赤足平稳站立在仪器相应电极位置上,双上肢平直向前伸展  $45^\circ$ ,避免接触身体两侧,双手保持干燥,大拇指和四指紧握电极,维持姿势直至仪器检测完毕 (约 3 min)。

本研究所需数据包含身体总水分、细胞外水分、细胞内水分,通过计算可得出体水分占比  $(\text{L}/\text{kg}) = \text{身体总水分}/\text{体重}$ ,细胞外水分比率 (%) =  $\text{细胞外水分}/\text{身体总水分} \times 100\%$ ,细胞内水分比率 =  $\text{细胞内水分}/\text{身体总水分} \times 100\%$ 。

#### 1.2.3 对比剂使用和水化

CAG 患者统一经动脉途径注射碘海醇注射液 (碘含量  $350 \text{ mg}/\text{mL}$ ,相对分子质量 821,渗透压  $830 \text{ mOsm}/\text{kg H}_2\text{O}$ ) 进行显影。根据相关指南/专家共识的对比剂使用原则和方法,在满足成像/诊断的前提下,使用最低剂量的碘对比剂,碘对比剂的最大使用剂量参考 Cigarroa 计算公式:  $5 \text{ mL} \times \text{体重}(\text{kg})/\text{血清肌酐}(\text{mg}/\text{dL})$ ,总量不超过  $300 \text{ mL}$ <sup>[11]</sup>。

所有入组患者的水化方案相同,在 2018 年欧洲

心脏病学会推荐的对比剂使用方案基础上结合患者病情制订,即术前 12 h 和术后 24 h 内以 1~1.5 mL·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> 的速度静脉注射等渗生理盐水<sup>[12]</sup>。

### 1.2.4 研究指标

包括氨基端前脑钠肽(NT-ProBNP, ng/mL)、术前/术后第 1 天/术后第 3 天的血生化及其他实验室数据,包括肌酐、eGFR。根据 2012 年改善全球肾脏病预后组织(KDIGO)急性肾损伤指南工作组制定的标准,CI-AKI 是指排除其他原因所致的肾脏损害,应用碘对比剂后 72 h 内肌酐升高≥44.2 μmol/L,或较基础值升高 25%。本研究身体总水分推荐范围根据 90%百分数范围的正态分布法的医学参考值范围计算公式:不低于健康人群(均数-1.28×标准差)<sup>[13]</sup>。

### 1.3 统计学处理

使用 SPSS27.0 进行统计学分析。计量资料符合正态分布的使用  $\bar{x} \pm s$  表示,不符合正态分布的使用  $M(Q_1, Q_3)$  表示;计数资料使用频数或百分比表示。正态分布的计量资料相关性分析使用 Pearson 分析;非正态分布的计量资料和计数资料相关性分析使用 Kendall 分析。非正态分布的计量资料差异性比较采用秩和检验。相关系数>0 表示正相关,<0 表示负

相关;|相关系数|>0.7 表示强相关,0.3~0.7 表示中度相关,<0.3 表示弱相关。采用双侧检验,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

72 例患者年龄 67.50(56.00,73.00)岁,男性 42 例(58.3%)、女性 30 例(41.7%),体重(64.73±1.46)kg,BMI 为(24.48±0.38)kg/m<sup>2</sup>;有高血压 47 例(65.3%),糖尿病/糖尿异常 19 例(26.4%),高脂血症 3 例(4.2%),肾病/肾功能不全 2 例(2.8%);NT-ProBNP 水平为 12.94(9.08,28.00)ng/mL,身体总水分(32.94±0.85)L,体水分占比为 51.00(45.00,55.00)L/kg,细胞外水分为(12.47±0.34)L,细胞外水分比率为[38.00(37.00,38.00)]%,细胞内水分为(20.61±0.52)L。术前肌酐为 75.00(65.40,89.60)μmol/L,术前 eGFR(MORD 计算)为(97.61±3.16)mL·min<sup>-1</sup>·1.73 m<sup>-2</sup>,对比剂用量为 85(55,130)mL。共 13 例发生 CI-AKI,发生率为 19.44%。

### 2.2 身体水分情况与肌酐、eGFR、CI-AKI 的相关性

BIVA 相关数据与患者术后肾功能指标及 CI-AKI 发生的相关性见表 1。

表 1 BIVA 相关数据与肌酐、eGFR、CI-AKI 发生的相关性(n=72)

项目	术后第 1 天 eGFR (mL·min <sup>-1</sup> ·1.73 m <sup>-2</sup> )	术后第 1 天肌酐 (μmol/L)	术后第 3 天 eGFR (mL·min <sup>-1</sup> ·1.73 m <sup>-2</sup> )	术后第 3 天肌酐 (μmol/L)	CI-AKI 发生
身体总水分(L)					
相关系数	0.19	-0.23	0.13	-0.24	-0.35
P	0.02	<0.01	0.16	0.04	<0.01
体水分占比(L/kg)					
相关系数	0.09	-0.16	0.22	-0.01	-0.19
P	0.30	0.05	0.01	0.42	0.05
细胞外水分(L)					
相关系数	0.19	-0.23	0.35	-0.24	-0.35
P	0.02	<0.01	<0.01	0.04	<0.01
细胞外水分比率(%)					
相关系数	-0.02	-0.17	0.13	0.01	-0.34
P	0.84	0.06	0.16	0.92	<0.01
细胞内水分(L)					
相关系数	0.17	-0.23	0.34	-0.24	-0.36
P	0.04	0.01	<0.01	0.04	<0.01

### 2.3 术后肌酐水平比较

CAG 患者术后第 1 天肌酐水平[80.30(72.95,92.35)μmol/L]与术后第 3 天[69.50(62.00,75.95)μmol/L]相比差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

### 2.4 未发生 CI-AKI 患者的术前身体总水分情况

未发生 CI-AKI 的 58 例患者术前身体总水分为(34.41±0.91)L。以 CAG 患者不发生 CI-AKI 为目标,通过公式计算本研究身体总水分推荐范围(90%

概率)为不低于 33.25 L。

### 3 讨 论

CI-AKI 是一种复杂的多因素疾病,与 CKD、糖尿病、高龄、充血性心力衰竭、贫血和高剂量对比剂等有关<sup>[14-15]</sup>,尽管其是可逆的(在 1~3 周内恢复到基线肌酐水平),但与远期死亡率增加密切相关<sup>[16]</sup>。冠心病患者 CAG 后 CI-AKI 发生的直接机制是对比剂对肾小管上皮细胞产生肾毒性,导致肾功能障碍、细胞凋亡,随着细胞损伤的进展,上皮细胞从基底膜上脱落,导致肾小管阻塞、肾小管内压升高,最终导致 eGFR 下降;间接机制包括肾脏局部或整体血流灌注减少造成的缺血性损伤<sup>[17]</sup>。对比剂可通过血管活性物质如内皮素、一氧化氮和前列腺环素等引起肾内血管收缩,导致肾小球血流量减少,并减少向肾单位代谢活跃部分的氧气输送,引起肾功能障碍<sup>[18]</sup>。肾功能障碍的经典定义是血清肌酐水平的升高<sup>[1]</sup>,但该指标缺乏敏感性,即使肾功能重度下降血清肌酐水平也可能不会明显升高,有 20% 的急性肾损伤(AKI)未通过血清肌酐被检测到。大多数 CI-AKI 患者的肾功能障碍是短暂可逆的,但仍有发生需要透析的 AKI、重大心脑血管不良事件和死亡的风险<sup>[19-20]</sup>。在 CAG 后第 1 天,尿量可能是观察患者肾功能的唯一指标<sup>[15]</sup>,缺乏其他客观动态的观察指标。

目前针对 CI-AKI 的治疗有限,主要集中在非透析治疗,如避免或停止使用肾毒性药物,调整血流动力学参数和寻找可逆原因等<sup>[10,13]</sup>。有研究表明,血容量不足是 CI-AKI 的危险因素之一<sup>[21]</sup>。因碘对比剂为水溶性,可通过扩大血管内容量、增加尿量的策略预防 CI-AKI<sup>[5]</sup>。短期水化有助于肾内血流动力学改善,增加对比剂的清除,降低管腔和直肠血管中对比剂的浓度,并抵消导致肾髓质血管收缩的神经激素系统的激活,对对比剂引起的直接肾小管毒性效应具有重要的保护作用。然而术后第 3 天随着水化作用的衰减,eGFR 也逐渐恢复到术前状态,因此术前 BIVA 所测得的身体水分情况与术后第 3 天的肾小球滤过功能的相关性较术后第 1 天更强。

本研究采用 BIVA 技术进行相关数据采集、分析,结果提示患者术前测定的身体水分情况与术后 eGFR、术后 CI-AKI 存在相关性,有助于临床实施预见性干预,如强化术前及术后第 1 天的水化方案,控制患者体重等。国外有学者建议应基于血流动力学测量、左心室舒张末压力、中心静脉压或生物阻抗分析来确定水化方案<sup>[22-24]</sup>,且当患者  $eGFR \leq 30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  时,应在术后 48~72 h 复查血清肌酐,而对于  $eGFR > 30 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  的患

者,发生 CI-AKI 的风险极低,不需要进行重复检测<sup>[16-17]</sup>。eGFR 是持续性肾功能不全的独立危险因素<sup>[22]</sup>,进一步证实了 BIVA 对预防 CI-AKI 的指导价值。但国外有研究表明,血清肌酐水平在对比剂暴露后 2~3 d 达到峰值<sup>[23-25]</sup>,因此患者术前身体水分含量越低,则术后第 3 天血清肌酐水平越高,且应明显高于术后第 1 天的水平。而本研究结果提示术后第 1 天与第 3 天肌酐水平差异无统计学意义,这可能与本研究样本量小有关。

综上所述,BIVA 可识别患者的低体液水平状态,为 CAG 围手术期的肾功能积极干预提供客观指标,为个性化水化方案提供指导,包括术前补液量的客观量化、术后水化时间和术后水化量的指导。本研究将体水分占比纳入研究,提示在增加身体水分的情况下,有必要控制体重,提升体水分占比;同时,本研究结果提示术前身体总水分含量  $\geq 33.25 \text{ L}$  可降低术后 CI-AKI 的发生。但本研究为单中心研究,并且未进行外部验证,BIVA 相关数据均为术前检测,有待在今后的研究中联合多中心,将术后第 1、2 天的 BIVA 数值纳入统计分析;亦或进行远期随访,进一步明确 BIVA 对 CAG 围手术期水化的指导价值,为临床实践提供参考。

### 参考文献

- [1] HOSTE E A J, KELLUM J A, SELBY N M, et al. Global epidemiology and outcomes of acute kidney injury[J]. *Nat Rev Nephrol*, 2018, 14: 607-625.
- [2] BURATTI S, CRIMI G, SOMASCHINI A, et al. A preprocedural risk score predicts acute kidney injury following primary percutaneous coronary intervention[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 98(2): 197-205.
- [3] DUAN C, CAO Y, LIU Y, et al. A new preprocedure risk score for predicting contrast-induced acute kidney injury[J]. *Can J Cardiol*, 2017, 33(6): 714-723.
- [4] MAIOLI M, TOSO A, LEONCINI M, et al. Bioimpedance-guided hydration for the prevention of contrast-induced kidney injury: the HYDRA study[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 71(25): 2880-2889.
- [5] CHANDIRAMANI R, CAO D, NICOLAS J, et al. Contrast-induced acute kidney injury[J]. *Card*



- iovasc Interv Ther, 2020, 35(3):209-217.
- [6] DAVENPORT M S, PERAZELLA M A, YEE J, et al. Use of intravenous iodinated contrast media in patients with kidney disease: consensus statements from the American College of Radiology and the National Kidney Foundation [J]. *Radiology*, 2020, 294:660-668.
- [7] MAKSIMCZUK J, GALAS A, KRZESIŃSKI P. What promotes acute kidney injury in patients with myocardial infarction and multivessel coronary artery disease-contrast media, hydration status or something else? [J]. *Nutrients*, 2022, 15(1):21.
- [8] GURM H S. A complementary approach for preventing contrast-induced acute kidney injury [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(7):843-845.
- [9] ARSLAN S, YILDIZ A, DALGIC Y, et al. Avoiding the emergence of contrast-induced acute kidney injury in acute coronary syndrome: routine hydration treatment [J]. *Coron Artery Dis*, 2021, 32(5):397-402.
- [10] SÚVA M, KALA P, POLOCZEK M, et al. Contrast-induced acute kidney injury and its contemporary prevention [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9:1073072.
- [11] 李雪, 郑淑梅, 屈梅香. 影像科碘对比剂输注安全专家共识 [J]. *介入放射学杂志*, 2018, 27(8):707-712.
- [12] NEUMANN F J, SOUSA-UVA M, AHLSSON A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(2):87-165.
- [13] 孙振球, 徐勇勇. 医学统计学 [M]. 4 版. 北京: 人民卫生出版社.
- [14] MATUSZKIEWICZ-ROWINSKA J, MALYSZKO J. Prevention and treatment of tumor lysis syndrome in the era of onco-nephrology progress [J]. *Kidney Blood Press Res*, 2020, 45(5):645-660.
- [15] SINGH K, BHARGAVA V, BRAR J E, et al. Contrast induced acute kidney injury (CI-AKI): myths and realities [J]. *J Assoc Physicians India*, 2021, 69(11):11-12.
- [16] MACDONALD D B, HURRELL C, COSTA A F, et al. Canadian Association of Radiologists Guidance on contrast associated acute kidney injury [J]. *Can Assoc Radiol J*, 2022, 73(3):499-514.
- [17] MEHRAN R, DANGAS G D, WEISBORD S D. Contrast-associated acute kidney injury [J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(22):2146-2155.
- [18] RONCO C, BELLOMO R, KELLUM J. Understanding renal functional reserve [J]. *Intensive Care Med*, 2017, 43(6):917-920.
- [19] 邵柳, 王雪芹, 钟婷婷, 等. 造影剂相关急性肾损伤的研究进展 [J]. *局解手术学杂志*, 2022, 31(3):270-273.
- [20] SAITO Y, DEGUCHI Y, NAKAO M, et al. Predictivity of acute kidney injury risk scores for late kidney injury in patients with chronic coronary syndrome [J]. *Heart Vessels*, 2022, 37(12):1971-1976.
- [21] 李永祥, 迟路湘. 对比剂后急性肾损伤研究进展 [J]. *微循环学杂志*, 2023, 33(1):102-107.
- [22] HARIS Á, MÁTYUS J. Occurrence and prevention of iodinated contrast agent-induced kidney injury in light of the newest literature data: time to change our clinical practice! [J]. *Orv Hetil*, 2022, 163(3):83-91.
- [23] NIJSSEN E C, RENNENBERG R, NELEMANS P, et al. Post-contrast acute kidney injury and intravenous prophylactic hydration: an update [J]. *Rofo*, 2021, 193(2):151-159.
- [24] KELLUM J A, ROMAGNANI P, ASHUNTANG G, et al. Acute kidney injury [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2021, 7(1):52.
- [25] 文彦琳, 何懿, 邓赞贞, 等. 造影剂相关急性肾损伤患者短期不良预后的危险因素分析 [J]. *中南医学科学杂志*, 2023, 51(5):665-669.

(收稿日期:2023-12-30 修回日期:2024-04-17)

(编辑:成卓)