

论 著

基于列线图模型分析CT增强高压注射外渗的风险因素及预防对策分析

范媛媛* 敬 茜
四川大学华西医院放射科/四川大学华西
护理学院 (四川 成都 610041)

【摘要】目的 基于列线图模型分析CT增强高压注射外渗的风险因素，并分析预防CT增强高压注射外渗发生的对策。方法 回顾2020年1月~2023年6月期间于本院进行CT增强扫描发生高压注射外渗的患者的临床资料(外渗组，n=72)，另回顾未发生高压注射外渗患者的临床资料(无外渗组，n=216)。采用Logistic回归模型分析明确导致CT增强高压注射外渗的危险因素，并根据独立危险因素构建列线图预测模型，采用受试者工作特征曲线(ROC)、Bootstrap法及Calibration曲线对模型进行评价。结果 外渗组年龄≥60岁、BMI≥24kg/m²、手腕注射、未对比剂加热、注射速率≥3mL/s、化疗史人数占比均高于无外渗组(P<0.05)；Logistic回归模型分析结果显示，年龄≥60岁、手腕注射、注射速率≥3mL/s、化疗史是影响高压注射外渗的独立危险因素(P<0.05)；ROC曲线显示，预测模型的AUC为0.828(95%CI: 0.780~0.870)，灵敏度90.28%、特异度78.70%、约登指数0.690；Bootstrap验证结果显示，C-index值为0.762(95%CI: 0.651~0.816)，Calibration曲线显示，Hosmer-Lemeshow $\chi^2=0.628$ ，P=0.317。结论 年龄≥60岁、BMI≥24kg/m²、手腕注射、未对比剂加热、注射速率≥3mL/s、化疗史是CT增强扫描发生高压注射外渗的独立危险因素，基于上述因素构建的预测模型对CT增强高压注射外渗具有较高的预测效能。

【关键词】CT增强扫描；高压注射外渗；
风险因素；列线图；预测模型
【中图分类号】R445.2
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.04.051

Risk Factors and Preventive Measures of CT Enhanced High Pressure Injection Extravasation Were Analyzed Based on the Nomogram Model

FAN Yuan-yuan*, JING Qian.
Radiology Department of West China Hospital of Sichuan University/West China Nursing College of Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan Province, China

ABSTRACT
Objective To analyze the risk factors of CT enhanced high pressure injection extravasation based on the column graph model, and analyze the countermeasures to prevent CT enhanced high pressure injection extravasation. **Methods** The clinical data of patients with high-pressure injection extravasation who underwent enhanced CT scan in our hospital from January 2020 to June 2023 were reviewed (extravasation group, n=72). The clinical data of patients without high pressure injection extravasation were also reviewed (no extravasation group, n=216). Logistic regression model was used to analyze and identify the risk factors leading to CT enhanced high-pressure injection extravasation, and a nomogram prediction model was constructed according to independent risk factors. Receiver operating characteristic curve (ROC), Bootstrap test and Calibration curve were used to evaluate the model. **Results** The proportion of patients in extravasation group with age≥60 years, BMI≥24 kg/m², wrist injection, no heating with contrast agent, injection rate≥3 mL/s and history of chemotherapy were higher than those in non-extravasation group (P<0.05). Logistic regression model analysis showed that age≥60 years old, wrist injection, injection rate≥3 mL/s, and chemotherapy history were independent risk factors for high pressure injection extravasation. The ROC curve showed that the AUC of the prediction model was 0.828 (95%CI: 0.780~0.870), the sensitivity was 90.28%, the specificity was 78.70%, and the Yoden index was 0.690. The Calibration results from Bootstrap verification showed that the C-index value was 0.762 (95%CI: 0.651~0.816). The calibration curve showed that Hosmer-Lemeshow $\chi^2=0.628$, P=0.317. **Conclusion** Age≥60 years, BMI≥24kg/m², wrist injection, heating without contrast agent, injection rate≥3mL/s, and history of chemotherapy are independent risk factors for high pressure injection extravasation in enhanced CT scan. The prediction model based on the above factors has high predictive efficiency for CT enhanced high-pressure injection extravasation.
Keywords: CT Enhanced Scan; High Pressure Injection Extravasation; Risk Factors; A Nomogram; Prediction Model

CT增强扫描是通过注射碘对比剂增强器官和病灶之间的对比度，以获得CT平扫无法发现的病灶的位置、大小等情况的扫描方法，可用于多种疾病的诊断^[1-2]。CT增强扫描要求以瞬时高速的方式注入血管，临床通常采用高压注射的方式注射，由于外周静脉壁相对较薄，加之碘对比剂渗透压和黏度较高，因此在高压注射过程中易发生外渗，引发局部肿胀、灼热、刺痛等不良反应，严重者会导致皮肤溃疡甚至坏死等，危及患者生命健康^[3-4]。尽管上述不良反应发生率较低，但由于CT增强扫描的受检群体日渐庞大，发病例数也逐年增多，因此预防高压注射外渗仍是影像学的研究重点。既往研究表明，高压注射外渗主要受到患者自身原因、操作方法等多种因素的影响，但目前缺乏科学、有效的高压注射外渗发生的预测模型^[5-6]。本研究通过回顾既往在本院接受CT增强扫描患者的临床资料，重点分析发生高压注射外渗与无外渗患者基线资料的差异，并采用Logistic回归分析模型明确危险因素、构建风险列线图预测模型，探讨该风险模型对预防高压注射外渗的价值，以期降低CT增强高压注射外渗的发生风险，提高CT增强扫描的安全性。

1 资料与方法

1.1 研究对象 选取2023年1月至2023年6月期间于本院进行CT增强高压注射外渗的患者72例纳入外渗组，另选取未发生高压注射外渗的CT增强扫描患者216例纳入无外渗组，收集2组患者临床资料进行回顾性分析。

纳入标准：均参照《对比剂使用指南(第1版)》^[7]进行对比剂高压注射；患者均行CT增强扫描；患者年龄均>18岁；患者扫描配合度较高；患者均签署知情同意书。排除标准：既往存在碘对比剂不良反应史；患有CT禁忌症；患有严重甲状腺功能亢进者；患有哮喘者；患有严重肾功能不全者。

1.2 方法

1.2.1 高压注射方法 患者均选取较为粗直的静脉段进行穿刺，仪器选用西门子双筒高压注射器，采用直刺法将针头与皮肤呈60°角进针，深入约8mm，并采用胶布固定，对比剂选用碘海醇[国药准字H10970196，扬子江药业集团有限公司，规格：100mL：30g(I)]，注射速率设置为2.5~3.5mL/s，输注剂量为1.2~2mL/kg。

【第一作者】范媛媛，女，主要研究方向：造影剂渗漏，造影剂过敏，高压注射器，钆造影剂过敏相关。E-mail: fanyuanyuan2028@163.com
【通讯作者】范媛媛

1.2.2 对比剂外渗判定及分组 患者高压注射对比剂后，注射位置肿胀，肿胀范围>3cm视为对比剂外渗，肿胀范围>3cm的患者纳入外渗组，肿胀范围≤3cm或无肿胀的患者纳入无外渗组。

1.2.3 资料收集 调阅患者的电子病历，统计患者性别、年龄、身体质量指数(body mass index, BMI)、手术史、化疗史、有无静脉血栓，记录患者对比剂注射前加热情况、注射部位、生理盐水预注射、注射静脉穿刺情况及注射过程中的注射速率。

1.3 统计学方法 数据分析使用SPSS26.0软件，符合正态分布的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示，行t检验，计数资料以(n, %)表示，行 χ^2 检验；Logistic回归模型分析影响CT增强高压注射外渗发生的危险因素；采用R3.6软件，构建高压注射外渗发生的风险预测模型；受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线、Bootstrap法验证及Calibration曲线验证预测模型的预测价值，绘制校准曲线评价预测模型的校准度。取双侧检验， $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 CT增强高压注射外渗发生情况 12000例行CT增强扫描的患者发生高压注射外渗者72例，表现为肢体肿胀、皮肤破皮、水泡等(见图1)，高压注射外渗发生率为0.6%；将发生高压注射外渗的72例患者纳入外渗组，按照1:3的比例匹配无未发生对比剂外渗的216例患者纳入无外渗组，进行后续统计分析。

2.2 两组的一般资料比较 外渗组与无外渗组的性别、手术史、生理盐水预注射、静脉血栓、静脉穿刺情况静脉穿刺情况比较，

差异无统计学意义($P>0.05$)；外渗组年龄≥60岁、BMI≥24kg/m²、手腕注射、对比剂未加热、注射速率≥3mL/s、化疗史人数占比均高于无外渗组($P<0.05$)，见表1。

2.3 多因素Logistic回归模型分析结果 将CT增强扫描有无发生高压注射外渗(发生=1，未发生=0)作为自变量，年龄、BMI、注射部位、对比剂有无加热、注射速率、有无化疗史作为因变量纳入Logistic回归分析模型，分析结果显示，年龄≥60岁、手腕注射、注射速率≥3mL/s、化疗史是影响高压注射外渗的独立危险因素($P<0.05$)，见表2和表3。

2.4 高压注射外渗列线图预测模型的构建及评价 根据Logistic回归模型分析结果，采用R3.6软件进行列线图模型构建，Logit(P)=-3.153+0.769×年龄≥60岁+0.926×手腕注射+1.163×注射速率≥3mL/s+0.865×化疗史($\chi^2=12.015$, $P<0.001$)，总分范围74~320分，对应风险范围0.1~0.9，分值越高CT增强高压注射外渗的风险越大。见图2。

2.5 高压注射外渗列线图预测模型验证 ROC曲线计算曲线下面积(area of under curve, AUC)绘制结果显示，预测模型的AUC为0.828(95%CI: 0.780-0.870)，灵敏度90.28%、特异度78.70%、约登指数0.690，提示该预测模型预测价值良好；Bootstrap验证结果显示，C-index值为0.762(95%CI: 0.651-0.816)，Calibration曲线显示，Hosmer-Lemeshow $\chi^2=0.628$, $P=0.317$ ，提示该预测模型区分度良好、校准度良好，见图3、4。

表1 外渗组与无外渗组产妇临床资料比较

因素	无外渗组(n=216)	外渗组(n=72)	χ^2 值	P值
性别				
男	122(56.48%)	47(65.28%)	1.723	0.189
女	94(43.52%)	25(34.72%)		
年龄				
<60岁	112(51.85%)	23(31.94%)	8.594	0.003
≥60岁	104(48.15%)	49(68.06%)		
BMI(kg/m ²)				
<24 kg/m ²	193(89.35%)	57(79.17%)	4.891	0.027
≥24 kg/m ²	23(10.65%)	15(20.93%)		
手术史				
有	55(25.46%)	24(33.33%)	1.680	0.195
无	161(74.54%)	48(66.67%)		
化疗史				
有	26(12.04%)	21(29.17%)	11.603	0.001
无	190(87.96%)	51(70.83%)		
对比剂加热				
有	157(72.69%)	61(84.72%)	4.253	0.039
无	59(27.31%)	11(15.28%)		
注射部位				
手腕	83(38.43%)	16(22.22%)	6.285	0.012
手肘	133(61.57%)	56(77.78%)		
生理盐水预注射				
有	173(80.09%)	51(70.83%)	2.679	0.102
无	43(19.91%)	21(29.17%)		
注射速率				
<3mL/s	183(84.72%)	45(62.50%)	16.168	<0.001
≥3mL/s	33(15.28%)	27(37.50%)		
静脉血栓				
有	35(16.20%)	15(20.83%)	0.807	0.369
无	181(83.80%)	57(79.17%)		
静脉穿刺情况				
初次穿刺	185(85.65%)	58(80.56%)	1.062	0.303
多次穿刺	31(14.35%)	14(19.44%)		

表2 赋值说明

因素	变量	赋值说明
年龄	X ₁	≥60岁=1, <60岁=0
BMI	X ₂	≥24 kg/m ² =1, <24 kg/m ² =0
注射部位	X ₃	手腕=1, 手肘=0
对比剂加热	X ₄	无=1, 有=0
注射速率	X ₅	≥3 mL/s=1, <3 mL/s=0
化疗史	X ₆	有=1, 无=0

表3 影响高压注射外渗的Logistic回归模型分析

变量	β	SE	Wald χ^2 值	P	OR	95%CI
年龄≥60岁	0.769	0.176	4.183	0.004	2.158	1.109~4.908
BMI≥24kg/m ²	0.259	0.346	0.560	0.479	1.296	0.570~0.947
对比剂加热	0.330	0.461	1.599	0.116	1.391	0.611~3.164
注射部位	0.926	0.247	4.291	<0.001	2.524	1.110~5.742
注射速率≥3mL/s	1.163	0.161	6.364	<0.001	3.200	1.407~7.278
化疗史	0.865	0.209	5.209	<0.001	2.375	1.044~5.403
常数项	-3.153	0.143	3.976		—	



图1A-图1D 高压注射外渗表现；图1A 外渗6h后出现肢体肿胀水泡；图1B 外渗24h后肢体肿胀皮肤有破皮；图1C 外渗24h后出现水泡；图1D 抽吸水泡后效果。

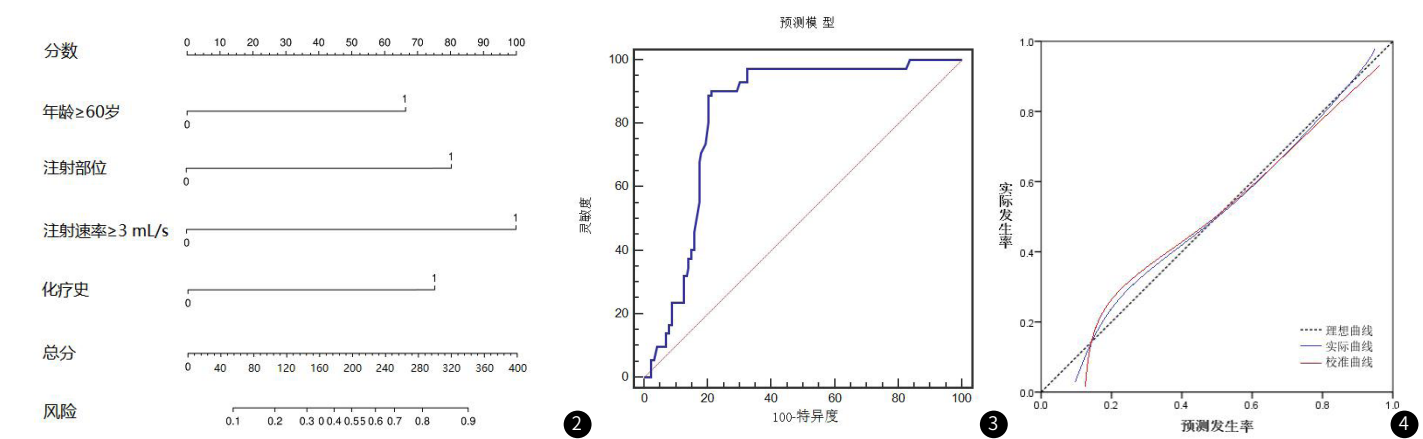


图2 高压注射外渗列线图；图3 高压注射外渗预测模型ROC曲线；图4 高压注射外渗列线图校准曲线

3 讨论

近年来CT增强扫描逐渐普及，临床经验证实静脉高压注射对比剂能够有效提高扫描的准确性，便于临床更加清晰的对病灶进行定位和定性^[8-9]。随着CT增强扫描的广泛应用，高压注射外渗的发生率也随之升高，不仅影响CT扫描的准确率，同时会导致注射部位及其周围会发生疼痛、肿胀，甚至影响肢体功能^[10-11]。本研究旨在分析CT增强高压注射外渗的风险因素，并基于此构建风险预测模型，有效降低高压注射外渗的发生风险，提高CT增强扫描的安全性及有效性。

本研究通过分析发生与未发生高压注射外渗患者的临床资料，并经Logistic回归模型分析结果显示，年龄≥60岁、手腕注射、注射速率≥3mL/s、化疗史是影响高压注射外渗的独立危险因素。相较于年轻人，老年人皮肤松弛，皮下组织减少，且老年人的血管相对更为狭窄，脆性更高，因此老年患者在高压注射对比剂时血管更易破裂，对比剂外渗的发生风险更高^[12]。有化疗史的患者，血管因长期受到化疗药物的刺激，血管会受到不同程度的损伤，且患者需长期反复进行静脉穿刺，血管脆性升高，弹性下降，导致高压注射易发生外渗^[13]。但本研究中静脉多次穿刺并非高压注射外渗的危险因素，可能是由于患者样本量较小，且多次穿刺并非对同一静脉进行穿刺，因此两组静脉穿刺情况无明显差异。肢体远端静脉对比剂静脉外渗发生的风险显著高于肘正中静脉、前臂头静脉，Stowell JR^[14]在研究中表明，与放置在非

上臂位置的导管比较，放置在上臂血管中的导管发生对比剂外渗的风险相对较小。本研究中手腕注射的患者发生高压注射外渗的风险显著升高。分析原因为，肘静脉、头静脉血流量大，弹性较高，而手腕静脉血管较细，血流量较少，更易发生外渗^[15-16]。目前多数学者认为，注射速率是影响对比剂外渗的影响因素，其原因为，高速注射对比剂时单位内注入血管的对比剂较多，且快速注射时对比剂对针头的反作用力较强，针头易发生移位，从而导致静脉破裂而导致外渗，但也有研究认为对比剂外渗不受注射速率的影响，而是受到注射方式的影响^[17-18]。本研究仅研究高压注射外渗的影响因素，并未考虑不同注射器与对比剂外渗的关系，未来可进行深入研究，以降低对比剂外渗的风险，提高CT增强扫描的安全性。

本研究基于高压注射外渗发生的独立危险因素构建预测模型，整合了高压注射外渗患者的检测前及检测中的4项独立危险因素，利用列线图将预测模型可视化，增加了临床实用价值。采用ROC曲线验证模型的预测价值，结果显示，AUC为0.828，预测模型的灵敏度90.28%、特异度78.70%，同时采用Bootstrap法及Calibration曲线验证该预测模型的区分度与校准度，结果提示预测模型区分度良及校准度均良好，可用于临床评估CT增强高压注射外渗发生的风险。基于列线图模型分析，临床可在检查前仔细询问患者的有无化疗史，穿刺时应尽量寻找较粗、较直、血管

弹性较好的血管进行注射,尤其是对于老年患者应选择较大的血管^[19]。另外对比剂注射过程中需时刻关注患者的血管及其周围的变化情况,必要时可适当降低注射速度,以降低高压注射外渗的发生风险。研究发现对比剂注射人员的熟练程度,工作年限、学历等因素可能同样对高压注射外渗发生具有一定的影响^[20],但获取所有进行CT增强扫描患者的对比剂注射人员完整资料的难度较大,因此本研究未从注射人员工作经验的角度出发,未来可着重分析该方面因素对CT增强高压注射外渗的影响,以获得预测准确度更高的风险预测模型,降低高压注射外渗的风险。

综上所述,年龄 ≥ 60 岁、BMI $\geq 24\text{kg/m}^2$ 、手腕注射、未对比剂加热、注射速率 $\geq 3\text{mL/s}$ 、化疗史是CT增强扫描发生高压注射外渗的独立危险因素,基于上述因素构建的预测模型对CT增强高压注射外渗具有较高的预测效能,为临床识别高压注射外渗高风险人群提供可靠预测模型。

参考文献

- [1] Wang SY, Liu JH, Yao S, et al. PET/CT and contrast-enhanced CT imaging findings in benign solitary schwannomas[J]. *Eur J Radiol*, 2021, 8(141): 109820.
- [2] Buus TW, Rasmussen F, Nillemann HM, et al. Comparison of contrast-enhanced CT, dual-layer detector spectral CT, and whole-body MRI in suspected metastatic breast cancer: a prospective diagnostic accuracy study[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(12): 8838-8849.
- [3] Masood L, Yasir S, Rana AI, et al. An audit of contrast extravasation in patients undergoing contrast enhanced CTs at radiology department in a tertiary care hospital in Pakistan[J]. *J Pak Med Assoc*, 2022, 72(8): 1603-1607.
- [4] Hrycyk J, Heverhagen JT, Boehm I. What you should know about prophylaxis and treatment of radiographic and magnetic resonance contrast medium extravasation[J]. *Acta Radiol*, 2019, 60(4): 496-500.
- [5] Roditi G, Khan N, van der Molen AJ, et al. Intravenous contrast medium extravasation: systematic review and updated ESUR Contrast Media Safety Committee Guidelines[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(5): 3056-3066.
- [6] 江红, 许城城, 陈映淳, 等. 脉冲式预注射生理盐水在CT增强扫描中预防造影剂外渗的研究[J]. *实用医学杂志*, 2022, 38(2): 239-242.
- [7] 中华医学会放射学分会, 中国医师协会放射医师分会. 对比剂使用指南(第1版)[J]. *中华放射学杂志*, 2008(3): 320-325.
- [8] Husmann L, Huellner MW, Gruenig H, et al. Imaging characteristics and diagnostic accuracy of FDG-PET/CT, contrast enhanced CT and combined imaging in patients with suspected mycotic or inflammatory abdominal aortic aneurysms[J]. *PLoS One*, 2022, 17(8): e0272772.
- [9] Weir-McCall JR, Debruyne E, Harris S, et al. Diagnostic accuracy of a convolutional neural network assessment of solitary pulmonary nodules compared with PET with CT imaging and dynamic contrast-enhanced CT imaging using unenhanced and contrast-enhanced CT imaging[J]. *Chest*, 2023, 163(2): 444-454.
- [10] 王杏芬, 俞英英, 王玲玲, 等. 针刺减压联合硫酸镁湿敷治疗CT增强扫描造影剂外渗[J]. *浙江临床医学*, 2022, 24(4): 605-608.
- [11] Thomas R, Vermaak L, Price G. Iodinated contrast media extravasation injuries: should osmolality and the pattern of distribution affect management: a literature review and case report comparison[J]. *Eplasty*, 2022, 30(22): e23.
- [12] 程艺, 张凡, 王超琴, 等. CT增强高压注射外渗的相关因素分析[J]. *中华现代护理杂志*, 2021, 27(8): 1106-1109.
- [13] 杜鑫, 高白银, 黎倩. 耐高压静脉套管针对乳腺癌患者化疗后MRI检查中对比剂渗漏的影响[J]. *癌症进展*, 2022, 20(4): 419-422.
- [14] Stowell JR, Rigdon D, Colglazier R, et al. Risk of contrast extravasation with vascular access in computed tomography[J]. *Emerg Radiol*, 2020, 27(3): 253-258.
- [15] Hoang VT, Hoang TH, Trinh CT, et al. Contrast agent extravasation in external jugular vein[J]. *Am J Emerg Med*, 2023, 7(69): 203-204.
- [16] Raveendran S, Rajendra Benny K, Monica S, et al. Multiple stab incisions and evacuation technique for contrast extravasation of the hand and forearm[J]. *J Hand Surg Am*, 2019, 44(1): 71.e1-71.e5.
- [17] 李艾梅, 刘东锋, 谭德力. 肺部CT检查患者对比剂外渗发生的影响因素分析[J]. *医学影像学杂志*, 2023, 33(4): 713-716.
- [18] 黄婷婷, 陈英, 李琴, 等. CT增强检查中碘对比剂静脉外渗风险评估指标的构建[J]. *现代临床护理*, 2022, 21(3): 24-29.
- [19] Shigematsu S, Oda S, Sakabe D, et al. Practical preventive strategies for extravasation of contrast media during CT: what the radiology team should do[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(10): 1555-1559.
- [20] Mandlik V, Prantl L, Schreyer AG. Contrast media extravasation in CT and MRI - a literature review and strategies for therapy[J]. *Rofo*, 2019, 191(1): 25-32.

(收稿日期: 2023-07-07)

(校对编辑: 翁佳鸿)