

基于MSCT临床联合影像特征列线图模型预测 消化道穿孔部位的初步研究

邹颖¹, 宫希军^{1*}, 胡汉金², 张军³, 任谦³, 夏静溪³

¹安徽医科大学第二附属医院放射科, 安徽 合肥

²安庆市立医院影像科, 安徽 安庆

³安庆市第二人民医院影像科, 安徽 安庆

收稿日期: 2025年3月18日; 录用日期: 2025年4月11日; 发布日期: 2025年4月18日

摘要

目的: 探讨基于MSCT临床联合影像特征列线图模型预测消化道穿孔部位。方法: 回顾性分析267例经手术证实消化道穿孔患者临床及MSCT资料。筛选预测消化道穿孔部位的影响因素, 构建Nomogram模型, 并评估模型的预测能力。结果: 经手术证实上消化道穿孔182例, 其中异物穿孔1例, 溃疡穿孔181例; 下消化道穿孔85例, 其中异物(鱼刺、枣核等)穿孔22例, 疝嵌顿致穿孔8例。观察腹腔内/腹膜外游离气体、胃肠壁局限性增厚、胃肠壁连续性中断、腹膜炎、异物征、肠梗阻。筛选出膈下、胃十二指肠周围游离气体、异物征、肠梗阻4个独立影响因素, 同时运用列线图构建评分模型。列线图模型的C-index = 0.830, Bootstrap自抽样法内部验证校正C-index = 0.661。结论: 基于膈下、胃十二指肠周围游离气体、异物征、肠梗阻构建的列线图模型对预测消化道穿孔部位具有一定的价值。

关键词

消化道穿孔, MSCT, 列线图, 穿孔部位

A Preliminary Study on the Prediction of the Perforation Site of Digestive Tract Based on Multi-Slice Spiral CT (MSCT) Imaging Features Combined with Clinical Nomographic Model

Ying Zou¹, Xijun Gong^{1*}, Hanjin Hu², Jun Zhang³, Qian Ren³, Jingxi Xia³

*通讯作者。

文章引用: 邹颖, 宫希军, 胡汉金, 张军, 任谦, 夏静溪. 基于 MSCT 临床联合影像特征列线图模型预测消化道穿孔部位的初步研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(4): 2106-2115. DOI: 10.12677/acm.2025.1541160

¹Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

²Department of Medical Imaging, Anqing Municipal Hospital, Anqing Anhui

³Department of Medical Imaging, The Second People's Hospital of Anqing, Anqing Anhui

Received: Mar. 18th, 2025; accepted: Apr. 11th, 2025; published: Apr. 18th, 2025

Abstract

Objective: To explore the prediction of the perforation site of digestive tract based on multi-slice spiral CT (MSCT) imaging features combined with clinical nomographic model. **Methods:** We make retrospective analysis of the clinical data and MSCT images of 267 patients with surgically proven perforation of digestive tract. Screen the influencing factors for predicting the location of perforation of digestive tract, build a nomographic model and evaluate the predictive power of the model. **Results:** The perforation of upper digestive tract (stomach and duodenum) has been confirmed by surgery in 182 cases, including one case of foreign body perforation and 181 cases of ulcer perforation. What's more, the author has offered 85 cases of lower digestive tract perforation (jejunum, ileum, cecum, colon and rectum), 22 cases of foreign body perforation (fish bones, jujube nucleus, etc.) and 8 cases of perforation caused by hernia incarceration. Additionally, the author has also observed the intra-peritoneal and extraperitoneal free gas, therefore, the author has localized thickening of gastrointestinal wall, interruption of continuity of gastrointestinal wall, peritonitis, foreign body sign as well as signs of intestinal obstruction. As a result, four independent influential factors have been screened out: subdiaphragmatic free gas in the subphrenic space, free gas around stomach and duodenum, foreign body crossing the intestine and associated with bowel obstruction. At the same time, a scoring model has been constructed by nomographic model. That is to say, a C-index of nomographic model = 0.830, Bootstrap self-sampling internal verification and correction C-index = 0.661. **Conclusion:** The nomographic model based on subdiaphragmatic free gas in the subphrenic space, free gas around stomach and duodenum, foreign body crossing the intestine and associated with bowel obstruction has certain value in predicting the location of the perforation site of digestive tract.

Keywords

Gastrointestinal Perforation, Multi-Slice Spiral CT, Nomogram, Site of Perforation

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

消化道穿孔是临床常见的急腹症，由于其发病危急，进展迅速，患者穿孔后容易诱发弥漫性腹膜炎，严重者可危及生命。临床的诊断主要依据影像学检查，早期准确定性、定位诊断对控制病情，减少并发症及手术方案的选择尤为重要[1]-[4]。CT技术的发展，特别是MSCT的应用，为此提供了诊断和鉴别诊断的可靠技术支持。本研究回顾性分析经手术证实的267例消化道穿孔患者的CT影像表现，并重点探讨MSCT影像征象联合临床特征对消化道穿孔的定位诊断价值。

2. 资料和方法

2.1. 临床资料

本研究为横断面研究，经伦理委员会批准，所有患者/受试者免除知情同意。回顾性分析2019年

5月至2024年4月在安庆市立医院接受诊治的267例消化道穿孔患者的临床及影像资料,其中200例男性患者,67例女性患者,182例上消化道穿孔患者中胃穿孔69例,十二指肠穿孔113例;85例下消化道穿孔患者中小肠穿孔39例,直、结肠穿孔46例,年龄范围16岁至93岁,平均年龄(61.58 ± 18.012)。

纳入标准:(1)均为手术证实、明确穿孔部位的消化道穿孔病例;(2)术前均行一次屏气后腹盆腔容积轴位平扫检查;(3)CT检查与手术间隔时间小于24小时。

排除标准:(1)术前有胃肠道相关肿瘤病史;(2)术前行有创性治疗、检查;(3)排除阑尾穿孔;(4)因腹痛配合不佳,图像伪影患者;(5)资料不全。

2.2. 检查方法

采用GE64排或东软64排螺旋CT机,所有患者均采用仰卧轴位容积扫描,扫描范围自膈顶至耻骨联合水平。急诊患者扫描前均未作任何胃肠道准备、未采用静脉注射、未口服造影剂。所有患者均在平静呼吸下一次屏住呼吸完成扫描,扫描参数:层厚5 mm,层间距5 mm,管电压120 KV,管电流250 mAs,螺距0.938,球管转速0.75 s/转,矩阵 512×512 ,扫描结束后进行层厚1 mm,层间距0.5 mm薄层重建,图像传至PACS工作站,进行多平面MPR分析。

2.3. 变量选择与定义标准

以屈氏韧带为界,分为上、下消化道穿孔两组。上消化道穿孔组包括胃、十二指肠穿孔;下消化道穿孔组包括空肠、回肠、升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠和直肠的穿孔[5]。因阑尾的穿孔出现腹腔游离气体的概率不高,并且坏疽穿孔的阑尾很难精准测量其穿孔直径[5],故剔除阑尾穿孔病例。

由2名影像科主治医师及以上医师在不知晓手术结果的情况下,独立回顾性阅片,意见不一致时协商到一致为止。记录患者年龄、性别及腹痛时间,观察MSCT征象包括腹腔内/腹膜外游离气体的分布、胃肠壁局限性增厚、腹腔积气、腹腔积液(积血)、胃肠壁连续性中断、腹膜炎、异物征、肠梗阻征象。

2.4. 统计学处理

使用SPSS 22.0、python 3.9、R 4.4.1软件进行统计学分析。若计量资料不符合正态分布,用M(Q1, Q3)表示,两组间比较用两个独立样本非参数检验;若计量资料符合正态分布,用均数 $\pm$ 标准差进行描述统计,采用独立样本t检验进行组间对比分析;分类变量采用频数进行描述统计,采用卡方检验进行组间对比分析;纳入单因素分析中($P < 0.05$)的指标,利用最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)回归进一步筛选预测穿孔部位的独立危险因素,并构建列线图模型,绘制训练集与验证集ROC曲线,以曲线下面积评估模型预测效能,同时绘制DCA(决策曲线)。

3. 结果

3.1. 上消化道穿孔与下消化道穿孔之间一般临床资料评估的结果

267例消化道穿孔患者,其中200例男性患者,67例女性患者,男性患者明显多于女性患者。182例上消化道穿孔患者中胃穿孔69例,十二指肠穿孔113例;85例下消化道穿孔患者中小肠穿孔39例,直、结肠穿孔46例;年龄范围16岁至93岁,平均年龄(61.58 ± 18.012)。穿孔部位与患者年龄具有统计学意义($P < 0.001$),但只用患者年龄来预测穿孔部位是不准确的($|Z| = 4.477 \geq 3$),见表1。穿孔部位与穿孔大小无相关性($P > 0.05$),见表2。老年人在急性腹痛、亚急性腹痛、慢性腹痛没有统计学差异($P > 0.05$);中青年人大多以急性腹痛入院($P < 0.05$),见表3。

Table 1. Relationship between perforation sites and age
表 1. 穿孔部位与年龄的关系

穿孔部位	年龄(岁)	Z 值	P 值
上消化道穿孔	73 (61~78.5)	-4.477	<0.001
下消化道穿孔	60 (45.75~74)		

Table 2. Relationship between the perforation site and the size of the perforation confirmed by surgery
表 2. 手术证实穿孔部位与穿孔大小的关系

穿孔部位	穿孔大小(cm)	Z 值	P 值
上消化道穿孔	0.8 (0.5~1.0)	-1.046	0.296
下消化道穿孔	0.8 (0.5~2.0)		

Table 3. Relationship between abdominal pain duration and age
表 3. 腹痛时间与年龄的关系

年龄	急性腹痛	亚急性腹痛	慢性腹痛
中青年	93b	5a	10b
老年	99a	15a	45a

<60 岁为中青年；≥60 岁为老年；急性腹痛<24 小时；亚急性腹痛 24~72 小时；慢性腹痛>72 小时。

3.2. MSCT 各征象比较

3.2.1. MSCT 影像特征比较

腹腔内/腹膜外游离气体(膈下、肝门周围、小网膜囊、胃十二指肠周围、升结肠旁沟、降结肠旁沟、空回肠周围、腹腔内肠系膜区、腹膜后、盆腔)、腹腔积液(积血)、胃肠壁连续性中断、腹膜炎、异物征、肠梗阻征象($P < 0.05$)，见表 4。

Table 4. Comparison of MSCT imaging features affecting the perforation site
表 4. 影响穿孔部位的 MSCT 影像特征比较

MSCT 影像特征	上消化道(n = 182)	下消化道(n = 85)	统计值(t/χ^2)	P 值
腹腔内/腹膜外游离气体				
前腹壁剑突下(有/无)	62/120	20/65	3.023	0.082
膈下(有/无)	153/29	36/49	48.751	<0.001
镰状韧带周围(有/无)	71/111	25/60	2.318	0.128
肝门周围(有/无)	129/53	25/60	40.815	<0.001
小网膜囊(有/无)	119/63	18/67	45.325	<0.001
胃十二指肠周围(有/无)	125/57	17/68	55.148	<0.001
升结肠旁沟(有/无)	2/180	9/76	13.208	0.001
降结肠旁沟(有/无)	2/180	14/71	24.302	<0.001

续表

空回肠周围(有/无)	1/181	15/70	30.066	<0.001
腹腔内肠系膜区(有/无)	1/181	26/59	57.516	<0.001
腹膜后(有/无)	0/182	8/77	17.659	<0.001
阑尾周围(有/无)	0/182	2/83	4.315	0.101
盆腔(有/无)	0/182	20/65	46.291	<0.001
胃肠壁局限性增厚(有/无)	110/72	61/24	3.227	0.072
腹腔积液(积血)(有/无)	103/79	37/48	3.965	0.046
胃肠壁连续性中断(有/无)	11/171	19/66	15.452	<0.001
腹膜炎(有/无)	102/80	69/16	15.853	<0.001
异物征(有/无)	2/180	22/63	43.502	<0.001
肠梗阻征象(有/无)	6/176	20/65	26.985	<0.001

3.2.2. 列线图模型构建并验证其预测消化道穿孔部位的概率

采用 LASSO 回归对单因素分析中差异有统计学意义的指标进行进一步筛选, 见表 5, 结果显示腹腔内游离气体位于膈下(OR = 1.619, 95%CI: -0.032~0.995, P = 0.066)、胃十二指肠周围(OR = 2.317, 95%CI: 0.203~1.477, P = 0.010)及异物征(OR = 0.555, 95%CI: -1.072~-0.105, P = 0.017)、肠梗阻征象(OR = 0.394, 95%CI: -1.374~-0.488, P < 0.001)是预测消化道穿孔部位的独立影响因素, 典型病例见图 1~3。根据筛选的独立影响因素构建 Nomogram 评分模型, 见图 4。运用拟合优度检验验证模型的有效性($\chi^2 = 1.928$, 自由度为 8, P = 0.983 > 0.05), 并采用 Bootstrap 自抽样法内部验证模型的预测效果, 采用内部验证, 训练集 70%, 验证集 30%, C-index = 0.830, 校正 C-index = 0.661。

Table 5. LASSO regression analysis results

表 5. LASSO 回归分析结果

危险因素	OR 值	95%CI	P 值
腹腔内/腹膜外游离气体			
膈下	1.619	-0.032~0.995	0.046
胃十二指肠周围	2.317	0.203~1.477	0.010
降结肠旁沟	0.825	-0.987~0.601	0.634
空回肠周围	0.556	-1.355~0.180	0.133
腹腔内肠系膜区	0.509	-1.737~0.385	0.212
盆腔	0.021	-445.758~438.075	0.986
异物征	0.555	-1.072~-0.105	0.017
肠梗阻征象	0.394	-1.374~-0.488	<0.001

预测消化道穿孔部位的列线图评分模型的训练集验证集 ROC 曲线见图 5, 校准曲线见图 6, 决策曲线见图 7, Brier 评分为 0.137, 95%CI: 0.7485~0.8476, 准确值为 0.8015, 灵敏度为 41.18%, 特异度为 98.35%, 训练集曲线下面积为 0.831, 测试集曲线下面积为 0.832。

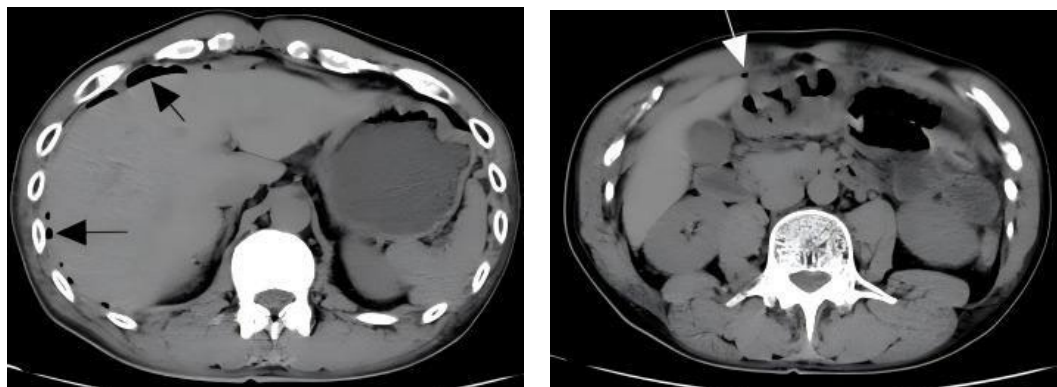


Figure 1. Male, 40 years old, perforation of the anterior wall of the stomach. (a) Shows free gas under the diaphragm (black arrow); (b) Shows free small bubbles near the anterior wall of the stomach (white arrow)

图 1. 男性, 40 岁, 胃体前壁穿孔。(a) 见膈下游离气体(黑箭); (b) 在胃体前壁旁见游离小气泡(白箭)

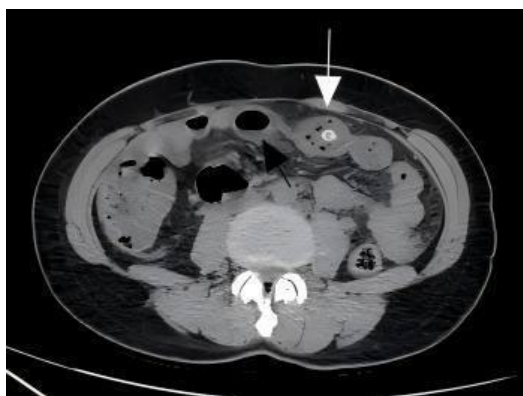


Figure 2. Male, 59 years old, perforation of the small intestine, with signs of intestinal obstruction (black arrow) and foreign body (white arrow)

图 2. 男性, 59 岁, 小肠穿孔, 见肠梗阻征象(黑箭)、异物征(白箭)



Figure 3. Female, 45 years old, perforation of the small intestine, with a foreign body traversing the small intestine, and small bubbles around the rupture (white arrow)

图 3. 女性, 45 岁, 小肠穿孔, 见异物横穿小肠, 破口周围见小气泡(白箭)

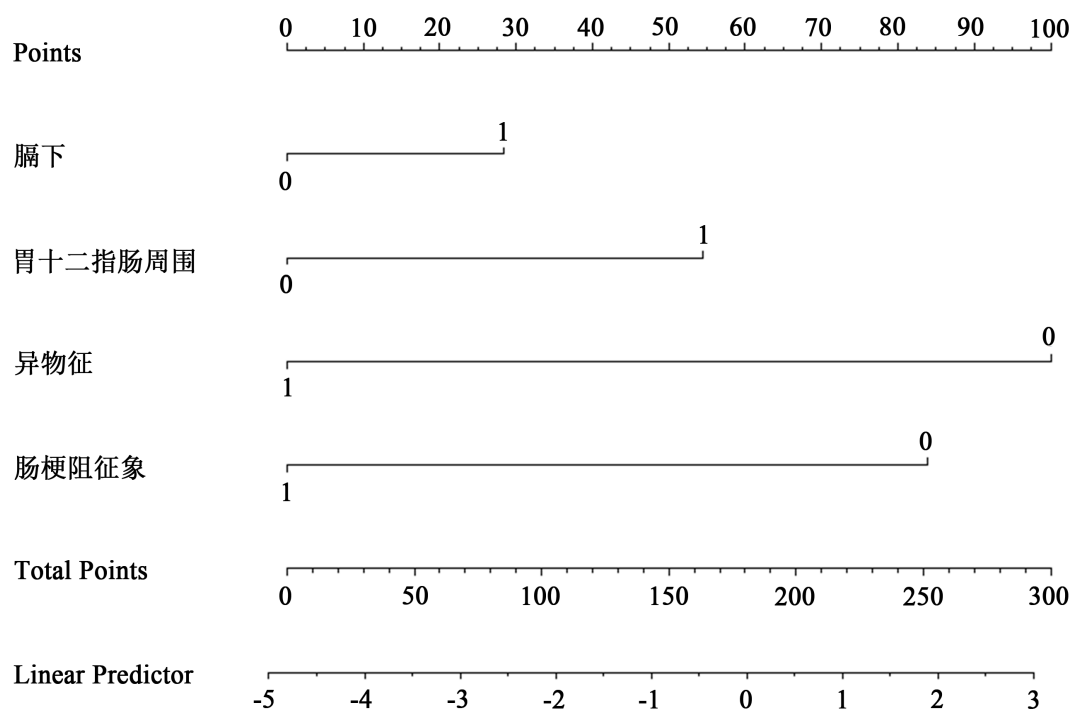


Figure 4. Linear graph model of gastrointestinal perforation sites
图 4. 消化道穿孔部位列线图模型

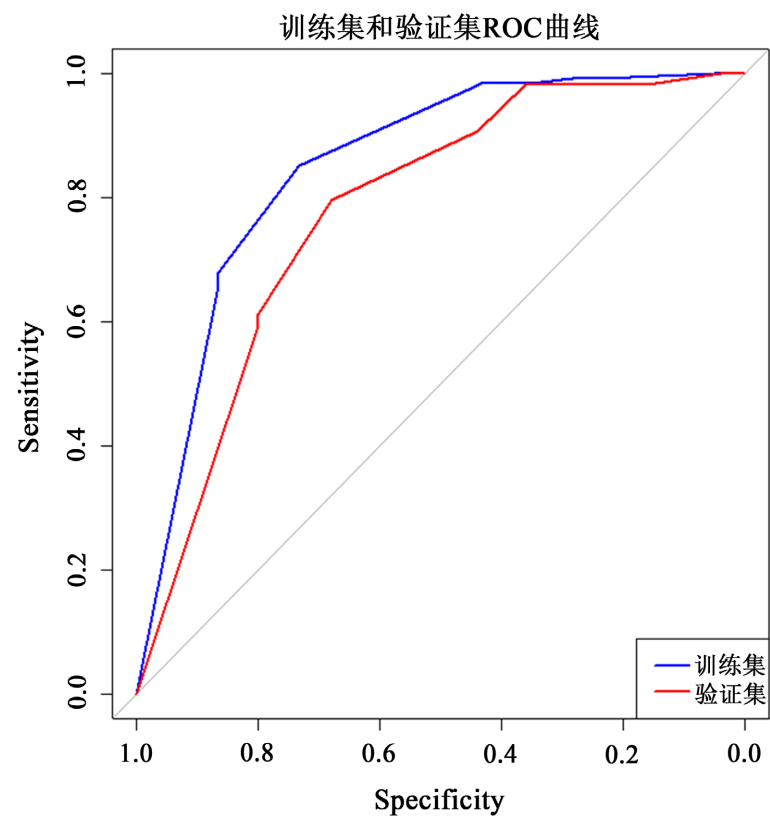
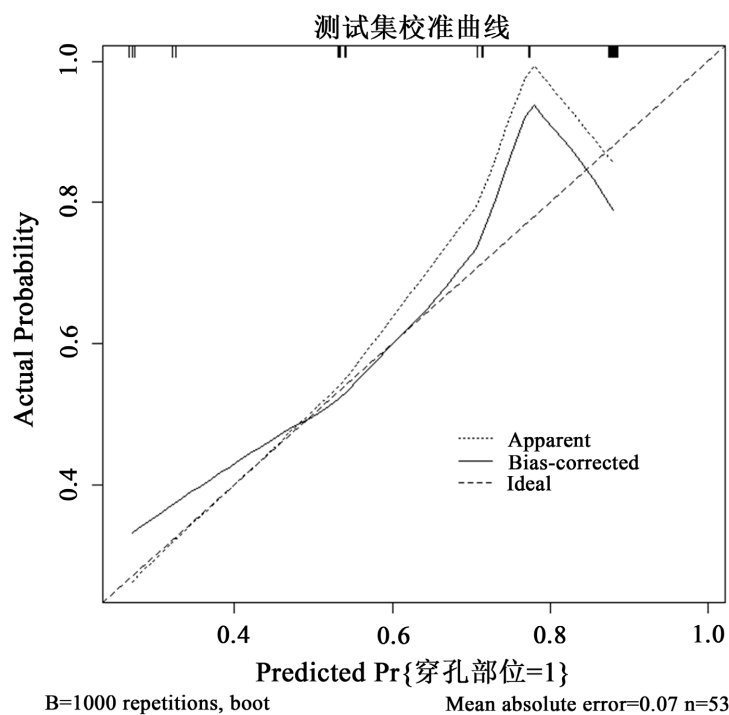


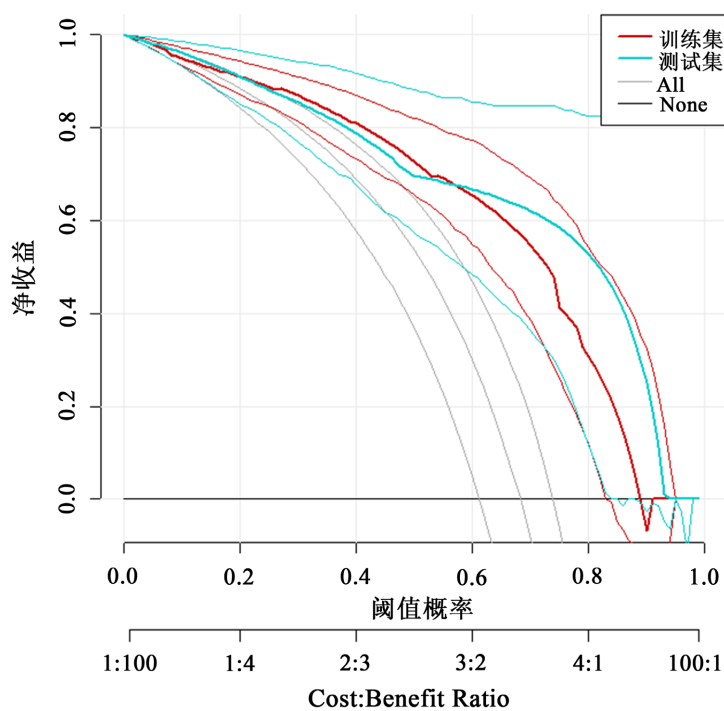
Figure 5. ROC curve of training set and validation set
图 5. 训练集与验证集 ROC 曲线



曲线越贴近标准曲线，说明预测能力更好。

Figure 6. Calibration curve of the linear scoring model for gastrointestinal perforation sites

图 6. 消化道穿孔部位的列线图评分模型的校准曲线



包含中位数曲线：代表决策曲线的预期值；下限曲线：代表决策曲线 95%置信区间的下限；上限曲线：代表决策曲线 95%置信区间的上限。

Figure 7 Decision curve of the linear scoring model for gastrointestinal perforation sites

图 7. 消化道穿孔部位的列线图评分模型决策曲线

4. 讨论

4.1. 临床及 MSCT 征象区分消化道穿孔的效能

消化道穿孔是临床常见的急腹症之一，术前精准判断穿孔部位对手术方案的制定有不可忽视的意义[1]-[4]。消化道穿孔患者男性明显多于女性，可能是由于生活方式的影响。上消化道穿孔往往以消化性溃疡为主要危险因素，而下消化道穿孔往往由于异物(鱼刺、枣核等)穿孔造成。我们通过观察腹腔内/腹膜外游离气体的分布、胃肠壁局限性增厚、胃肠壁连续性中断、腹膜炎、异物征、肠梗阻征象[6]，来预测穿孔的部位。腹腔内游离气体的分布受解剖结构的限制，存在一定的规律。MSCT 结合相应的窗宽、窗位能更加有效的显示少量游离气体。胃肠壁局限性增厚往往是由于炎性病变导致肠壁水肿、增厚，管壁周围脂肪间隙模糊，渗出物越多越易于观察。胃肠壁连续性中断，我们可直接观察到破口的位置，但一般很难观察到。消化道穿孔患者一般都是急诊入院，未进行消化道准备，未口服阳性造影剂，故而对对比剂外溢这一征象很难显示。异物征我们往往可以观察到横穿肠管的异物，临近肠管水肿，周围见游离小气泡影。肠梗阻患者，由于空肠、回肠肠腔内含气量较少且肠系膜具有阻隔作用，游离气体分布一般相对局限，有利于定位诊断[4]。

4.2. 列线图预测消化道穿孔部位的效能

基于膈下游离气体、胃十二指肠周围游离气体、异物征和肠梗阻征象构建的列线图模型能有效预测消化道穿孔部位，其准确值为 0.8015，灵敏度为 41.18%，特异度为 98.35%。本研究显示出较高的预测准确性和很好的效能，相对于既往用单一影像特征来预测消化道穿孔，列线图模型结合多个影像特征，使得诊断更加全面、准确，见表 6。通过构建列线图模型，提供了一致更为直观、易用的方法来预测消化道穿孔的部位。将模型嵌入现有诊疗流程，可减少不必要的影像学复查或手术探查，明显缩短定位消化道穿孔部位的时间，进而降低继发性腹膜炎发生率，从而改善患者的预后。

Table 6. Comparison of performance between single image feature model and clinical nomographic model

表 6. 单影像特征模型与列线图模型效能对比

模型	C-index	Brier 评分	准确值	灵敏度	特异度
膈下游离气体	0.709	0.177	0.757	84.1%	57.6%
胃十二指肠周围游离气体	0.743	0.172	0.723	68.7%	80%
异物征	0.624	0.182	0.757	98.9%	25.9%
肠梗阻征象	0.601	0.195	0.734	96.7%	23.5%
列线图	0.830	0.137	0.8015	41.18%	98.35%

4.3. 局限性及展望

本研究仍有不足：第一，患者选择没有考虑地区差异，消化道穿孔好发于男性，是否存在地域差异尚未可知；第二，本研究属于单中心回顾性研究，选择偏倚无法避免，有待于多中心研究。尽管本研究缺乏外部验证，本研究通过严格控制排纳标准和影像特征标准化提取(由 2 名影像科主治医师及以上医师在不知晓手术结果的情况下，独立回顾性阅片，意见不一致时协商到一致为止)，最大程度控制了内部偏倚。第三，模型的 C-index 虽然达到了 0.830，但在 Bootstrap 内部验证校正后下降至 0.661，提示模型的过拟合风险较高，预测性能不够稳定，有待于扩大样本量进一步验证。第四，患者均未进行增强 CT 检查，CT

增强检查对消化道穿孔的定位价值有一定帮助,但是急诊多数患者未能及时增强,有待于下一步研究。第五,急诊患者扫描前均未作任何胃肠道准备、未口服造影剂,因而无法观察到造影剂外溢这一消化道穿孔的直接征象。未来的研究将扩大样本量,对模型进行大样本训练及外部验证,提高模型的泛化能力,为急诊消化道患者手术方式的选择提供理论指导。

致 谢

衷心感谢导师宫希军教授在课题设计、实验实施及论文撰写过程中的悉心指导与无私帮助。导师以严谨的治学态度、渊博的专业知识与前瞻性的学术视野为笔者指明方向,其言传身教不仅助力本研究顺利完成,更引领笔者步入学术研究新境界。同时,特此感谢所有为本研究给予转载和引用权的文献、研究思想和设想的所有者。最后,谨向参与论文评审及提出宝贵意见的专家致以诚挚的谢意。

基金项目

安徽省高校科研计划项目(2023AH053162)。

参考文献

- [1] Lee, N.K., Kim, S., Hong, S.B., *et al.* (2020) CT Diagnosis of Non-Traumatic Gastrointestinal Perforation: An Emphasis on the Causes. *Japanese Journal of Radiology*, **38**, 101-111. <https://doi.org/10.1007/s11604-019-00910-7>
- [2] 谢福荣, 李艳萍, 杨登法, 等. 自发性结肠穿孔的螺旋 CT 表现[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(7): 1122-1124.
- [3] 汪红梅, 朱玉春, 朱广辉, 等. 多层螺旋 CT 腹腔游离气体分布对消化道穿孔的定位诊断价值[J]. 蚌埠医学院学报, 2014, 39(10): 1406-1408.
- [4] 李波, 彭婕, 王朋, 等. 多层螺旋 CT 薄层扫描在消化道穿孔定位诊断中的价值[J]. 胃肠病学和肝病学杂志, 2018, 27(8): 900-904, 908.
- [5] 梁永杰, 陈新华, 梁延锐, 等. 多层螺旋 CT 腹腔游离气体五分法对急性消化道穿孔部位和大小的诊断价值[J]. 中华胃肠外科杂志, 2024, 27(3): 268-273.
- [6] 焦利灼, 谢福荣, 庄远迪, 等. 腹腔游离气体阴性乙状结肠穿孔的 CT 诊断[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(10): 1546-1548, 1552.