基于CT影像学评估的颌面颈部间隙感染并发症预测模型及临床应用

侯大为，苟学立，边勤疆，刘瑞敏

甘肃省人民医院 口腔颌面外科，甘肃 兰州 730000

摘要：目的 构建并验证一个结合计算机断层扫描影像特征与临床指标的预测模型，用于早期评估颌面颈部间隙感染患者发生严重并发症的风险。**方法** 回顾性纳入2022年6月—2024年6月于甘肃省人民医院口腔颌面外科收治的96例颌面颈部间隙感染患者。收集患者的影像学资料（包括由于感染累及的间隙数量、病灶体积、强化特征等）与临床指标（包括年龄、糖尿病史、C反应蛋白、白细胞计数）。比较并发症组与非并发症组患者各项指标的差异。将单因素分析中差异具有统计学意义的变量纳入多因素Logistic回归分析，筛选独立危险因素并构建预测模型。采用受试者操作特征曲线及曲线下面积评估模型的区分效能。**结果** 并发症组患者在年龄、糖尿病患病率、C反应蛋白、白细胞计数、多间隙感染比例、感染灶体积、病灶强化程度，以及影像学上气体生成与液气平面出现的比例等方面，均显著高于非并发症组。多因素Logistic回归分析显示，年龄、合并糖尿病、C反应蛋白升高、白细胞计数升高、多间隙感染、感染体积增大，以及病灶强化是并发症发生的独立危险因素。**结论** 整合计算机断层扫描影像特征与临床指标的预测模型，有助于早期识别颌面颈部间隙感染中易发生并发症的高危患者。

关键词：感染；多间隙；预测模型；糖尿病；Logistic回归分析；风险评估；预后

中图分类号：R782.3；R816.98 **文献标识码：**A DOI：10.13885/j.issn.2097-681X.M20250127

A prediction model and its clinical application for complications of maxillofacial and cervical space infections based on CT imaging assessment

HOU Dawei, GOU Xueli, BIAN Qinjiang, LIU Ruimin

Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Gansu Provincial People's Hospital, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective To establish and validate a predictive model that combines computed tomography imaging features and clinical indicators for the early assessment of the risk of severe complications in patients with maxillofacial and deep neck space infections. **Methods** This study retrospectively enrolled 96 patients with maxillofacial and deep neck space infections admitted to The Department of Oral and Maxillofacial Surgery at Gansu Provincial Hospital between June 2022 and June 2024. Imaging data (including the number of involved spaces, lesion volume, and enhancement characteristics) and clinical indicators (such as age, history of diabetes, C-reactive protein, and white blood cell count) were collected and analyzed. The differences in various indicators between the complication group and the non-complication group were compared. Variables with statistical significance in univariate analysis were included in a multivariate Logistic regression analysis to screen for independent risk factors and construct the predictive model. The discriminatory performance of the model was evaluated using the receiver operating characteristic curve and the area under the curve.

收稿日期：2025-02-11 **修回日期：**2025-02-27 **接受日期：**2026-01-21

基金项目：甘肃省自然科学基金资助项目（26JRRA736）；兰州市科技计划资助项目（2020-ZD-30）

作者简介：侯大为，男，副主任医师，研究方向为口腔颌面头颈肿瘤，e-mail:455646631@qq.com；
刘瑞敏，女，主任医师，研究方向为口腔颌面头颈肿瘤，e-mail:13919259097@139.com，通信作者

Results Patients in the complication group showed significantly higher values than those in the non-complication group in terms of age, prevalence of diabetes, C-reactive protein, white blood cell count, proportion of multi-space infections, lesion volume, degree of lesion enhancement, and the proportion of cases with gas formation and air-fluid levels on imaging. Multivariate Logistic regression analysis identified advanced age, comorbid diabetes, elevated C-reactive protein, elevated white blood cell count, multi-space infection, larger infection volume, and marked lesion enhancement as independent risk factors for complications. **Conclusion** The predictive model integrating computed tomography imaging features and clinical indicators can help identify high-risk patients prone to complications in the early stage of maxillofacial and deep neck space infections.

Keywords: infection; multi-space; predictive model; diabetes mellitus; Logistic regression analysis; risk assessment;prognosis

颌面颈部间隙感染是一种常见且潜在危及生命的感染性疾病，其解剖位置复杂，病变容易累及多个间隙并迅速扩散，导致一系列严重并发症，如气道阻塞、纵隔炎及败血症等[1-2]。由于该病发展过程复杂、进展迅速，传统临床评估方法在预测并发症发生方面存在明显局限性。因此探索一种客观、准确且易于应用的并发症预测方法，已成为临床研究的热点。

计算机断层扫描（computed tomography, CT）作为一种高分辨率影像技术，因其能够清晰地显示感染范围、解剖间隙结构和炎性改变，已被广泛应用于颌面颈部感染的诊断和治疗中。研究[3-4]表明，CT影像学特征包括感染范围、气体生成、液气平面等与病程严重程度密切相关，提示其在预测并发症方面具有潜在价值。目前关于如何系统性地提取和利用CT影像学特征以构建并发症风险预测模型的研究仍然不足，尤其缺乏将影像学特征与统计学或机器学习模型相结合的全面分析。

本研究旨在基于CT影像学数据，构建并验证一种颌面颈部间隙感染并发症的预测模型，为临床医生提供早期预警和决策支持，进而优化患者管理策略并改善临床结局。

1 资料来源与方法

1.1 研究对象

本研究为一项单中心回顾性研究，收集2022年6月—2024年6月在甘肃省人民医院口腔颌面外科接受治疗的颌面颈部间隙感染患者共96例。研究对象均为首次确诊且未经其他机构治疗的患者，均进行了CT影像学检查和临床随访记录。

纳入标准：（1）年龄≥18岁；（2）经临床和影像学检查确诊为颌面颈部间隙感染；（3）具有完整的CT影像数据和临床诊治记录；（4）具备并发症发生情况的明确记录。排除标准：（1）患者存在严重的颌面部先天性或外伤性解剖异常；（2）数据缺失或影像质量不符合分析要求；（3）并发其他系统性感染例如肺炎或腹腔感染等[5-6]；（4）随访时间不足或未完成随访。

最终筛选出96例患者，男性57例，女性39例，年龄22～76岁，平均年龄（45.2±13.7）岁。根据是否发生并发症（包括气道阻塞、败血症或纵隔炎等）分为并发症组（n=41）和非并发症组（n=55）。

1.2 质量控制

采用的研究方法主要涵盖临床资料采集、影像特征分析、并发症分组策略以及预测性建模。临床资料来源于电子病历系统的患者基础信息项，涵盖性别、年龄、既往病史等与实验室检测数值（包括白细胞计数、C反应蛋白被系统性提取），并发症发生状况。完成入院流程后，全部研究对象均接受CT扫描检查，影像资料由两名具有高级职称的放射科医师独立操作判读。基于随访记录数据与最终诊断结论，研究人群被划分为并发症组与非并发症组两个亚组，并发症由包括需要气管切开的气道阻塞、纵隔感染、败血症或其他感染征象构成。

CT影像的特征解析工作，采用双盲评估机制由两位高年资放射科医师完成，重点提取以下量化指标：感染灶分布范围（涉及单间隙或多间隙状态判定、病灶体积测算值）、特定解剖间隙受累

情况包括颌下、咬肌、翼颌、颞下、咽旁间隙等结构的累及、炎症相关改变特征（包括气体形成迹象、液气平面存在与否、骨组织破坏程度，以及感染扩散至颈鞘、纵隔等重要部位）。

预测模型的开发过程，是通过机器学习技术框架包括随机森林算法与Logistic回归方法作为代表性工具，将上述影像学参数与实验室指标进行整合分析[5]。

1.3 检测指标

患者基本信息：包括年龄、性别、既往基础疾病（如糖尿病）等。

记录患者住院期间并发症发生情况，判定标准：（1）存在气道阻塞者（需气管切开术判定为阳性）；（2）纵隔炎症（经CT或磁共振成像确诊）；（3）败血症（参照国际Sepsis-3诊断规范），三条标准出现任意一条即判断为出现并发症。

影像学参数：感染区域体积值（运用三维重建技术测量，计量单位为cm^3），间隙分布状态（划分为单间隙与多间隙两种类型），强化表现特征（通过增强扫描获取病灶强化模式，以HU为计量单位），气体生成现象（分为存在与不存在两种情况），液气平面出现与否亦被纳入观察。

临床实验室指标：白细胞计数、C反应蛋白、血清乳酸水平。

1.4 统计学处理

所有数据采用SPSS 27.0和Python Scikit-learn库进行统计分析和建模。计量资料用平均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较采用t检验；计数资料用例数和百分比[n（%）]表示，组间比较采用卡方检验或Fisher精确检验。将单因素分析的变量纳入多因素Logistic回归分析并发症发生风险的独立影响因素。将96例患者按照7∶3比例采用随机分层抽样方法划分为训练集（n=67）和验证集（n=29），分层因素为是否发生并发症，以保证两组并发症比例一致。在训练集中建立多因素Logistic回归模型，筛选独立危险因素并构建风险预测模型。通过绘制受试者操作特征曲线并计算曲线下面积评价模型区分能力；采用Hosmer-Lemeshow检验及校准曲线评估预测概率与实际发生率的一致性；在验证集中再次计算曲线下面积、敏感性和特异性以评估模型稳定性。以P<0.05表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者临床资料比较

并发症组和非并发症组患者在年龄、性别比例、糖尿病、C反应蛋白、白细胞计数、多间隙感染、感染体积、病灶强化类型、气体生成比例和液气平面存在比例等指标方面的均差异有统计学意义（P<0.05）。见表1～3。

2.2 感染并发症的影响因素分析

以是否发生并发症为因变量（非并发症=0，并发症=1）；以年龄（岁，原始值）、糖尿病（否=0，是=1）、多间隙感染（否=0，是=1）、C反应蛋白（原始值）、白细胞计数（原始值）、感染体积、病灶强化类型为自变量进行多因素logistic回归，分析结果表明，年龄、糖尿病、C反应蛋白、

表1　两组患者临床资料指标比较

组别	年龄/岁	（男/女）/例	糖尿病[n（%）]	C反应蛋白/（$mg\cdot L^{-1}$）	白细胞计数/（$\times10^9\cdot L^{-1}$）
非并发症组（n=55）	45.1±12.3	30/25	8（14.5）	12.3±4.2	9.6±2.1
并发症组（n=41）	50.6±14.1	31/10	13（31.7）	45.8±10.7	15.3±3.5
t/χ^2值	−2.035	4.499	4.048	−21.164	−9.926
P值	0.045	0.034	0.044	<0.001	<0.001

表2　两组患者影像学指标比较

组别	多间隙感染[n（%）]	感染体积/cm^3	病灶强化类型/HU	气体生成[n（%）]	液气平面存在[n（%）]
非并发症组（n=55）	13（23.6）	4.2±1.3	55.3±10.4	5（9.1）	7（12.7）
并发症组（n=41）	25（61.0）	8.7±2.4	70.6±15.2	14（34.1）	19（46.3）
t/χ^2值	13.694	−11.79	−5.854	9.289	13.440
P值	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001

表3 不同影像学特征患者并发症和住院时间分析

影像学特征		并发症发生率/%	住院时间/d
感染体积	>6 cm^3	78.2[a]	16.5±4.1[a]
	≤6 cm^3	23.6	9.3±2.1
病灶强化类型	增强	66.6[a]	15.2±3.8[a]
	正常	21.6	10.1±2.6
气体生成	阳性	73.7[a]	18.2±5.4[a]
	阴性	47.4	11.4±3.2
液气平面	阳性	73.1[a]	17.6±4.2[a]
	阴性	36.6	9.2±2.3

a 与另一类别比较P≤0.05。

白细胞计数、多间隙感染、感染体积和病灶强化类型为并发症的独立危险因素，结果见表4。

2.3 训练集与验证集基线特征比较

本研究共纳入96例患者，其中训练集67例（并发症组29例，非并发症组38例），验证集29例（并发症组12例，非并发症组17例）。

两组在年龄、性别比例、糖尿病比例、C反应蛋白、白细胞计数等指标方面差异均无统计学意义（P>0.05），提示随机分组均衡性良好。

表4 并发症感染的多因素回归分析

变量	B值	$S.E$值	Wald χ^2值	P值	OR值	95% CI
年龄	0.058	0.006	93.444	<0.001	1.060	[1.047，1.072]
糖尿病	1.012	0.101	100.396	<0.001	2.751	[2.257，3.353]
C反应蛋白	0.140	0.014	100.000	<0.001	1.150	[1.119，1.182]
白细胞计数	0.223	0.022	102.746	<0.001	1.250	[1.197，1.305]
多间隙感染	1.504	0.150	100.534	<0.001	4.500	[3.353，6.038]
感染体积	0.351	0.035	100.572	<0.001	1.420	[1.326，1.521]
病灶强化类型	0.165	0.017	94.204	<0.001	1.179	[1.141，1.219]

2.4 受试者操作特征（receiver operator characteristic，ROC）曲线分析

经Hosmer-Lemeshow检验χ^2=7.593，P=0.648，拟合优度良好。ROC曲线分析显示，在训练集中构建的Logistic回归模型经Hosmer-Lemeshow检验χ^2=6.821，P=0.742，提示模型拟合良好。训练集受试者操作特征曲线分析显示曲线下面积为0.82（95% CI:[0.72，0.91]），敏感性为78.6%，特异性为80.2%。在验证集中进行内部验证，曲线下面积为0.74（95% CI:[0.61，0.87]），敏感性为75.0%，特异性为76.5%，模型区分能力稳定。校准曲线显示预测概率与实际发生率基本一致，P<0.001，模型预测效力中等（图1）。

根据Youden指数最大原则确定最佳截断值为0.43，在该阈值下模型预测性能：灵敏度为78.0%，特异度为72.7%，准确率为75.0%，阳性预测值为69.6%，阴性预测值为80.4%，Youden指数为0.507。进一步绘制校准曲线（图2），结果显示预测概率曲线与理想45°参考线基本贴合，提示模型预测概率与实际并发症发生率之间一致性良好，未见明显系统性偏倚。

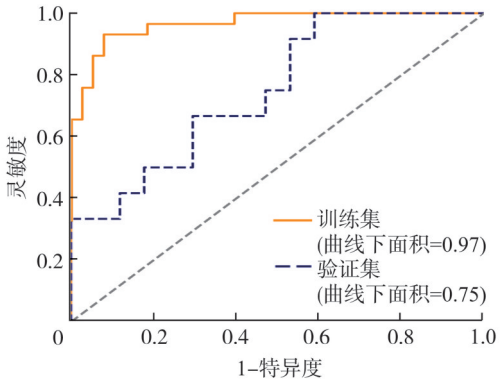

图1 Logistic回归模型预测并发症的受试者操作特征曲线

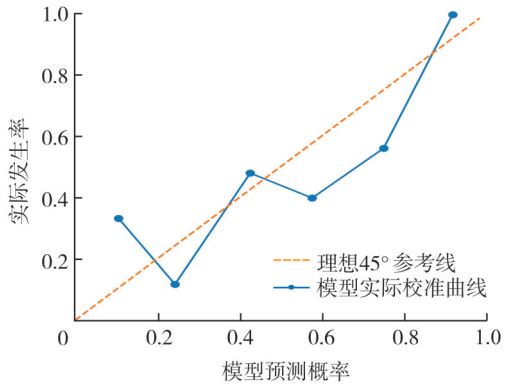

图2 Logistic回归模型预测并发症的校准曲线

3　讨论

颌面颈部间隙感染在临床中呈现较高发生率，尤其易见于老年群体及糖尿病患者等特殊人群[6-7]，具有扩散速度快、多间隙侵袭性强以及并发多器官功能障碍等特点[8]。研究[9-10]显示，重症感染易出现气道梗阻、纵隔炎症反应和全身性败血症等严重并发症，其发生概率为30%～50%。

临床对于严重并发症的预测，目前主要依赖于医师经验性判断结合实验室检测指标[11-12]。实践证明这些传统方法对重症感染病例的识别效能存在明显局限性，早期干预时机的延误由此产生。

本研究以CT影像学技术为工具，结合临床实验室检测指标，致力于开发具有客观性和高效性的并发症预测模型体系[13]。传统评估方法存在的局限性由此得到弥补，颌面颈部间隙感染患者的诊疗工作获得新的技术支撑点和理论框架。

在并发症组中，糖尿病患者比例明显偏高，这一结果与以往研究[14]类似。高血糖状态与炎症负荷、多间隙累及之间的关联已在重症感染人群中得到提示，且与更高的白细胞计数与C反应蛋白水平相伴随[15]。细菌增殖的促进和组织修复的延迟现象在高血糖环境下更为突出，这些变化共同导致感染扩散风险加剧[16]。所以在接诊环节中对慢性病史特别是糖尿病史的详细询问具有重要临床价值。针对此类特殊患者群体，血糖调控策略的优化与早期监测强度的提升成为必要干预手段。

感染早期C反应蛋白浓度的上升直接反映全身炎症反应的活动程度[17]。在颌面颈部多间隙感染中，C反应蛋白、中性粒细胞/淋巴细胞、白细胞计数等指标与住院时长、重症监护室需求、二次手术或术后并发症等结局呈显著关联[18]，可用于风险分层与预测建模。

影像学评估中多间隙累及、气道受压、颈部诸间隙扩散（咽旁、气管前间隙等）CT征象的识别对于治疗决策制定具有导向作用，包括手术时机的选择及气管切开的准备等方面[19-20]。病灶体积参数的比较显示并发症组的测量值明显偏大，累及范围的扩大直接提升了关键解剖结构受损的可能性，阻塞性窒息和感染性休克的发生风险随之增长。病灶体积的精确测量为临床分级评估提供了客观量化依据，强化值在并发症组的病灶区域表现显著，该参数变化可能源于炎症区域血流动力学改变及病理性血管新生过程，这些改变，标志着感染活动的活跃状态及其对深层组织的侵袭特性强化类型的差异，为影像学判断提供了可视化且可量化的评价，其统计学意义证实了影像学技术在感染性质判别中的关键地位。

综上所述，该模型在颌面颈部多间隙感染中的预警作用在本研究中获得证实，未来需要多中心数据的深度学习，以保证模型的通用性和准确性，以及进一步简化临床决策过程。

伦理声明　甘肃省人民医院医学伦理委员会审核批准（批件编号：2026-090）。

利益冲突声明　本研究不存在研究者、伦理委员会成员、受试者监护人以及与公开研究成果有关的利益冲突。

作者贡献声明　侯大为：提出研究方向、撰写和修订论文；苟学立：文献调研及收集数据、边勤疆：整理分析数据、绘制图表；刘瑞敏：协调研究进程、审核论文并参与论文修订。

参 考 文 献

[1] WANG P H, HUANG Y L, LONG J. A five-year retrospective study of 746 cases with maxillofacial space infection in western China[J]. Infection and drug resistance, 2022, 15: 5099-5110.

[2] ESHGHPOUR M, SABOURI M, LABAFCHI A, et al. Maxillofacial infections: a 5-year assessment of the epidemiology and etiology in an Iranian population[J]. Journal of maxillofacial and oral surgery, 2024, 23(6): 1470-1477.

[3] 宋巧，严佳，周韧，等. 基于气道三维CT重建筛选颌面部间隙感染患者困难气道的预测指标[J]. 上海交通大学学报(医学版)，2020，40(9)：1263-1269.

[4] Zhang L, Wang Q, Li J, et al. The role of infection volume and enhancement pattern on contrast-enhanced CT in assessing the severity of deep neck infections[J]. European Journal of Radiology, 2020, 129: 109089.

[5] WEI L S, OSMAN S, HATT M, et al. Machine learning for radiomics-based multimodality and multiparametric modeling[J]. The quarterly journal of nuclear medicine and molecular imaging, 2019, 63(4): 323-338.

[6] 张银银，朱岩岩，丁嘉慧，等. 144例口腔颌面部间隙感染并发症及入ICU监护的危险因素分析[J]. 中国口腔颌面外科杂志，2024，22(2)：148-152.

[7] 陈鹏,刘冰,魏博,等. 老年口腔颌面颈部多间隙感染的诊治分析[J]. 中华老年口腔医学杂志,2021,19(3):145-148.

[8] 孙静,徐亿普,田宝莹,等. 糖尿病并发颌面颈部间隙感染患者临床资料的回顾性分析[J]. 兰州大学学报(医学版),2015,41(5):49-52.

[9] 代天国,徐波,冉红兵,等. 攀西地区115例重症口腔颌面颈部多间隙感染临床回顾性分析[J]. 实用口腔医学杂志,2023,39(2):260-263.

[10] 华文哲,李娜,岳海泉,等. 改良封闭负压引流术在口腔颌面部感染中的临床应用[J]. 兰州大学学报(医学版),2014,40(3):12-16.

[11] GAO W X, LIN Y, YUE H J, et al. Bacteriological analysis based on disease severity and clinical characteristics in patients with deep neck space abscess[J]. BMC infectious diseases,2022,22:280.

[12] 李惠玲,李生梅,程丽东,等. 口腔颌面部间隙感染病原学及其影响因素[J]. 中华医院感染学杂志,2022,32(8):1180-1184.

[13] CAPRIOLI S,TAGLIAFICO A,FIANNACCA M,et al. Imaging assessment of deep neck spaces infections:an anatomical approach[J]. La radiologia Medica,2023,128(1):81-92.

[14] FURUHOLM J, RAUTAPORRAS N, UITTAMO J, et al. Health status in patients hospitalised for severe odontogenic infections[J]. Acta odontologica scandinavica,2021,79(6):436-442.

[15] LIAO T I,HO C Y,CHIN S C,et al. Sequential impact of diabetes mellitus on deep neck infections:comparison of the clinical characteristics of patients with and without diabetes mellitus[J]. Healthcare,2024,12(14):1383.

[16] 张银银,郑纪伟,朱岩岩,等. IL-6 IL-10 WBC/LYM在口腔颌面部间隙感染患者中的表达差异及临床价值[J]. 安徽医学,2024,45(9):1094-1099.

[17] KOÇ R H, ABAKAY M A, SAYN İ. Determining the prognostic value of CRP and neutrophil lymphocyte ratio in patients hospitalized for deep neck infection[J]. Brazilian journal of otorhinolaryngology,2024,90(6):101492.

[18] URECHESCU H,GHERAN-VIDA E,CUZIC C,et al. Inflammatory markers as predictors for prolonged duration of hospitalization in maxillofacial infections[J]. Journal of clinical medicine,2023,12(3):871.

[19] RAUTAPORRAS N,UITTAMO J,FURUHOLM J,et al. Deep odontogenic infections-Computed tomography imaging-based spreading routes and risk for airway obstruction[J]. Journal of stomatology,oral and maxillofacial surgery,2023,124(4):101424.

[20] CORP F,KHOLEIF S,PERVEZ B,et al. Deep neck infections:a single-centre analysis of 100 cases in the West of Scotland[J]. British journal of oral and maxillofacial surgery,2025,63(7):509-513.

(责任编辑:王春燕)