

本文引文格式:卢雪逢,韦茜,卜海峰,等.创伤性脊髓损伤后肺炎发生的预测模型构建和验证[J].右江民族医学院学报,2024,46(3):307-313,319.

【论著与临床报道】

创伤性脊髓损伤后肺炎发生的预测模型构建和验证

卢雪逢^{1,2}, 韦茜^{1,3}, 卜海峰¹, 陈艺凯¹, 陀思静¹, 叶小瑕¹, 巫艳岚¹, 苏义基¹

(1. 广西医科大学第一附属医院, 广西 南宁 530001;

2. 广西南宁市第二人民医院, 广西 南宁 530031;

3. 广西柳州市人民医院, 广西 柳州 545000)

摘要:目的 分析创伤性脊髓损伤(traumatic spinal cord injury, TSCI)患者发生肺炎的危险因素,构建 TSCI 患者肺炎发生的风险预测模型并验证。方法 本研究为单中心回顾性临床研究,收集 2016 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日在广西医科大学第一附属医院住院的 TSCI 患者的一般临床特征、实验室检查和影像学资料。采用 Logistic 回归筛选 TSCI 患者肺炎发生的危险因素,根据危险因素构建预测模型,并使用受试者工作特征曲线(ROC)、决策曲线分析(DCA)和校准曲线来验证模型性能。结果 本研究最终纳入 TSCI 患者共 469 例,删除资料不全的病例后最终纳入 459 例,按 7:3 比例随机分为训练集(322 例)和验证集(137 例)。其中,459 例患者中按是否发生肺炎分为肺炎组和非肺炎组,肺炎患者占 221 例(48.15%)。最终 Logistic 分析结果显示,完全性 SCI、发热、白细胞计数异常、白蛋白异常是 TSCI 患者发生肺炎的独立危险因素。训练集的曲线下面积(AUC)为 0.819,验证集为 0.774。结论 预测模型具有较好的预测能力。完全性 SCI、发热、白细胞计数、白蛋白可能是 TSCI 后肺炎的预测因素。

关键词:预测模型;列线图;脊髓损伤;肺炎

中图分类号:R826.64

文献标识码:A

文章编号:1001-5817(2024)03-0307-08

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2024.03.005

Developing and validating a Diagnostic Model for Predicting Pneumonia Risk Following Traumatic Spinal Cord Injury

LU Xuefeng^{1,2}, WEI Qian^{1,3}, BU Haifeng¹, CHEN Yikai¹,
TUO Sijing¹, YE Xiaoxia¹, WU Yanlan¹, SU Yiji¹

(1. The First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530001, Guangxi, China;

2. The Second Nanning People's Hospital, Nanning 530001, Guangxi, China;

3. Liuzhou People's Hospital, Liuzhou 545000, Guangxi, China)

Abstract: **Objective** The aim of this study was to analyze the risk factors for pneumonia in patients with traumatic spinal cord injury (TSCI) and construct and validate a predictive model for assessing the risk of pneumonia occurrence in TSCI patients. **Methods** This single-center retrospective clinical study included TSCI patients admitted to the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University between January 1, 2016, and December 31, 2020. Patient histories, clinical characteristics, laboratory test results, and imaging results are all recorded. Logistic regression analysis was employed to identify risk factors for pneumonia in TSCI patients. A predictive model was constructed based on these risk factors and validated using the receiver operating characteristic (ROC) curve, decision curve analysis (DCA), and calibration curve. **Results** A total of 469 TSCI

基金项目:国家自然科学基金项目(81960773);广西再生医学重点实验室开发项目(桂再重开;201705);广西卫健委自筹研究项目(Z20170565)

第一作者:卢雪逢,主治医生,研究方向:康复医学与理疗学,E-mail:674474923@qq.com

通讯作者:苏义基,博士,主任医师,硕士研究生导师,研究方向:康复医学与理疗学,E-mail:398274554@qq.com

patients were initially included, and after excluding cases with incomplete data, 459 patients were finally analyzed and randomly divided into a training set (322 cases) and a validation set (137 cases) at a 7 : 3 ratio. Among the 459 patients, 221 (48.15%) developed pneumonia. Final logistic regression analysis showed that complete spinal cord injury, fever, abnormal white blood cell count (WBC) and abnormal serum albumin levels were independent risk factors for pneumonia in TSCI patients. The area under the curve (AUC) for the training set was 0.819, and for the validation set, it was 0.774. **Conclusion** The developed prediction model demonstrated good predictive performance. Complete spinal cord injury, fever, WBC and serum albumin (ALB) levels may serve as predictive factors for pneumonia following TSCI.

Key words: prediction model; nomogram; traumatic spinal cord injury; pneumonia

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是常见的致残原因之一,消耗了大量的社会资源^[1]。SCI 的病因有两种:创伤性和非创伤性。创伤性脊髓损伤(traumatic spinal cord injury, TSCI)是由于外伤(机动车事故、运动、暴力、跌落、绊倒)导致脊髓结构和功能受损所引起的神经系统创伤性疾病^[2]。我国 TSCI 患病率约为 45.1/10 万,且呈逐年上升趋势^[3]。研究表明,肺炎是 SCI 患者最常见的呼吸系统并发症^[4],也是 SCI 患者最常见的死亡原因^[5-6]。呼吸系统并发症是 SCI 的主要并发症之一,现在人们对这一发现已达成了广泛的共识^[7]。有研究证实了 TSCI 患者更容易发生呼吸系统并发症和肺炎^[8-9]。肺部并发症可能导致患者死亡风险增加、住院时间延长^[10],生活质量下降、医疗费用增加和社会经济负担加重^[11]。因此,预防并发症的发生和早期合理的治疗可以降低 TSCI 患者早期的死亡率^[12]。列线图是一种可视化的临床预测模型,为临床决策提供了科学依据,具有良好的发展前景^[13];目前已有相关文献报道列线图预测模型用于 SCI 领域的临床研究^[14],这种新的统计方法可能成为今后 SCI 临床研究的常规策略。目前少有针对性研究 TSCI 肺炎的列线图临床风险预测模型的文献报道,因此,本研究主要探讨在 TSCI 后肺炎相关危险因素的基础上建立预测 TSCI 患者发生肺炎的预测模型,为临床制定干预方案提供科学参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2016 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日期间在广西医科大学第一附属医院住院收治的 TSCI 患者为研究对象。TSCI 患者的筛选流程如图 1 所示。

1.2 病例纳入与排除标准 ①根据患者的影像资料和临床资料,符合 TSCI 诊断标准的患者;②住院病历中有完整的肺炎关键信息,包括新发或晚期肺部浸润阴影的 X 线检查和以下 2 种或 2 种以上的临床症状:从气管排出脓性分泌物,白细胞计数升高或降低,体温 $>38^{\circ}\text{C}$ ^[15]。排除标准:①非 TSCI 患者;②病历信息不完整的患者。

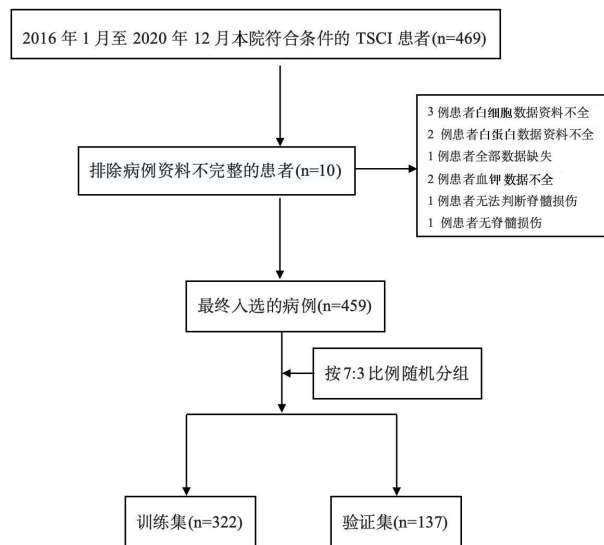


图 1 TSCI 患者的筛选流程图

1.3 临床资料收集 通过查阅电子病历的方式收集研究对象的临床资料,包括性别、损伤程度、吸烟史、发热、颅脑损伤、糖尿病、气管切开状态等一般临床资料和白细胞、白蛋白和血钾等实验室检查结果。

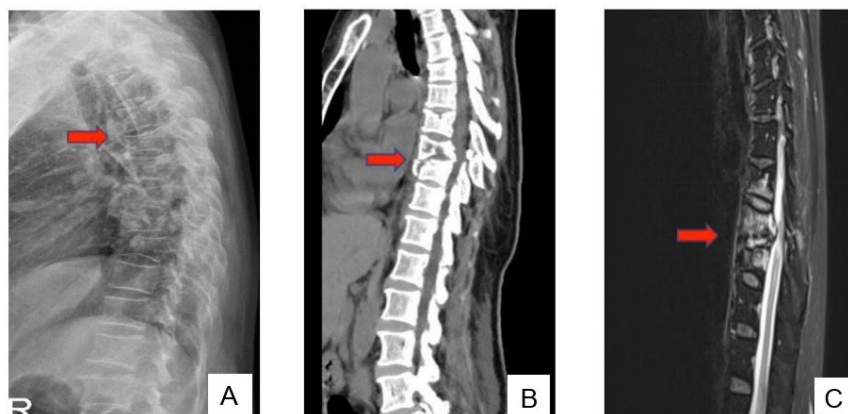
1.4 统计学方法 本研究按照 7 : 3 比例将数据随机划分为训练集和验证集。首先,对选定的变量进行单因素 Logistic 回归分析筛选出可能有意义的危险因素,然后应用最小绝对收缩和选择算子模型(LASSO)回归确定 TSCI 患者发生肺炎的模型参数,最后采用多因素 Logistic 回归分析确定独立危险因素,采用 R 语言(版本 4.3.1)并基于 glmnet, rms, rmda, ROCR, survival, Hmisc, lattice, Formula, ggplot2, broom, birthr, epiDisplay, pROC 和 SparseM 等软件包构建预测模型;使用受试者工作特征曲线(ROC)并计算曲线下面积(AUC)验证模型的临床应用价值,校准曲线验证模型的可靠性,决策曲线分析(DCA)验证模型的临床应用价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般资料 总共收集 469 例患者病例资料,排除资料不全的患者后,最终纳入 459 例,其中男性 350 例,女性 109 例,患者平均年龄 (48.01 ± 15.46)

岁。根据是否发生肺炎分为肺炎组(221 例)和非肺炎组(238 例),肺炎发生率为 48.15%。典型的 TSCI 病

例影像学资料如图 2 所示,箭头表示患者受伤部位的脊柱结构性损伤,脊髓信号异常。



注:A.侧位 X 线片,箭头指向胸 8 椎体骨折;B.矢状位计算机断层扫描(CT),箭头指向胸 8 椎体骨折;C.矢状位磁共振成像(MRI),箭头指向受伤的胸段脊髓。

图 2 典型的 TSCI 病例影像学资料

2.2 一般临床特征 基线数据分析显示肺炎组和对照组之间在吸烟、糖尿病、血钾水平方面对比差异无统计学意义($P > 0.05$),而两组在性别、完全性 SCI、发热、颅脑损伤、气管切开状态、白细胞和白蛋白方面比较差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

2.3 将训练集和验证集拆分后的临床特征 两组患者在性别、吸烟、完全性 SCI、发热、糖尿病、颅脑损伤、气管切开状态、白细胞、白蛋白、血钾水平各组之间差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。

2.4 TSCI 肺炎发生的 LASSO 回归分析 进一步对肺炎组和非肺炎组的所有可用指标进行 LASSO 回归分析,采用 LASSO 回归模型绘制二项方差(见图 3A),通过 LASSO 分析,筛选出完全性 SCI、发热、白细胞、白蛋白 4 个变量与肺炎发生相关。进一步使用 LASSO 回归模型绘制这 4 个特征的系数剖面图(见图 3B)。

2.5 多因素 Logistic 回归分析 将上述单因素回归分析结果有意义的变量纳入多因素 Logistic 回归分析中,结果显示,完全性 SCI、发热、白细胞计数异常、白蛋白异常是 TSCI 患者发生肺炎的独立危险因素($P < 0.05$, $OR > 1$),见表 3。

2.6 列线图预测模型构建 以训练集为对象,将多因素 Logistic 回归分析筛选出的影响因素作为预测因素,将患者发生肺炎作为终点事件,绘制 TSCI 患者肺炎的预测模型,见图 4。从列线图预测模型可直接读取患者各个预测因素所对应的概率值,各个预测因素对应概率之和就是该患者肺炎的风险概率值。从图中可以看出当患者总分达 200 分时,TSCI 后发生肺部感染的概率 $> 50\%$ 。

表 1 两组一般临床特征比较

项目	肺炎 ($n = 221$)	非肺炎 ($n = 238$)	χ^2	P
性别			4.801	0.028
男性	179(39.00)	171(37.25)		
女性	42(9.15)	67(14.60)		
吸烟			0.356	0.356
否	151(32.90)	173(37.69)		
是	70(15.25)	65(14.16)		
完全性 SCI			35.335	< 0.001
否	110(23.97)	183(39.87)		
是	111(24.18)	55(11.98)		
发热			106.640	< 0.001
否	46(10.02)	165(35.95)		
是	175(38.13)	73(15.90)		
糖尿病			0.000	1.000
否	211(45.97)	228(49.67)		
是	10(2.18)	10(2.18)		
颅脑损伤			15.363	< 0.001
否	174(37.91)	219(47.71)		
是	47(10.24)	19(4.14)		
气管切开状态			8.812	0.003
否	24(5.23)	8(1.74)		
是	197(42.92)	230(50.11)		
白细胞/ $(\times 10^9 \cdot L^{-1})$			56.727	< 0.001
3.5~9.5	36(7.84)	119(25.93)		
< 3.5 or > 9.5	185(40.30)	119(25.93)		
白蛋白/ $(g \cdot L^{-1})$			28.181	< 0.001
40~55	20(4.36)	68(14.81)		
< 40 or > 55	201(43.79)	170(37.04)		
血钾/ $(mmol \cdot L^{-1})$			1.705	0.192
3.5~5.3	201(43.79)	225(49.02)		
< 3.5 or > 5.3	20(4.36)	13(2.83)		

注:表内计数资料数据用[$n(\%)$]表示。

表 2 训练集与验证集一般资料比较

变量	总数 (n = 459)	训练集 (n = 322)	验证集 (n = 137)	χ^2	P
性别				0.369	0.544
男性	350 (76.25)	243 (75.47)	107 (78.10)		
女性	109 (23.75)	79 (24.53)	30 (21.90)		
吸烟史				0.924	0.336
否	324 (70.59)	223 (69.25)	101 (73.72)		
是	135 (29.41)	99 (30.75)	36 (26.28)		
完全性 SCI				0.292	0.589
否	293 (63.83)	203 (63.04)	90 (65.69)		
是	166 (36.17)	119 (36.96)	47 (34.31)		
发热				0.040	0.841
否	211 (45.97)	149 (46.27)	62 (45.26)		
是	248 (54.03)	173 (53.73)	75 (54.74)		
糖尿病				1.029	0.310
否	439 (95.64)	310 (96.27)	129 (94.16)		
是	20 (4.36)	12 (3.73)	8 (5.84)		
颅脑损伤				0.143	0.705
否	393 (85.62)	277 (86.02)	116 (84.67)		
是	66 (14.38)	45 (13.98)	21 (15.33)		
气管切开状态				0.962	0.327
否	427 (93.03)	302 (93.79)	125 (91.24)		
是	32 (6.97)	20 (6.21)	12 (8.76)		
白细胞/($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)				0.649	0.420
3.5~9.5	155 (33.77)	105 (32.61)	50 (36.50)		
<3.5 or >9.5	304 (66.23)	217 (67.39)	87 (63.50)		
白蛋白/($g \cdot L^{-1}$)				0.202	0.653
40~55	88 (19.17)	60 (18.63)	28 (20.44)		
<40 or >55	371 (80.83)	262 (81.37)	109 (79.56)		
血钾/($mmol \cdot L^{-1}$)				0.113	0.737
3.5~5.3	426 (92.81)	298 (92.55)	128 (93.43)		
<3.5 or >5.3	33 (7.19)	24 (7.45)	9 (6.57)		

注:表内计数资料数据用[$n(\%)$]表示。

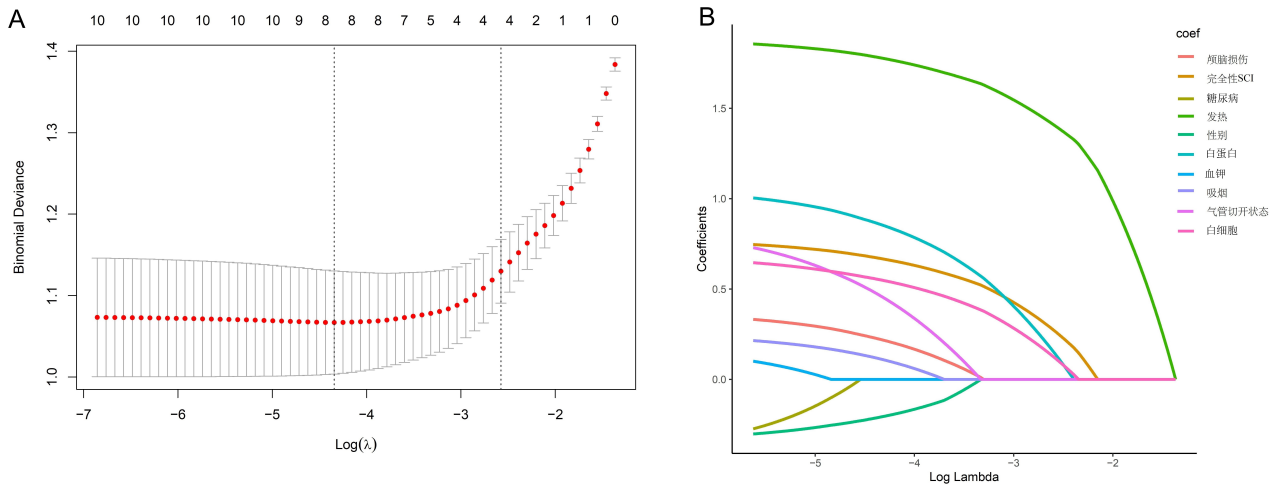


图 3 LASSO 回归分析

表 3 TSCI 肺炎发生的多因素 Logistic 回归分析

变量	<i>b</i>	SE	Wald χ^2	<i>P</i>	OR	95% CI
常数项	-3.014	0.459	43.040	<0.001	0.049	0.019~0.115
完全性 SCI	0.815	0.283	8.303	0.004	2.259	1.300~3.952
发热	1.933	0.285	46.108	<0.001	6.913	3.995~12.229
白细胞计数异常	0.711	0.316	5.058	0.025	2.035	1.097~3.804
白蛋白异常	1.134	0.398	8.120	0.004	3.107	1.456~6.996

2.7 列线图预测模型验证 以验证集为对象,对列线图预测模型进行内部验证,绘制该模型预测 TSCI 患者肺炎发生的 ROC 曲线、校准曲线和 DCA 曲线。在训练集中,列线图预测模型预测 TSCI 患者肺炎发生的 ROC 曲线下面积为 0.819(见图 5A),验证集为 0.774(见图 5B)。预测 TSCI 后肺炎风险预测模型的校准曲线如图 6 所示,对角虚线代表理想模型的完美预测,实线代表训练集(见图 6A)和验证集(见图 6B)的性能,结果显示越接近对角虚线则代表具有更好的预测能力。列线图预测模型具有明显的正向净收益,在预测 TSCI 患者肺炎发生的临床效用良好,见图 7。针对二分类逻辑回归模型,一致性指数即 C 指数等价于 ROC 曲线下面积(AUC),因此,计算出该预测模型的 C 指数为 0.819,结果表明该模型具有良好的预测能力。

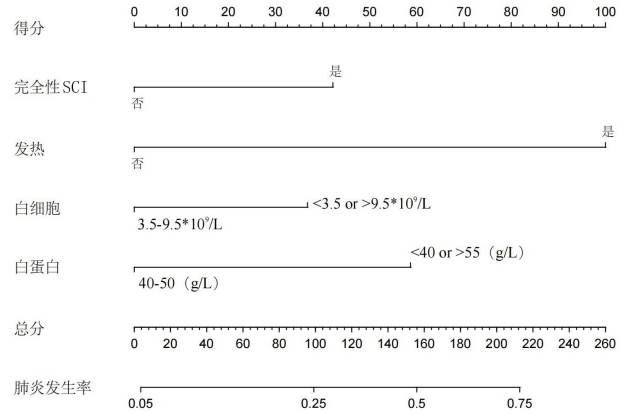
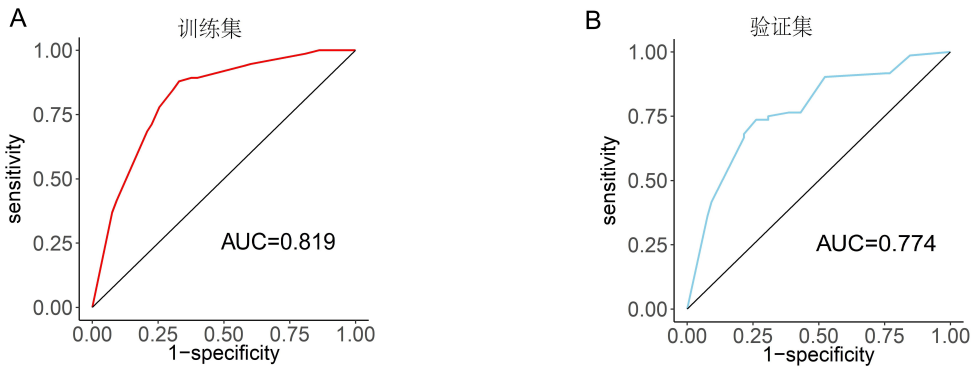
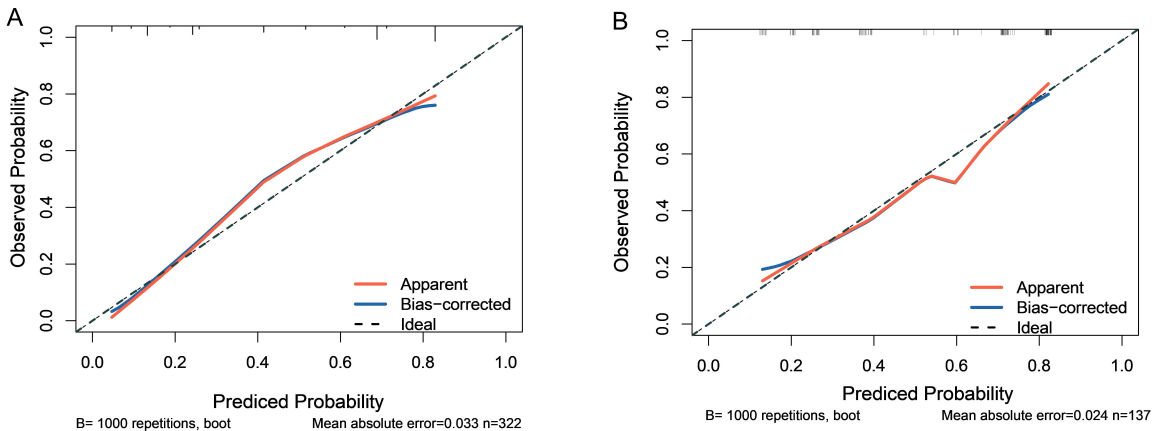


图 4 TSCI 患者肺炎发生的列线图预测模型



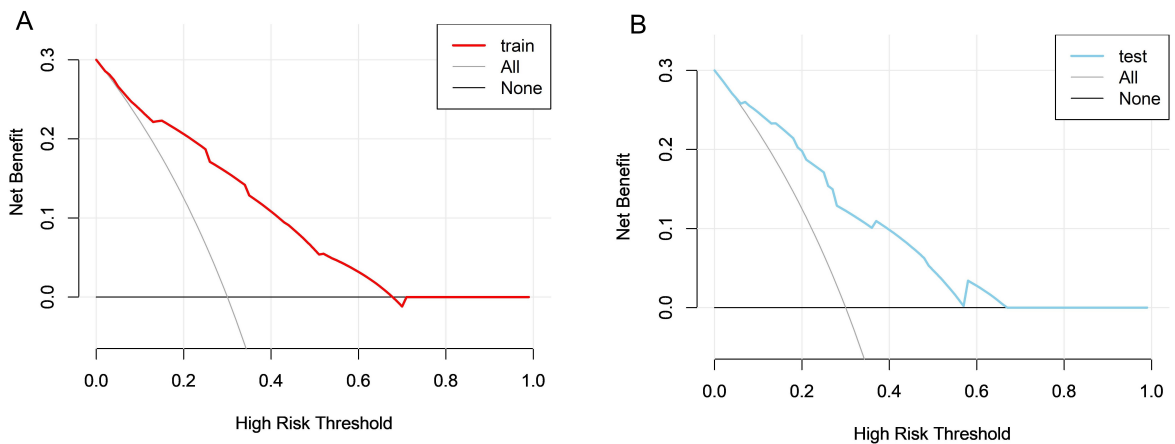
注:A. 训练集;B. 验证集。

图 5 列线图预测模型的 ROC 曲线



注:A. 训练集;B. 验证集。

图 6 列线图预测模型的校准曲线



注:A. 训练集;B. 验证集。

图 7 列线图预测模型的 DCA 曲线

3 讨论

肺炎是指包括终末气道、肺泡腔及肺间质在内的肺实质炎症,可由理化、免疫及药物引起,临床症状可表现为发热、咳嗽咳痰或胸闷胸痛等^[16]。本研究主要在多因素 Logistic 回归分析探讨 TSCI 肺炎发生的相关危险因素基础上建立预测 TSCI 患者肺炎发生的列线图预测模型,为临床制定干预方案提供科学参考。本研究单因素回归分析显示糖尿病和吸烟史与 TSCI 患者肺炎的发生无关,这与其他研究结果一致^[17]。但在该研究中单因素分析中发现,性别、完全性 SCI、发热、气管切开状态、颅脑损伤、白细胞计数异常和白蛋白异常是 TSCI 后肺炎的重要危险因素。

本研究回顾性分析了 TSCI 患者并发肺炎与未并发肺炎的差异,结果表明,男性和女性的肺炎发生率分别为 39.00% 和 9.15%,单因素分析发现男性患者 TSCI 后肺炎率发生高于女性患者,差异具有统计学意义,提示性别可能是 TSCI 后肺炎的危险因素。而在以往有关 TSCI 的研究中发现,性别未发现与创伤性颈髓损伤(TCSCI)患者肺部感染有关^[17-18],这与本研究不一致。这可能是由于先前的研究样本量有限,仅涉及 TCSCI,而本研究涵盖了所有损伤节段。根据第 5 版美国 SCI 协会(ASIA)的损伤分级标准,可分为完全性 SCI(ASIA 分级 A 级)和不完全性 SCI(ASIA 分级 B 级、C 级、D 级)。有多个研究已证实了完全性 SCI 是 TSCI 患者肺部感染的独立危险因素^[18-20]。在一项包括不完全损伤在内的 SCI 严重程度的多因素 Logistic 回归分析研究中,完全性 SCI 被证明是呼吸系统并发症的独立预测因子^[21]。SAMPOL J 等^[22]发表了一项关于 C5-T5SCI 患者呼吸系统并发症预测因素的研究,确定了既往呼吸系统疾病、完全运动功能障碍和胸部创伤共同为呼吸系统并发症的预测因素。也有研究表明,SCI 的程度越高,呼吸系统并发症的风险就越大^[23]。SCI 后经常出现发热,这是肺部感染的诊断标准之一^[24]。颈 SCI 后,体温调节中枢的调节功能

紊乱,易发生中枢性高热。据报道,高热被发现是婴幼儿严重细菌感染的显著预测因子^[25]。本研究亦发现发热是严重 TSCI 患者发生肺炎的重要预测因素。有研究发现,39.6% 的 TSCI 患者伴有创伤性脑损伤,但当从分析中剔除模棱两可的病例时,频率上升到 58.1%^[26],而肺部感染是重型颅脑损伤患者常见且严重的并发症^[27]。因此,本研究认为肺炎、TSCI 与颅脑损伤这三者之间存在一定的联系。本研究单因素结果显示气管切开状态可能是肺炎的影响因素。气管切开术是颈 SCI 患者常用治疗手段,由于它是一种侵入性手术,可能引起一些并发症,如气道狭窄、出血和感染,其中肺炎就是 SCI 患者气管切开术后的常见并发症之一。传统观点认为,气管切开后,空气不经过鼻咽直接进入气道,消除了提供空气过滤、加温和加湿的鼻腔通道的保护作用,从而破坏了身体的屏障,抑制了气道自身的防御;气管切开也为病毒和细菌进入下呼吸道创造了一个直接入口,而且气管套管的存在也会引起局部炎症反应,容易导致肺部感染^[19]。C3~C5 TSCI 患者的气管切开率很高(27%~75%)^[28],有研究表明气管切开是 SCI 术后医院内肺部感染的独立危险因素^[29]。也有观点认为,气管切开不利于降低患者肺部感染的发生率^[30],其原因可能与本研究气管切开状态患者样本量小有关。

白细胞计数是重要的炎症指标。研究表明,急性嗜中性粒细胞增多和嗜中性粒细胞-淋巴细胞比率增加与 SCI 患者呼吸道感染的表现显著相关^[31];刘俊林等^[18]通过多因素回归分析,最终发现了中性粒细胞与淋巴细胞之比是 TSCI 患者术后肺部感染的独立危险因素之一。因此,本研究认为白细胞计数水平监测对 TSCI 后肺部感染患者的临床研究具有重要意义。白蛋白水平在一定程度上反映了患者的营养状况,营养不良的患者,免疫功能下降,出现并发症的可能性也相应增加。此外,有研究报道低白蛋白血症不仅仅是营养不良的指标,也反映机体多种重要功能作用的缺失,

在呼吸系统表现为呼吸肌功能受损,导致患者咳嗽无力、排痰困难,从而增加肺部感染和其他呼吸系统并发症的风险^[32]。而全身炎症可增加毛细血管通透性和血清白蛋白逃逸,导致低白蛋白血症;因此,低白蛋白血症是由炎症状态引起的,是反映炎症严重程度的指标之一^[33]。综上所述,低白蛋白血症可能是 SCI 患者肺部感染的危险因素。本研究结果也证实了白蛋白水平异常是 TSCI 后肺炎的重要危险因素。

本研究有 2 个局限性。首先,本文属于单中心回顾性临床研究,在未来的研究中需要进行多中心数据验证。其次,本研究仅包含内部验证方法,所提出的预测模型需要在未来的研究中进行外部验证。

综上所述,完全性 SCI、发热、白细胞计数异常、白蛋白异常为 TSCI 肺炎的独立危险因素,基于上述危险因素构建预测模型可为每个患者提供个体化预测,且经内部验证表明该模型具有良好的区分度、准确度和临床实用价值,有助于临床早期筛查高风险人群及制定个体化治疗方案。

参考文献:

[1] VAN DEN HAUWE L, SUNDGREN P C, FLANDERS A E. Spinal trauma and spinal cord injury (SCI) [M/OL]//HODLER J, KUBIK-HUCH R A, VON SCHULTHESS G K. Diseases of the brain, head and neck, spine 2020-2023; diagnostic imaging. Cham (CH), 2020; 231-240. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32119229>

[2] KIM H S, LIM K B, KIM J, et al. Epidemiology of spinal cord injury: changes to its cause amid aging population, a single center study[J]. *Ann Rehabil Med*, 2021, 45(1): 7-15.

[3] 方芳, 张社敏, 戴志强, 等. 基于 Logistic-Nomogram 构建创伤性脊髓损伤预后预测模型[J]. *广西医科大学学报*, 2023, 40(9): 1508-1514.

[4] WANG Z M, ZOU P, YANG J S, et al. Epidemiological characteristics of spinal cord injury in Northwest China: a single hospital-based study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 214.

[5] KRIZ J, SEDIVA K, MALY M. Causes of death after spinal cord injury in the Czech Republic[J]. *Spinal Cord*, 2021, 59(7): 814-820.

[6] CHEN C D, QIAO X, LIU W, et al. Epidemiology of spinal cord injury in China: a systematic review of the Chinese and English literature[J]. *Spinal Cord*, 2022, 60(12): 1050-1061.

[7] DU J P, HAO D J, HE B R, et al. Epidemiological characteristics of traumatic spinal cord injury in Xi'an, China [J]. *Spinal Cord*, 2021, 59(7): 804-813.

[8] KRAUSE J S, CAO Y, DEVIVO M J, et al. Risk and protective factors for cause-specific mortality after spinal cord injury[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2016, 97(10): 1669-1678.

[9] BERLOWITZ D J, WADSWORTH B, ROSS J. Respiratory problems and management in people with spinal cord injury[J]. *Breathe (Sheff)*, 2016, 12(4): 328-340.

[10] SWEIS R, BILLER J. Systemic complications of spinal cord injury[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2017, 17(2): 8.

[11] RAAB A M, BRINKHOF M W G, BERLOWITZ D J, et al. Respiratory function and respiratory complications in spinal cord injury: protocol for a prospective, multicentre cohort study in high-income countries[J]. *BMJ Open*, 2020, 10(11): e038204.

[12] MIRZAEVA L, LOBZIN S, TCINZERLING N, et al. Complications and mortality after acute traumatic spinal cord injury in Saint Petersburg, Russia[J]. *Spinal Cord*, 2020, 58(9): 970-979.

[13] WANG X X, LU J L, SONG Z X, et al. From past to future: bibliometric analysis of global research productivity on nomogram (2000-2021) [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 997713.

[14] XIE Y F, WANG Y Y, ZHOU Y, et al. A nomogram for predicting acute respiratory failure after cervical traumatic spinal cord injury based on admission clinical findings[J]. *Neurocrit Care*, 2022, 36(2): 421-433.

[15] YANG L L, XU X L, LIU Q Q. Establishment of a risk prediction model for pulmonary infection in patients with advanced cancer[J]. *Appl Bionics Biomech*, 2022, 2022: 6149884.

[16] 张玉. 老年髋部骨折术后肺部感染风险模型的研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2022.

[17] YANG X X, HUANG Z Q, LI Z H, et al. Risk factors and the surgery affection of respiratory complication and its mortality after acute traumatic cervical spinal cord injury[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(36): e7887.

[18] 刘俊林. 创伤性颈脊髓损伤患者术后肺部感染的危险因素分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.

[19] LV Q, ZHANG X L, GUO K C, et al. Risk factors for pulmonary infection and nursing interventions post-tracheostomy in patients with spinal cord injury[J]. *Infect Drug Resist*, 2023, 16: 6691-6701.

[20] 康君伟, 帅浪, 全莉娟, 等. 颈部脊髓损伤急性期肺部感染危险因素[J]. *中国感染控制杂志*, 2021, 20(10): 916-920.

[21] BRANCO B C, PLURAD D, GREEN D J, et al. Incidence and clinical predictors for tracheostomy after cervical spinal cord injury: a national trauma databank review[J]. *J Trauma*, 2011, 70(1): 111-115.

[22] SAMPOL J, GONZÁLEZ-VIEJÓ M A, GOMEZ A, et al. Predictors of respiratory complications in patients with C5-T5 spinal cord injuries[J]. *Spinal Cord*, 2020, 58(12): 1249-1254.

的现状与展望[J]. 中国生物医学工程学报, 2022, 41(4): 473-484.

- [5] BERCHIOLLI R, BERTAGNA G, ADAMI D, et al. Peripheral interventional strategy assessment (pisa) for diabetic foot ulcer revascularization: preliminary outcomes of a multidisciplinary pilot study[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(18): 2879.
- [6] TYRRELL D J, BLIN M G, SONG J, et al. Age-associated mitochondrial dysfunction accelerates atherogenesis [J]. *Circulation Research*, 2020, 126(3): 298-314.
- [7] 曾晓敏. 糖尿病肾病患者血小板活化状态与微炎症因子及肾血流的关系探究[J]. *中国医学创新*, 2022, 19(17): 42-46.
- [8] LANE K J, ABUSMAAN M S, VOSS B F, et al. Glycemic control and diabetic foot ulcer outcomes: a systematic review and meta-analysis of observational studies [J]. *J Diabetes Complications*, 2020, 34(10): 107638.
- [9] 张丽, 杨晓春, 刘静雯, 等. 中老年 2 型糖尿病患者并发糖尿病足的危险因素分析及防控健康教育[J]. *护理实践与研究*, 2020, 17(20): 14-16.
- [10] SALUJA S, ANDERSON S G, HAMBLETON I, et al. Foot ulceration and its association with mortality in diabetes mellitus: a meta-analysis [J]. *Diabet Med*, 2020, 37

(2): 211-218.

- [11] 方旭光, 邵小娟, 马卫国, 等. 葡萄糖在目标范围内时间与糖尿病足的相关性研究[J]. *中华糖尿病杂志*, 2022, 14(7): 650-655.
- [12] KERSTING J, KAMPER L, DAS M. Guideline-oriented therapy of lower extremity peripheral artery disease (PAD)-current data and perspectives[J]. *Rofo*, 2019, 191(4): 311-322.
- [13] BEN HAMMAMIA M, BEN MRAD M, DAOUD Z, et al. Predictive factors of amputation after iliac angioplasty in patients with severe artery disease[J]. *Ann Cardiol Angeiol*, 2020, 69(3): 133-138.
- [14] LOWRY D, VITALIS A, AI SHAKARCHI J, et al. An extension of the bollinger scoring system to analyse the distribution of macrovascular disease of the lower limb in diabetes[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2021, 61(2): 280-286.
- [15] WEISSLER E H, NARCISSE D I, RYMER J A, et al. Characteristics and outcomes of patients with diabetes mellitus undergoing peripheral vascular intervention for infrainguinal symptomatic peripheral artery disease[J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2021, 55(2): 124-134.

收稿日期: 2023-12-07; 修回日期: 2024-01-10

(上接第 313 页)

- [23] JENSEN V N, ALILAIN W J, CRONE S A. Role of propriospinal neurons in control of respiratory muscles and recovery of breathing following injury [J]. *Front Syst Neurosci*, 2019, 13: 84.
- [25] NOMURA O, IHARA T, SAKAKIBARA H, et al. Predicting serious bacterial infection in febrile young infants utilizing body temperature[J]. *Pediatr Int*, 2019, 61(5): 449-452.
- [26] BUDISIN B, BRADBURY C C, SHARMA B, et al. Traumatic brain injury in spinal cord injury: frequency and risk factors[J]. *J Head Trauma Rehabil*, 2016, 31(4): E33-42.
- [27] ZHANG X L, ZHOU H, SHEN H Y, et al. Pulmonary infection in traumatic brain injury patients undergoing tracheostomy: predictors and nursing care [J]. *BMC Pulm Med*, 2022, 22(1): 130.
- [28] YU W K, CHEN Y C, CHEN W C, et al. Influencing factors for tracheostomy in patients with acute traumatic C3-C5 spinal cord injury and acute respiratory failure [J]. *J Chin Med Assoc*, 2022, 85(2): 167-174.

- [29] LI M P, LIU W C, WU J B, et al. Machine learning for the prediction of postoperative nosocomial pulmonary infection in patients with spinal cord injury[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(11): 3825-3835.
- [30] CHOI H J, PAENG S H, KIM S T, et al. The effectiveness of early tracheostomy (within at least 10 Days) in cervical spinal cord injury patients[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2013, 54(3): 220-224.
- [31] JOGIA T, LUBSTORF T, JACOBSON E, et al. Prognostic value of early leukocyte fluctuations for recovery from traumatic spinal cord injury[J]. *Clin Transl Med*, 2021, 11(1): e272.
- [32] CHEN Y, SHAO J, ZHU W, et al. Identification of risk factors for respiratory complications in upper cervical spinal injured patients with neurological impairment[J]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2013, 47(2): 111-117.
- [33] SOETERS P B, WOLFE R R, SHENKIN A. Hypoalbuminemia: pathogenesis and clinical significance[J]. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2019, 43(2): 181-193.

收稿日期: 2024-01-22; 修回日期: 2024-03-01