

临床论著

急性创伤性颈髓损伤患者气管切开预测模型

侯云飞, 吕 扬, 周 方, 田 耘, 姬洪全, 张志山, 郭 琰

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

【摘要】目的:通过易获得的急性创伤性颈髓损伤患者床旁资料建立气管切开预测模型,探讨用其预测颈髓损伤患者气管切开的可行性。**方法:**回顾性分析我院收治的 345 例急性创伤性颈脊髓损伤患者临床数据。采集其中 219 例患者人口学资料,是否行气管切开,既往系统性疾病史(除肺病外)、既往肺病史、吸烟史、治疗过程中是否出现呼吸系统并发症,入院时 ASIA 运动评分、神经损伤节段、ASIA 分级、合并伤情况,是否存在颈椎骨折脱位,术前颈椎 MRI 显示的颈髓信号改变长度及最高病变节段、椎管最大侵占率、脊髓最大受压率、是否出现髓内出血。分别应用多元逻辑回归分析和分类回归树分析建立气管切开的逻辑回归模型和决策树模型。利用交叉验证方法应用另外 126 例患者资料对两模型进行外部验证,应用敏感性、特异性、预测准确率及 ROC 曲线下面积评估两模型预测能力。**结果:**345 例患者中,58 例行气管切开。决策树模型显示:入院时 ASIA 运动评分 ≤ 1 分的患者气管切开率为 66.7%;ASIA 运动评分 ≤ 22 分且出现呼吸系统并发症患者气管切开率为 69.0%;入院时 ASIA 运动评分 ≥ 23 分、不完全颈髓损伤、术前 MRI 显示髓内信号改变最高节段位于 C3 或以下的患者气管切开率为 0.8%。逻辑回归模型显示的独立预测因素包括 ASIA 运动评分 ≤ 22 分,ASIA A 级或 B 级损伤及治疗过程中出现呼吸系统并发症。决策树模型和逻辑回归模型在敏感性、特异性、预测准确率、ROC 曲线下面积的比较分别为 73.7% vs 81.8%、89.7% vs 86.4%、87.3% vs 85.7%及 0.909 vs 0.889。**结论:**决策树模型可用于进行气管切开的预测,入院时 ASIA 运动评分 ≤ 22 分、ASIA A 级颈髓损伤、治疗过程中出现呼吸系统并发症及术前颈椎 MRI 显示髓内信号改变的最高节段位于 C2 或以上为患者气管切开的独立预测因素。

【关键词】 颈脊髓损伤;气管切开;预测模型

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2015.02.09

中图分类号:R683.2 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2015)-02-0148-10

Predictive model of tracheostomy in acute traumatic cervical spinal cord injury/HOU Yunfei, LÜ Yang, ZHOU Fang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2015, 25(2): 148-157

【Abstract】 Objectives: To develop a risk prediction model for tracheostomy in acute traumatic cervical spinal cord injury (SCI) patients by using accessible data obtained from the bedside. **Methods:** Clinical and radiological data of 345 patients with acute traumatic cervical spinal cord injury were retrospectively reviewed. The information about patients' demographics, tracheostomy placement, pre-existing medical comorbidities (except for lung diseases), pre-existing pulmonary diseases, smoking history, presence of respiratory complications during treatment, admission ASIA motor score(AAMS), neurological level of impairment(NLI), ASIA grade, associated injuries, presence of cervical fracture and/or dislocations was gathered. The preoperative magnetic resonance imaging(MRI) was checked to determine the highest signal change(HSC) level in the spinal cord, lesion length, maximum spinal cord compression(MSCC), maximum canal compromise(MCC) and the presence of intramedullary haemorrhage. The multiple logistic regression(MLR) analysis and classification and regression tree (CART) analysis were used to develop the prediction models. Cross-validation was used to conduct an external validation in order to assess the prediction performance of both models, using parameters of sensitivity, specificity, overall correction rate and area under receiver operating characteristic curve. **Results:** Among 345 patients, 58 patients underwent tracheostomy. The CART model suggested that the incidences of tracheostomy

第一作者简介:男(1989-),住院医师,医学博士,研究方向:脊柱脊髓损伤

电话:(010)82267388 E-mail:huyf@bjmu.edu.cn

共同第一作者:吕扬 E-mail:lv@bjmu.edu.cn

通讯作者:周方 E-mail:zhof@bjmu.edu.cn

for patients with AAMS ≤ 1 and patients with AAMS ≤ 22 who suffered from respiratory complications during hospitalization and patients with AAMS ≥ 23 , suffering from incomplete SCI, whose HSC was at C3 or lower was 66.7%, 69.0% and 0.8% respectively. The MLR model suggested that the independent risk factors included AAMS ≤ 22 , ASIA grade A or B and respiratory complications during treatment. The comparison on sensitivity, specificity, overall correction rate and area under receiver operating characteristic curve between the CART model and the MLR model was 73.7% vs 81.8%, 89.7% vs 86.4%, 87.3% vs 85.7% and 0.909 vs 0.889 respectively. **Conclusions:** The CART model is preferred in prediction. AAMS ≤ 22 , ASIA grade A, respiratory complications during hospitalization and HSC at C2 or higher are considered independent risk factors of tracheostomy for patients with traumatic cervical SCI patients.

【Key words】 Cervical spinal cord injury; Tracheostomy; Prediction model

【Author's address】 Orthopedic Department Trauma Division, Peking University Third Hospital, Beijing, 100191, China

创伤性颈脊髓损伤病情重,致死率、致残率均较高^[1],呼吸系统并发症是该病最主要的早期死因^[1]。包括机械通气、气管插管、气管切开等诸多气道管理方式对严重颈髓损伤患者尤为必要^[2]。若某一患者机械通气时间达到或预计将达到 2 周时,医师应给予患者气管切开的操作^[3]。早期气管切开可减少颈髓损伤患者机械通气时间及在重症监护病房治疗的天数^[4,5],而这需要医师对气管切开的必要性进行早期预测(如在患者机械通气开始之日起 3d 之内即作出气管切开的决策),其预测指标至今存在较大争议^[3]。之前的两组学者^[6,7]主张应用肺功能检查的结果连同其他临床指标(如颈脊髓损伤 ASIA 分级、患者咳痰量等因素)预测颈髓损伤患者气管切开的必要性。他们均应用分类回归树方法^[8]得到预测模型,模型可以给出某一患者气管切开的确切概率及临床决策示意图,直观、易于理解及临床使用。但是一些损伤较重的患者无法完成肺功能检查^[9],影响了两个模型在临床的广泛应用。我们认为可以根据更易获得的因素:如损伤相关的因素、影像学因素以及患者在治疗过程中的反应建立新的模型,预测气管切开的必要性。

1 资料和方法

1.1 一般资料

回顾性分析自 2005 年 9 月~2014 年 5 月就诊于我院并行手术治疗的急性创伤性颈脊髓损伤患者共 350 例。排除 2 例因合并严重咽喉损伤行气管切开及 3 例就诊于我院前既于外院行气管切开术患者。共 345 例患者纳入研究,男 286 例,女 59 例,平均年龄 46.9 ± 13.5 岁(16~80 岁),死亡 14

例。行气管切开患者 58 例,男 52 例,女 6 例,平均年龄 46.0 ± 15.5 岁(20~79 岁),死亡 11 例。

1.2 创伤指标评定

脊髓损伤程度、神经损伤节段、入院时 ASIA 运动评分均采用美国脊髓损伤协会(ASIA)评定法。

1.3 影像学因素测量及评定

所有患者均行颈椎 MRI 检查,按文献^[10,11]的标准应用术前 MRI T1WI 和 T2WI 中矢状面分别确定椎管最大侵占率和脊髓最大受压率。应用文献^[12]的方法确定脊髓内信号改变的长度。同时我们采集患者 T2WI 像中矢状面确定颈髓内信号改变的最高节段。应用文献^[13]的方法确定是否有颈髓内出血。本研究中所涉及到的所有影像学指标的定义见表 1,患者影像学指标测量示例见图 1。

1.4 手术及术后管理

所有患者均接受手术治疗,就诊至接受手术时间平均为 2.35 ± 2.07 d(0~15d)。202 例为前路手术,87 例为后路手术,56 例为前后路联合手术。术后,损伤严重、既往基础病多及老年患者转入重症监护病房,进行生命支持、麻醉苏醒、撤离呼吸机及拔除气管插管,或进行延长的机械通气和气管切开。气管切开的决策由创伤骨科医师和重症医学医师考虑患者的神经损伤情况、年龄、既往病、合并损伤情况等因素,预计某患者机械通气时间将达 2 周及以上时经共同商讨后做出。

1.5 观察指标

包括患者年龄,是否存在既往系统性疾病(除肺病外)、是否存在既往肺病、吸烟史、治疗过程中是否出现呼吸系统并发症(如某患者接受了气管切开手术,只记录气管切开前是否出现呼吸系统

表 1 影像学参数及变量定义

Table 1 Definitions of radiological parameters and variables used in this study

项目 Items	定义 Definitions
di	损伤最严重处脊髓前后径 The anteroposterior cord diameter at the maximum injury level
da	损伤头端最靠近损伤处的正常脊髓前后径 The anteroposterior cord diameter at the nearest normal level above the injury level
db	损伤尾端最靠近损伤处的正常脊髓前后径 The anteroposterior cord diameter at the nearest normal level below the injury level
Di	损伤最严重处椎管前后径 The anteroposterior canal diameter at the maximum injury level
Da	损伤头端最靠近损伤处的正常椎管前后径 The anteroposterior canal diameter at the nearest normal level above the injury level
Db	损伤尾端最靠近损伤处的正常椎管前后径 The anteroposterior canal diameter at the nearest normal level below the injury level
MSCC	Maximum spinal cord compression, 脊髓最大受压率 $MSCC(\%) = [1 - di / (da + db) / 2] \times 100\%$
MCC	Maximum canal compromise, 椎管最大侵占率 $MCC(\%) = [1 - Di / (Da + Db) / 2] \times 100\%$
HSC	脊髓内信号改变最高节段, 通过 T2WI 像中矢状面所见的脊髓内异常信号(与正常脊髓相比较, 可为高信号和/或低信号)所在的最高颈髓节段 Highest signal change literally refers to the highest level at which a signal change can be detected in the spinal cord via T2-weighted magnetic resonance imaging
LL	脊髓内信号改变长度(病变长度), 通过 T2WI 像中矢状面所见的脊髓内异常信号最头端至最尾端的长度 Lesion length is defined as the distance between the most cephalic and most caudal cord signal change scale via T2-weighted magnetic resonance imaging
IH	颈髓内出血, T2WI 中矢状面图像中若存在一个边界清晰的低信号区, 则判定存在颈髓内出血 Intramedullary haemorrhage is identified when a discrete area of hypointensity is depicted via T2-weighted magnetic resonance imaging

注:“da”、“di”、“db”、“Da”、“Di”、“Db”, 脊髓最大受压率、椎管最大侵占率的定义源于文献^[10], 并经过文献^[11]的验证; 脊髓内信号改变长度、颈髓内出血的定义分别源于文献^[12, 13]

Note: The definitions of da, di, db, Da, Di, Db, MSCC and MCC are based on validated studies^[10, 11]; the determination of LL and IH are respectively based on definitions from published literatures^[12, 13]

并发症), ASIA 分级、神经损伤节段、入院时 ASIA 运动评分、是否合并脑外伤、是否合并胸廓肺损伤、是否有颈椎骨折脱位、椎管最大侵占率、脊髓最大受压率、颈髓内信号改变的节段、颈髓内信号改变长度、是否有颈髓内出血、是否有颈椎退变等 17 项因素。在本研究中, 既往系统性疾病指高血压、冠心病、严重心律失常、脑血管疾病、糖尿病中的一项或几项; 既往肺病指慢性阻塞性肺疾病、支气管哮喘、限制性肺病中的一项或几项; 呼吸系统并发症指任何需要治疗并延长住院时间的呼吸系统疾患; 在本组患者中, 包括肺炎、肺不张、胸腔积液。

1.6 统计学分析

统计学分析应用 SPSS 19.0 完成, $P < 0.05$ 为有统计学意义。为进行交叉验证, 345 例患者被随机分成训练集 219 例 (63.5%) 用以建立模型, 和验证集 126 例 (36.5%) 用以进行验证。验证集患者数据不应用于模型建立。

单因素分析: 在训练集患者中, 对 17 项观察指标进行单因素逻辑回归分析, 所有 $P < 0.05$ 的变量被认为是气管切开的潜在预测因素。

二分类多因素逻辑回归分析: 为了将潜在预测因素中的多分类变量及连续变量被转化为二分类变量, 即二分类化; 我们使用受试者工作特性曲线 (receiver operating characteristics curve, ROC 曲线) 确定在单因素分析中 $P < 0.05$ 的多分类变量及连续变量中具有高敏感性、特异性的最佳截断值, 使新产生的二分类变量的取值分布位于截断值的两侧。我们对二分类化的变量再次进行单因素逻辑回归分析, 并对保持 $P < 0.05$ 的变量连同初始单因素分析中 $P < 0.05$ 的二分类变量进行多因素逻辑回归分析, 得到气管切开的独立预测因素, 及多元逻辑回归模型。

分类回归树分析: 我们对初始单因素分析中 $P < 0.05$ 的所有变量进行分类回归树分析得到决策树模型; 应用 Gini 法, 最大树深设定为 4 级, 最

小母结病例数设定为 30, 最小子结病例数设定为 5。

交叉验证: 我们对多元逻辑回归模型及决策树模型进行交叉验证。敏感性、特异性、准确率、ROC 曲线下面积被用作评估模型预测准确率的指标。

2 结果

入组患者详细的人口学及临床资料、神经学检查结果、影像学检查结果分别见表 2、3、4。患者受伤至就诊的平均时间为 $4.73 \pm 5.92\text{d}$ (0~14d); 就诊至接受手术时间平均为 $2.35 \pm 2.07\text{d}$ (0~15d)。58 例气管切开患者中, 受伤至气管切开平均时间 $12.70 \pm 10.77\text{d}$ (1~44d)。5 例为术前气管切开, 7 例为术后即刻行气管切开, 34 例为术后 1~7d 内于重症监护病房行气管切开。12 例患者术后成功脱离呼吸机、拔除气管插管、转回普通病房后突然出

现憋气症状, 动脉血气分析显示 I 型或 II 型呼吸衰竭, 伴或不伴进行性意识障碍。他们均接受紧急气管插管、人工辅助通气, 转回重症监护病房后行气管切开、机械通气。上述 12 例患者中 2 例死亡。

2.1 单因素逻辑回归分析

如图 2 所示, 分析显示入院时 ASIA 运动评分、ASIA 分级、神经损伤节段、脊髓内信号改变长度及最高节段、脊髓内出血、颈椎骨折脱位、既往肺病及病程中出现了呼吸系统并发症与气管切开显著相关。

2.2 二分类多元逻辑回归分析

应用 ROC 曲线, 我们对 ASIA 运动评分、ASIA 分级、神经损伤节段、颈髓内信号改变长度及最高节段进行二分类化: 确定以上各变量具有最高敏感性、特异性的最佳截断值点为 ASIA 运动评分 22 分, ASIA B 级或 C 级, 神经损伤节段位于 C4 或 C5, 颈髓内信号改变长度 27.55mm, 颈



图 1 29 岁女性因车祸伤造成 C6 骨折, 完全性脊髓损伤 a T1WI 中矢状位被用来确定椎管最大侵占率。“Di”指损伤最严重处椎管前后径(位于 C6 水平)。“Da”指损伤头端最靠近损伤处的正常椎管前后径(位于 C5 水平)。“Db”指损伤尾端最靠近损伤处的正常椎管前后径(位于 C7 水平) b T2WI 中矢状面被用来确定脊髓最大受压率。“di”指损伤最严重处脊髓前后径(位于 C6 水平)。“da”指损伤头端最靠近损伤处的正常脊髓前后径, 因为存在脊髓水肿(脊髓内高信号区域)及伴发的脊髓肿胀, 故“da”指 C3 水平脊髓前后

径。“db”指损伤尾端最靠近损伤处的正常脊髓前后径(位于 T1 水平) c T2WI 中矢状位, C6 水平可见脊髓出血(IH)。从 C4~C7 水平可见脊髓信号的改变, 故脊髓内信号改变的最高节段(HSC)被定位于 C4 水平。脊髓内信号改变的长度(病变长度, LL), 即脊髓内异常信号最头端至最尾端的长度, 在本例中为 60.81mm

Figure 1 A 29-year-old male suffered a C6 fracture with ASIA grade A injury during a car accident a The midsagittal plane of the T1-weighted image was used to determine the maximum canal compromise(MCC). “Di” indicates the anteroposterior canal diameter at the maximum injury level (C6 level). “Da” and “Db” indicate the anteroposterior canal diameters at the nearest normal levels above (C5 level) and below the injury level (C7 level), respectively b The midsagittal plane of the T2-weighted image was used to identify the maximum spinal cord compression (MSCC); “di” indicates the anteroposterior cord diameter at the maximum injury level(C6 level). “da” indicates the anteroposterior cord diameter at the nearest normal level above the injury level; because spinal cord edema (indicated as an area of high signal change on MRI) and consequent cord swelling were present, “da” was determined to occur at the C3 level. “db” indicates the anteroposterior cord diameter at the nearest normal level below the injury level (T1 level) c In the midsagittal plane of the T2-weighted image, an intramedullary haemorrhage was detected at the C6 level. A signal change in the spinal cord was observed from the C4 to C7 level; accordingly the highest signal change (HSC) was identified at the C4 level. The lesion length, defined as the distance between the most cephalic and most caudal cord signal change scale, was 60.81 mm. Abbreviations: ASIA, American Spinal Injury Association; MRI, magnetic resonance imaging

表 2 人口学资料及临床资料
Table 2 Epidemiological and clinical data

项目 Items	总体 Overall (n=345)	气管切开组 Tracheostomy (n=58)	非气管切开组 No tracheostomy (n=287)
年龄 Age	46.92±13.55	46.00±15.48	47.10±13.15
性别 Gender			
男性 Male	286	52	234
女性 Female	59	6	53
损伤机制 Injury mechanism			
车祸伤 Car accident	137	28	110
高处坠落伤 Fall from a height	56	14	42
跌倒伤 Fall	124	13	112
直接暴力 Direct force	28	3	23
骨性损伤水平 Injured bone level			
C2-4	79	13	66
C5-7	105	31	74
多发节段 Multiple levels	6	2	4
无骨折脱位颈髓损伤 SCIWORA	155	12	143
既往肺病 Pre-existing lung disease	31(8.99%)	10(17.24%)	21(7.32%)
既往系统性疾病(除肺病外) Pre-existing medical conditions	96(27.83%)	18(31.03%)	78(27.18%)
吸烟史 Smoking history	56(16.23%)	9(15.52%)	47(16.38%)
合并脑损伤 Brain injury	55(15.94%)	9(15.52%)	46(16.03%)
合并胸廓/肺损伤 Thoracic/lung injury	32(9.28%)	3(5.17%)	29(10.10%)
入院时 ASIA 运动评分 Admission ASIA motor score	46(16~84)	8.50(0~17)	57.00(26~86)
呼吸系统并发症 Respiratory complications	72(20.87%)	31(53.49%)	41(14.29%)
死亡 Deaths	14(4.06%)	11(18.97%)	3(1.05%)

注:正态分布变量应用均数±标准差表示;非正态分布应用中位数(四分位数)表示
Normally distributed variables are expressed as the mean and standard deviation (SD), and non-normally distributed data are expressed as the median and interquartile range. Abbreviations: SCIWORA, spinal cord injury without radiologic abnormality; ASIA, the American Spinal Injury Association

髓内信号改变最高节段位于 C4 或 C5, 从而产生五个二分类化变量, 再一次对这五个变量进行单因素逻辑回归分析: 入院时 ASIA 运动评分≤22 分, ASIA A 级或 B 级, 神经损伤节段位于 C4 或以上, 颈髓内信号改变长度>27.55mm, 信号改变最高节段位于 C4 或以上仍然与气管切开显著相关(图 2)。对以上因素连同脊髓内出血、颈椎骨折

脱位、既往肺病及病程中出现了呼吸系统并发症进行多元逻辑回归分析显示, 入院时 ASIA 运动评分≤22 分, ASIA A 级或 B 级, 出现呼吸系统并发症是气管切开的独立预测因素(图 3)。

2.3 分类回归树分析

对入院时 ASIA 运动评分、ASIA 分级、神经损伤节段、脊髓内信号改变长度及最高节段、脊髓

表 3 神经学检查资料

Table 3 Neurological examination data

神经损伤节段 NLI	ASIA A	ASIA B	ASIA C	ASIA D	总数 Total
C4 及以上 C4 and above	27(18)	29(9)	43(7)	40	139(34)
C5	13(8)	18(5)	31(2)	33	95(15)
C6	2(2)	1	2(1)	32 (1)	37(4)
C7	5(1)	5(1)	6	13	29(2)
C8	1	0	0	4	5(0)
T1 及以下 T1 and below	14(3)	13	4	7	38(3)
总数 Total	62(32)	68(15)	86(10)	129(1)	345(58)

注:括号内数字表示接受气管切开患者的数量

Note: Numbers in parentheses refer to the number of patients who received tracheostomy. NLI: neurological level of injury; ASIA: the American Spinal Injury Association

表 4 影像学资料

Table 4 Radiological data

	总体 Overall (n=345)	气管切开组 Tracheostomy (n=58)	非气管切开组 No tracheostomy (n=287)
颈椎退变 Presence of spondylosis	207 (60.00%)	30(51.72%)	177(61.67%)
髓内信号改变最高节段 Highest signal change			
C1	3	3	0
C2	36	11	25
C3	99	19	80
C4	75	15	60
C5	59	7	52
C6	36	3	33
C7	14	0	14
无髓内信号改变 No signal change in spinal cord	23	0	23
颈髓内信号改变长度(mm) Lesion length	36.92±25.10	53.45±27.38	33.58±23.28
脊髓最大受压率(%) MSCC (%)	27.32±19.63	29.52±18.05	26.83±17.63
椎管最大侵占率(%) MCC (%)	31.61±15.38	36.30±14.67	30.65±14.01
颈髓内出血 Intramedullary haemorrhage	96(27.83%)	32(55.17%)	64(22.30%)

内出血、颈椎骨折脱位、既往肺病及病程中出现了呼吸系统并发症进行分类回归树分析。如图 4 显示:入院时 ASIA 运动评分 ≤ 22 分、ASIA A 级、治疗过程中出现呼吸系统并发症及术前 MRI 显示

髓内信号改变最高节段位于 C2 或以上与气管切开相关。决策树模型将 219 例按照不同危险因素分组,每组患者的数量及气管切开的频率见表 5;入院时 ASIA 运动评分对气管切开的预测作用最为重要,作为预测的第一决策点;之后应考虑患者是否出现了呼吸系统并发症及颈髓损伤的 ASIA 分级,作为第二决策点;最后应兼顾术前 MRI 显示的颈髓内信号改变的最高节段,作为第三决策点。

2.4 交叉验证

两个模型都显示出了对气管切开良好的判别能力。逻辑回归模型的敏感性、特异性、预测准确率、ROC 曲线下面积分别为 81.8%、86.4%、85.7% 和 0.889;而分类回归树模型的敏感性、特异性、预测准确率、ROC 曲线下面积分别为 73.7%、89.7%、87.3%、0.909。

3 讨论

3.1 研究现状

颈脊髓损伤患者有相对较高的概率需要接受气管切开。相比于长时间气管插管,气管切开可减少对患者咽喉部重要解剖结构的损伤^[4],患者亦感到相对舒适。除此之外,之前有证据显示早期气管切开可以减少患者机械通气天数及在重症监护病房的治疗时间^[4,5]。但是气管切开必要性的早期预测通常较困难^[3]。多项临床研究^[6,7,14-17],应用不同统计学方法,试图找出颈脊髓损伤患者气管切开的预测因素。尽管多元逻辑回归分析通常被应用于临床事件的预测,但为给出某一结果指标的概率通常需要应用较为复杂的数学公式,其应用的方便性受到限制。而分类回归树分析^[8],可以给出直观的示意图,更加易于理解及使用。

近来,Berney 等^[6]和 Yugué 等^[7]两组学者以分类回归树分析为统计学方法,应用肺功能检查结果连同其他临床因素提出决策树模型用来预测颈脊髓损伤患者气管切开的必要性。两项研究均强调可以直接反映患者通气功能的用力肺活量对预测最为重要。但应用用力肺活量作为预测因素有其明显的缺陷。首先,Kelley 等^[9]发现至少有 10% 的颈脊髓损伤的患者(通常是损伤较重的患者)不能有效地完成肺功能检查结果并得出可靠有效的用力肺活量结果。然而根据我们的经验,损伤较重的患者更有可能需要接受气管切开的操作。其次,

表 5 不同亚组患者气管切开频率
Table 5 Frequencies of tracheostomy for patients in different subgroups

第一决策点 First splitting	第二决策点 Second splitting	第三决策点 Third splitting	患者数量 Number of patients	气管切开患者数量 Number of tracheotomised patients
入院时 ASIA 运动评分≤22 分 AAMS≤22	出现呼吸系统并发症 With respiratory complications		25	17 (68.0%)
	未出现呼吸系统并发症 Without respiratory complications	入院时 ASIA 运动评分≤1 分 AAMS≤1	9	6 (66.7%)
		入院时 ASIA 运动评分≥2 分 AAMS≥2	35	8 (22.9%)
入院时 ASIA 运动评分≥23 分 AAMS≥23	完全性颈髓损伤 CSCI		14	6 (42.9%)
	不完全性颈髓损伤 ISCI	颈髓信号改变最高节段位于 C2 或以上 HSC at C2 or above	7	1 (14.3%)
		颈髓信号改变最高节段位于 C3 或以下 HSC at C3 or below	129	1 (0.8%)

括号内数字表示气管切开病人占该组病人百分比
Numbers in parentheses refer to the possibility of patients receiving a tracheostomy in different subgroup. Abbreviations: AAMS: admission ASIA motor score; HSC: highest signal change

两项研究给出的用力肺活量的截断值差距较大，分别为 830ml^[6]和 500ml^[7]，给临床决策中选取何值作为参考带来疑问。

3.2 气管切开的独立预测因素

3.2.1 神经学检查 数项研究^[2,7,14-16]均显示完全性脊髓损伤与患者需要气管切开相关。Menaker 等^[14]发现低的入院时 ASIA 运动评分和 ASIA A 级颈髓损伤可预测气管切开。我们的结果与 Menaker 等一致。运动评分低的完全性颈髓损伤患者通常吸气肌和呼气肌完全瘫痪，导致通气功能衰竭及咳痰力量下降。此类患者更有可能需要接受长时间的机械通气。值得注意的是，因为有脊髓休克的存在，颈髓损伤程度的判断可能在入院时难以准确。而 Ditunno 等^[18]将脊髓休克分为四期，大多数的反射将于伤后 1~3d（即第二期）恢复，利于医师确定 ASIA 分级。所以重复的神经学检查是必要的。

神经损伤节段并未出现于我们的模型中。我们认为入院时 ASIA 运动评分及神经损伤节段均由各关键肌的肌力确定，即运动评分和神经损伤节段可能存在较强的共线性^[19]。而运动评分(可为从 0 分至 100 分的任意数值)，相比于神经损伤节段(可为从 C1~T1 的任意节段)，可提供更多的信息，不同患者间的差别亦更加细微。故我们与

Menaker 等^[14]所持的观点一致，认为应用入院时 ASIA 运动评分和 ASIA 分级作为预测指标可能更为合适及个体化。

然而值得注意的是，根据最近的一项 Meta 分析的结果^[2]，神经损伤节段位于 C5 或以上，ASIA A 级损伤两项因素是预测颈髓损伤患者气管切开的预测因素。膈肌受 C3、C4、C5 脊神经支配。神经损伤节段位于 C5 或以上同时影响胸式呼吸和膈式呼吸，主动呼吸功能严重障碍，C5 以下损伤影响胸式呼吸，而保留了完整的膈式呼吸，呼吸功能障碍相对较轻。C4 水平的 C 级损伤可能与 C6 水平的 B 级损伤 ASIA 运动评分相仿，但由表 5 可见，前者的气管切开发生率更高。故我们认为神经损伤节段对于预测气管切开仍具有相当的作用，应用 ASIA 运动评分来完全代替神经损伤节段作为预测因素尚未得到充分报道及公认，其预测价值及准确性需要后续的研究进行验证。

3.2.2 呼吸系统并发症 Winslow 等^[20]发现相比于神经损伤节段，呼吸系统并发症是决定颈髓损伤患者住院时间更重要的决定因素。除此之外，Harrop 等^[15]发现肺炎的发生对于气管切开有预测作用。Leelapattana 等^[16]也提出在机械通气开始 3d 后动脉氧分压与吸入气氧浓度之比<300 与颈髓损伤患者气管切开相关。肺炎、胸腔积液等并发症

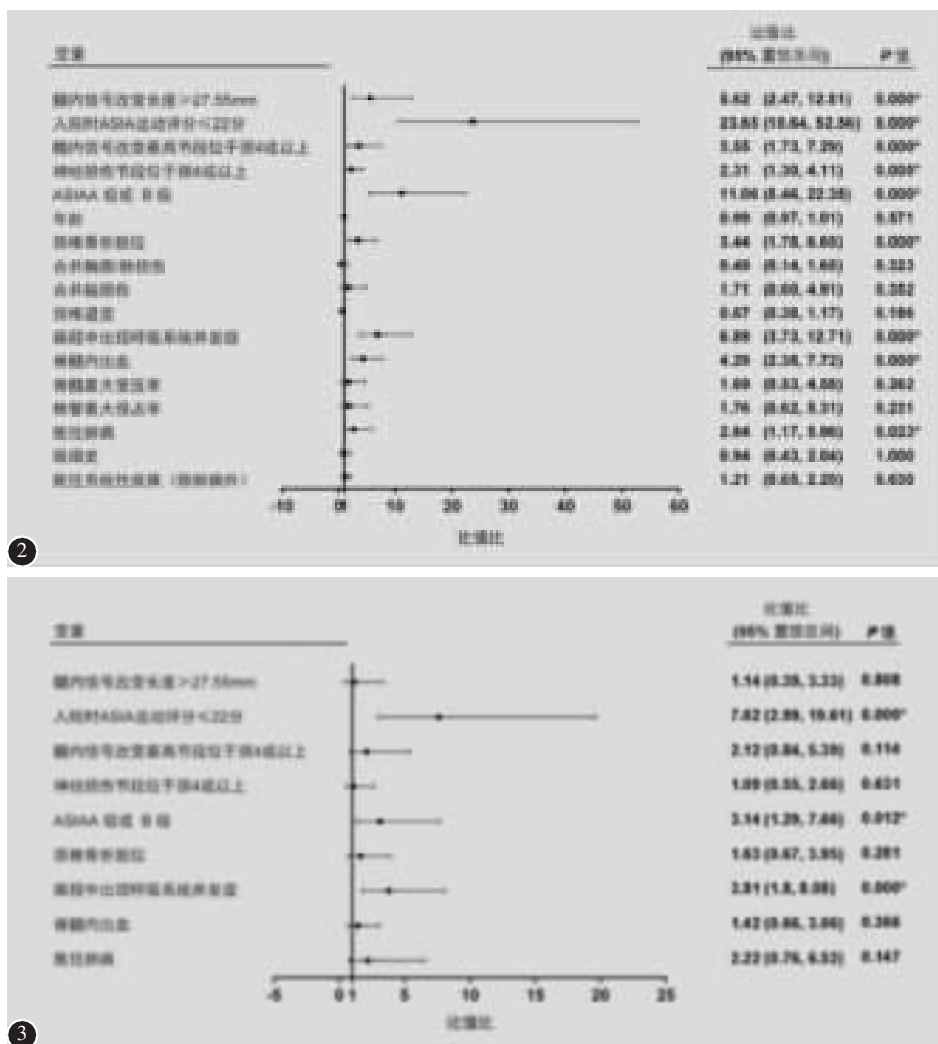


图 2 单因素逻辑回归分析结果(P 值、比值比及其 95% 置信区间在图中列出) 图 3 多元逻辑回归分析结果(P 值、比值比及其 95% 置信区间于图中列出)

Figure 2 The result of univariate logistic regression analysis. The p-value, odds ratios and 95% confidence interval for the odds ratio are shown **Figure 3** The result of multivariate logistic regression analysis. The p-value, odds ratios and 95% confidence interval for the odds ratio are shown



图 4 决策树模型:由 219 人的训练集得出,其中 39 人接受气管切开。“n”指在每一个亚组中患者的数量,而“p”指属于该亚组的患者须接受气管切开的概率

Figure 4 Graphical presentation of the classification and regression tree analysis (CART) from the development set that includes 219 patients, 39 of whom underwent tracheostomy. “n” refers to the number of patients in each subgroup, and “p” indicates the possibility of tracheostomy for patients in each subgroup

会限制原本就遭受损伤的呼吸系统的功能,导致缺氧并加重继发性脊髓损伤^[21]。除此之外,肺炎、肺不张等并发症还被证明与需要长时间机械通气相关^[22],增加患者最终需要接受气管切开的可能。

3.2.3 影像学因素 本研究结果提示颈髓内信号改变的最高节段与气管切开仅有较为微弱的联系。但我们仍然认为信号改变的最高节段可以作为神经学检查的补充,提供有效的信息;因为单纯应用关键肌检查进行患者的运动系统检查并不能确定位于 C4 及以上的神损伤节段,而感觉系统检查有时主观性较强。然而影像学的信息更为客观。

我们之前认为影像学检查显示椎管最大侵占率和脊髓最大受压率较大的患者遭受的损伤较重,更有可能需要依赖于长时间的机械通气及气管切开。然而本研究并未发现椎管最大侵占率和脊髓最大受压率与气管切开相关。类似地, Aarabi 等^[23]也未发现椎管最大侵占率、脊髓最大受压率和颈髓损伤患者住院期间发生呼吸系统并发症有任何联系。尽管之前的两组学者^[10,12]发现完全性颈髓损伤患者的椎管侵占和脊髓受压程度更重,然而如表 4 所示入组患者中仍有近 50% 的气管切开患者遭受非完全性颈髓损伤,这可能是椎管最大侵占率和脊髓最大受压率并未出现在预测模型中的原因。我们尚未发现应用影像学因素来预测颈髓损伤患者气管切开必要性的其他报道。我们认为今后的研究可更进一步地探寻影像学指标与颈髓损伤患者气管切开的关系,从而验证影像学因素作为预测因素的可靠性和有效性。

3.3 模型应用

两模型均指出入院时 ASIA 运动评分 ≤ 22 分, ASIA A 级颈髓损伤和呼吸系统并发症均与气管切开显著性相关,表明以上 3 个因素对于预测气管切开尤为重要。本组结果表明,逻辑回归模型和决策树模型在敏感性和特异性上的比较是相当的,而决策树模型在预测准确率和 ROC 曲线下面积略高于逻辑回归模型。除此之外,决策树模型可以给出直观的示意图(图 4),易于理解及方便临床应用。

我们主张应用决策树模型预测气管切开,医生需要考虑颈髓损伤患者入院时 ASIA 运动评分、ASIA 分级、是否出现呼吸系统并发症和颈髓内信号改变的最高节段。根据循证医学 I 级证据

所提示的早期气管切开的优势,对于入院时 ASIA 运动评分 ≤ 1 分的患者,无论是否出现呼吸系统并发症,均可考虑早期气管切开。2 分 $\leq$ 入院时 ASIA 运动评分 ≤ 22 分,若患者在诊疗过程中出现呼吸系统并发症,可以考虑进行气管切开。对于入院时 ASIA 运动评分 ≥ 23 分的不完全颈髓损伤患者,若术前 MRI 显示颈髓内信号改变的最高节段位于 C3 或以下,则患者极少需要气管切开。对于不属于以上三类的其他患者,应进行每日的密切观察,总体上来讲完全性颈髓损伤患者应相对积极地选择气管切开。

3.4 研究不足

本研究的第一个限制性因素在于其回顾性研究的性质,病例数较大,最早入组病例包括 9 年前病例,测量偏倚必然存在;第二,本研究纳入人群均为接受手术的患者,存在入院率偏倚;第三,本研究尚未将一些可能的相关指标纳入分析,如动脉血气分析及伤史时间长短等。未来前瞻性研究或可控制以上偏倚。我们认为未来研究可着力于几个方面。首先,如前所述,我们有 12 例患者在转回普通病房后突然发生窒息、血氧饱和度下降,最终导致了 12 例全部重新插管及 2 例死亡,今后对颈脊髓损伤急性窒息的分析 and 探讨可能为颈髓损伤患者气道管理的临床决策提出可参考的信息,并最终有助于减少患者的院内死亡。第二,尽管我们应用了交叉验证的方法来评估模型的预测能力,我们认为来自其他中心的另一组患者数据来再次验证该模型的可靠性和有效性是必要的。

本研究可以给出决策树模型下不同亚组患者气管切开的确切概率,被分析统计的可能因素为同类研究中较多者,且纳入了相对较大的样本量。我们认为该研究可为颈髓损伤患者,尤其是当他们不能完成肺功能检查时,接受气管切开必要性的预测提供充分、有效、可靠的信息。

4 参考文献

1. [No authors listed]. Spinal cord injury facts and figures at a glance[J]. J Spinal Cord Med, 2014, 37(4): 479-480.
2. Berner S, Bragge P, Granger C, et al. The acute respiratory management of cervical spinal cord injury in the first 6 weeks after injury: a systematic review[J]. Spinal Cord, 2011, 49(1): 17-29.
3. Durbin CG Jr. Tracheostomy: why, when, and how[J]. Respir Care, 2010, 55(8): 1056-1068.

4. Romero J, Vari A, Gambarrutta C, et al. Tracheostomy timing in traumatic spinal cord injury[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(10): 1452-1457.
5. Griffiths J, Barber VS, Morgan L, et al. Systematic review and meta-analysis of studies of the timing of tracheostomy in adult patients undergoing artificial ventilation[J]. *BMJ*, 2005, 330(7502): 1243-1246.
6. Berney SC, Gordon IR, Opdam HI, et al. A classification and regression tree to assist clinical decision making in airway management for patients with cervical spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2011, 49(2): 244-250.
7. Yugué I, Okada S, Ueta T, et al. Analysis of the risk factors for tracheostomy in traumatic cervical spinal cord injury [J]. *Spine*, 2012, 37(26): E1633-1638.
8. Breiman L, Friedman J, Stone C et al. *Classification and Regression Trees*[M]. London: Chapman and Hall. 1984. 10-19.
9. Kelley A, Garshick E, Gross ER, et al. Spirometry testing standards in spinal cord injury[J]. *Chest*, 2003, 123(3): 725-730.
10. Fehlings MG, Rao SC, Tator CH, et al. The optimal radiologic method for assessing spinal canal compromise and cord compression in patients with cervical spinal cord injury. Part II: Results of a multicenter study[J]. *Spine*, 1999, 24(6): 605-613.
11. Furlan JC, Fehlings MG, Massicotte EM et al. A quantitative and reproducible method to assess cord compression and canal stenosis after cervical spine trauma: a study of interrater and intrarater reliability[J]. *Spine*, 2007, 32(19): 2083-2091.
12. Miyajiri F, Furlan JC, Aarabi B, et al. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome--prospective study with 100 consecutive patients[J]. *Radiology*, 2007, 243(3): 820-827.
13. Kulkarni MV, McArdle CB, Kopanicky D, et al. Acute spinal cord injury: MR imaging at 1.5T[J]. *Radiology*, 1987, 164(3): 837-843.
14. Menaker J, Kufera JA, Glaser J, et al. Admission ASIA motor score predicting the need for tracheostomy after cervical spinal cord injury [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2013, 75(4): 629-634.
15. Harrop JS, Sharan AD, Scheid EH Jr, et al. Tracheostomy placement in patients with complete cervical spinal cord injuries: American Spinal Injury Association Grade A[J]. *J Neurosurg*, 2004, 100(1 Suppl Spine): 20-23.
16. Leelapattana P, Fleming JC, Gurr KR, et al. Predicting the need for tracheostomy in patients with cervical spinal cord injury[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 73(4): 880-884.
17. Nakashima H, Yukawa Y, Imagama S, et al. Characterizing the need for tracheostomy placement and decannulation after cervical spinal cord injury [J]. *Eur Spine J*, 2013, 22(7): 1526-1532.
18. Ditunno JF, Little JW, Tessler A, et al. Spinal shock revisited: a four-phase model[J]. *Spinal Cord*, 2004, 42(7): 383-395.
19. Dohoo IR, Ducrot C, Fourichon C. An overview of techniques for dealing with large numbers of independent variables in epidemiologic studies[J]. *Prev Vet Med*, 1997, 29(3): 221-239.
20. Winslow C, Bode RK, Felton D, et al. Impact of respiratory complications on length of stay and hospital costs in acute cervical spine injury[J]. *Chest*, 2002, 121(5): 1548-1554.
21. Salzman SK, Faden AI. *Neurobiology of Central Nervous System Trauma* [M]. New York: Oxford University Press, 1994. 209-215.
22. Roquilly A, Seguin P, Mimos O, et al. Risk factors for prolonged duration of mechanical ventilation in acute traumatic tetraplegic patients--a retrospective cohort study [J]. *J Crit Care*, 2014, 29(2): 313.e7-13.
23. Aarabi B, Harrop JS, Tator CH, et al. Predictors of pulmonary complications in blunt traumatic spinal cord injury [J]. *J Neurosurg Spine*, 2012, 17(1 Suppl): 38-45.

(收稿日期:2014-10-19 修回日期:2015-01-27)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)