

基于无创参数辨识儿科 ARDS 患者疾病程度的研究

王萌萌¹ 王业军²

[摘要] 目的:现阶段儿科 ICU 诊断急性呼吸窘迫综合征(ARDS)主要依赖于氧合指数,也就是 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$,而动脉血氧分压(PaO_2)必须通过血气分析获得,但是血气分析是一个有创、不连续的监测手段。本文研究无创参数 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ 和 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 以及 OSI 和 OI 之间的关系,探索使用无创参数辨识 ARDS 患儿疾病严重程度的可能性。**方法:**本研究利用 MIMIC-III 数据库,获取患者相关生理参数,将患儿人群随机分为训练集和测试集,在训练集上利用广义线性回归模型,分别建立 S/F 与 P/F、 $\text{Lg}(S/F)$ 与 $\text{Lg}(P/F)$ 、OSI 与 OI 之间的线性回归模型,在测试集上研究 3 种模型对于重度 ARDS、中度 ARDS、轻度 ARDS 的辨识效果。**结果:**在训练集分别建立了 S/F-P/F、 $\text{Lg}(S/F)$ - $\text{Lg}(P/F)$ 、OSI-OI 3 种模型的线性回归方程,对于 S/F-P/F、 $\text{Lg}(S/F)$ - $\text{Lg}(P/F)$ 两种模型分别确定了 P/F 在 100、200、300 处对应的 S/F 阈值,对于 OSI-OI 模型确定了 OI 在 4、8、16 处的对应的 OSI 阈值。在测试集上使用对应阈值对 ARDS 疾病严重程度进行辨识,获得了 3 种模型的辨识敏感性、特异性、准确率、AUC 值。**结论:**通过以上研究可知,相较于 S/F-P/F、 $\text{Lg}(S/F)$ - $\text{Lg}(P/F)$ 模型,OSI-OI 模型对于患儿 ARDS 疾病严重程度有较好的辨识能力,在患儿血气分析结果缺失的情况下,可以考虑使用无创参数 OSI 代替 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$,作为 ARDS 患儿病情诊断的辅助手段。

[关键词] 急性呼吸窘迫综合征;血氧饱和度;氧合指数;动脉血氧分压;儿科

doi:10.13201/j.issn.1009-5918.2019.01.011

[中图分类号] R563.8 **[文献标志码]** A

Research on algorithms for identifying the severity of pediatric patients with ARDS based on noninvasive parameters

WANG Mengmeng¹ WANG Yejun²

(¹Department of Pediatrics, Qingdao Women and Children Hospital, Qingdao, Shandong, 266000, China; ²Department of Emergency, Qingdao Women and Children Hospital)

Corresponding author: WANG Yejun, E-mail: qdwyj2008@126.com

Abstract Objective: At present, pediatric ICU diagnosis of acute respiratory distress syndrome(ARDS) mainly depends on the oxygenation index($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$), and arterial oxygen partial pressure(PaO_2) must be obtained through blood gas analysis, but blood gas analysis is an invasive, discontinuous Monitoring means. This article studies the relationship between non-invasive parameters $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ - $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ and OSI-OI, and explores the possibility of using non-invasive parameters to identify the severity of disease in children with ARDS. **Method:** In this study, MIMIC-III database was used to obtain patient-related physiological parameters. The children were randomly divided into training set and test set. Generalized linear regression model was used on the training set to establish S/F and P/F and Lg , respectively. /F)Linear regression model between $\text{Lg}(P/F)$, OSI and OI. The effect of the three models on the detection of severe ARDS, moderate ARDS, and mild ARDS was studied on the test set. **Result:** In the training set, the linear regression equations of S/F-P/F, $\text{Lg}(S/F)$ - $\text{Lg}(P/F)$, and OSI-OI were established respectively for S/FP/F and $\text{Lg}(S/F)$. The $\text{Lg}(P/F)$ models respectively determine the corresponding S/F thresholds at 100, 200, and 300 for the P/F, and the corresponding OSI thresholds at 4, 8, and 16 for the OSI-OI model. The corresponding thresholds were used to identify the severity of ARDS disease on the test set. The sensitivity, specificity, accuracy, and AUC values of the three models were obtained. **Conclusion:** The above study shows that the OSI-OI model has better ability to identify the severity of ARDS disease in children compared with the S/F-P/F and $\text{Lg}(S/F)$ - $\text{Lg}(P/F)$ models. In the absence of blood gas analysis results in children, noninvasive parameters OSI can be used instead of $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ as an aid in the diagnosis of children with ARDS.

Key words acute respiratory distress syndrome; blood oxygen saturation; oxygenation index; arterial partial pressure of oxygen; children

¹ 青岛市妇女儿童医院儿科(山东青岛,266000)

² 青岛市妇女儿童医院急诊科

通信作者:王业军, E-mail: qdwyj2008@126.com

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 是急性肺损伤的典型表现形式,其主要病理学特征是肺泡白细胞浸润和肺水肿,临床表现为呼吸窘迫等^[1]。根据相关流行病学调查研究显示,在儿科 ICU (PICU) 和新生儿 ICU (NICU) 中患儿的 ARDS 发病率一般为 1%~4%,其病死率可达到 20%~62%,严重威胁着患儿的生命健康^[2-3]。

早期,对于儿童 ARDS 的诊断和治疗一直使用 1994 年提出的欧美联席会议标准^[4],但是这一标准针对新生儿等特殊人群存在很多缺陷,2015 年,召开了儿童急性肺损伤共识会议 (PALICC) 首次明确了关于儿童的 ARDS 诊断和治疗的权威指南,指南中除原有氧合指数 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, P/F)、 $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ (S/F) 以外,还使用了与呼吸相关的平均气道压 (mean air pressure, Paw) 参数来计算的 OI [oxygenation index, $\text{OI} = (\text{Paw} \times \text{FiO}_2) / \text{PaO}_2$]、OSI [oxygenation saturation index, $\text{OSI} = (\text{Paw} \times \text{FiO}_2) / \text{SpO}_2$] 等多个 ARDS 严重程度分级指标,对于使用无创或有创机械通气患者可以利用不同的标准进行疾病的分级^[2]。

现阶段对于儿童 ARDS 的诊断主要是通过采集患儿的动脉血液进行血气分析,测量 PaO_2 从而计算 P/F 值,结合患儿的影像学检查综合进行诊断。可见对于儿童的 ARDS 疾病诊断方式还存在很多问题^[1,5]: ①对于儿童尤其是新生儿来说,动脉采血是有创操作,会给后续护理工作带来不便;②由于动脉血气分析的有创性,不能对患儿进行实时连续的 ARDS 病情监测,在一定程度上可能带来漏诊的发生,导致对 ARDS 患儿的诊断、治疗不及时。以上诸多问题造成的患儿血气分析结果的缺失会延误 ARDS 的疾病诊断,从而无法根据患儿的疾病情况提供相应的治疗方案^[6]。

目前,使用无创参数监测 ARDS 的病情发展正成为研究的重点方向^[7-9]。2009 年 Khemani 等^[10]利用线性回归模型建立了儿童 S/F ($\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$) 与 P/F 之间的关系,并确定了 P/F 在 200 和 300 处的 S/F 阈值,使用 S/F 来诊断 ARDS 患者的疾病严重程度取得了一定的研究成果,但是在 $\text{P/F} \leq 300$ 时,使用 S/F 来辨识 ARDS 的效果并不理想。随着研究的不断深入又提出了利用 OSI 来监测患儿的病情发展及预后情况^[11-13],但是少有研究将 S/F 与 OSI 对于 ARDS 的诊断效果进行比较研究。针对以上问题,本文通过对 Khemani 等提出的关于 S/F 与 P/F 的线性模型与改进后的对数线性模型进行对比,比较两种模型在辨识 ARDS 患者病情上的效果;同时将 S/F 的辨识结果与 OSI

的辨识结果进行对比,研究两个无创参数在儿童 ARDS 辨识方面的优劣。

1 实验对象

1.1 数据库介绍

为了能够获得足够的 PICU、NICU 相关患儿的生理参数,本研究选择了由麻省理工大学和哈佛医学院联合建立的重症医学信息数据库 (Medical Information Mart for Intensive Care, MIMIC-III)^[14]。MIMIC-III 数据库目前收录了 2001—2012 年间进入 ICU 的 5 万多例患者相关诊疗信息,其中有 7 000 多例为儿童患者。具体患者生理信息包括:生命体征监测、药物治疗、实验室测量、护理人员记录等相关信息,疾病诊断信息、影像学报告、医院留存时间、患者生存情况等。

1.2 患者选择

由于 MIMIC-III 中患儿人群较为复杂,很多患者在 ICU 的停留时间不足 24 h,为了简化人员筛选的过程我们限制了患者在 ICU 的停留时间。根据柏林指南我们制定了两个人组限制条件^[15]: ①患者在 ICU 停留超过 7 d;②1 d 内出现过 $\text{P/F} \leq 300$ 的情况,从而确定需要研究的患者人群范围。

由于在计算 P/F 和 S/F 过程中都要使用呼吸机 Paw 参数,所以必须明确患者在特定时间内是否使用呼吸机,以确保患儿在 ICU 期间记录了准确的 Paw 值。在数据选择方面,我们希望在记录血气分析的同时记录相应的 SpO_2 和 FiO_2 数据,但是 MIMIC-III 中的数据记录方式有所不同,需要使用者根据记录时间自行匹配,为了确保数据的准确性,本文使用实验室数据中的血气分析结果及其记录时间与生理参数记录表中的数据进行对照,选择 PaO_2 前 2 h 的 SpO_2 数据和 PaO_2 前 4 h 的 FiO_2 、Paw 数据,以此来计算 P/F、S/F、OI、OSI。在选择生理参数的同时对数据进行清洗,去除不符合逻辑的异常值。

针对以上提到的问题,结合 MIMIC-III 数据库包含的患者信息,设计了以下入组条件:①患者年龄 ≤ 14 周岁;②患儿首次进入 ICU 接受治疗;③ICU 停留时间 ≥ 48 h;④在 ICU 前 24 h,经过血气分析,有一次 $\text{P/F} \leq 300$ 的情况出现;⑤在 ICU 期间使用过呼吸机;⑥记录了相关生理参数。

通过对 MIMIC-III 数据库进行患者选择工作,共选择了 2 168 例患儿的 12 109 个观测点,将患者随机分为训练集 (1 518 例患者、8 327 个观测点) 和测试集 (650 例患者、3 782 个观测点)。见图 1。

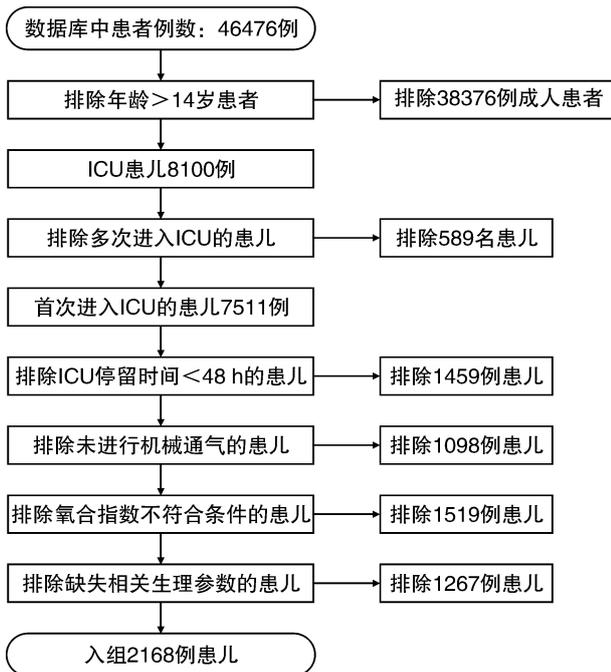


图 1 患者筛选流程图

1.3 实验方法

按照患者筛选过程,选择合适的 ICU 患儿作为研究对象,使用 PostgreSQL 软件,访问 MIMIC-III 数据库,获取患儿的个人基本信息、生理参数。我们将患儿随机分为训练集和测试集,其中训练集占全部人数的 70%,测试集占全部人数的 30%。统计两组患儿个人基本信息和生理参数,利用统计学方法比较训练集与测试集之间的统计学差异。利用训练集数据分别建立 S/F-P/F、Lg(S/F)-Lg(P/F)、OSI-OI 的回归模型,利用测试集验证 3 种回归模型的效果,并结合适当的模型评估方法评价 3 种模型的优劣。

1.4 模型算法

利用广义线性回归模型 (Generalized Linear Models, GLM)^[16],分别建立 S/F-P/F^[17]、Lg(S/F)-Lg(P/F)^[18-19]、OSI-OI^[11,20] 3 种线性回归模型,调节模型参数,从中选出三者的最优回归方程。利用回归方程,将患儿分为轻、中、重度 ARDS,其中 S/F-P/F、Lg(S/F)-Lg(P/F) 两个模型利用 P/F 在 100、200、300 处的 S/F 所对应的阈值进行分类^[21],OSI-OI 模型利用 OI 在 4、8、16 处的 OSI 所对应的阈值进行分类^[2]。利用以上的 3 种模型及分类阈值对训练集数据进行分类比较。计算对于 ARDS 轻、中、重度的分类敏感性、特异性等指标。

1.5 模型效果评估

利用上文建立的 S/F-P/F、Lg(S/F)-Lg(P/F)、OSI-OI 三种回归模型,分别计算 3 种模型对于 ARDS 轻度 (200 < P/F ≤ 300 或 OI > 16)、中度

(100 < P/F ≤ 200 或 8 ≤ OI < 16)、重度 (P/F ≤ 100 或 4 ≤ OI < 8) 的分类结果,如表 1 所示,从而计算模型的敏感性 (SEN)、特异性 (SPE)、准确率 (ACC)、AUC 值:

$$SEN = \frac{TP}{TP + FN} \text{ ①}$$

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} \text{ ②}$$

$$ACC = \frac{TN + TP}{TP + FP + FN + TN} \text{ ③}$$

表 1 真实类别与辨识结果之间的关系

辨识类别	真实类别	
	阳性	阴性
阳性	真阳性 (TP)	假阳性 (FP)
阴性	假阴性 (FN)	真阴性 (TN)

1.6 统计学方法

分别计算训练集和测试集的患儿基本信息、生理参数、血气分析结果等各生理参数的平均值和标准差,利用 Wilcoxon 秩和检验比较训练集和测试集之间的差异性。

2 实验结果

2.1 数据统计分析

本文利用 MIMIC-III 数据库,根据指定的人组标准,从 ICU 中选择 2168 例患儿,并提取患儿多种生理参数,对患儿进行随机分组:训练集 1518 例、观测数据点为 8 327 个;测试集 650 例、观测数据为 3 782 个。患儿的基本信息见表 2;患儿相关生理、呼吸、血气参数基本情况见表 3,对患儿随机分组为训练集和测试集,两组差异无统计学意义。

表 2 患儿基本信息 例 (%)

参数	训练集	测试集
年龄		
0~1 个月	509(33.53)	224(34.46)
>1~6 个月	239(15.74)	103(15.85)
>6~12 个月	139(9.16)	63(9.69)
>1~2 岁	202(13.31)	103(15.85)
>2~5 岁	125(8.23)	46(7.08)
>5 岁	305(20.01)	111(17.08)
女性	685(45.13)	305(46.92)
种族分布		
白种人	933(61.46)	405(62.31)
黑人	113(7.44)	55(8.46)
拉丁美洲人	89(5.86)	33(5.08)
亚洲人	161(10.61)	72(11.08)
其他	222(14.62)	85(13.08)
基线 P/F 值	178.21 ± 59.81	181.53 ± 55.56

注: P/F = PaO₂ / FiO₂。

2.2 建立回归模型

本文使用 GLM 算法模型建立 S/F-P/F、Lg(S/F)-Lg(P/F)、OSI-OI 的线性回归模型,通过散点图观察 3 种变量之间的线性关系,利用训练集数据进行模型训练,给出线性回归方程。对于 S/F-P/F、Lg(S/F)-Lg(P/F) 确定 PF 在 100、200、300 出的辨识阈值,对于 OSI-OI 确定 OI 在 4、8、16 处的辨识阈值。

表 3 患儿生理参数统计表 例(%), $\bar{x} \pm s$

参数	训练集 (8327 个观测点)	测试集 (3782 个观测点)	P
SpO ₂ /%	96.87±3.89	97.04±2.90	0.076
SpO ₂ >97%	5234(62.86)	2034(53.78)	
SpO ₂ ≤97%	3093(37.14)	1748(46.22)	
S/F	187.78±53.56	190.56±50.48	0.053
P/F	256.18±89.56	265.69±79.45	0.003
PaO ₂ /mmHg	154.94±69.34	162.48±65.23	0.062
OSI	7.28±4.72	7.13±4.23	0.078
OI	6.72±5.23	6.54±5.63	0.102
心率	95.94±19.23	98.45±21.56	0.078
呼吸频率	30.73±8.34	31.78±9.34	0.056

注:S/F=SpO₂/FiO₂,P/F=PaO₂/FiO₂,OI=(Paw×FiO₂)/PaO₂,OSI=(Paw×FiO₂)/SpO₂。

2.2.1 S/F 回归模型 通过使用 GLM 算法建立 S/F 与 P/F 之间的线性回归方程:

$$S/F = 0.88 \times (P/F) - 1.96, r = 0.61, P < 0.01 \dots \textcircled{4}$$

其中 r 为线性回归方程的相关系数 r=0.61, 决定系数 R²=0.3721。使用线性回归方程④计算辨识 ARDS 的轻度、中度、重度的 P/F 在 100、200、300 处的 S/F 阈值为 85.05、172.14、259.23。图 2 为 S/F 与 P/F 的散点图和线性回归方程,图中散点图的颜色变化反映了 P/F 值由底到高的变化趋势,从而反映 ARDS 的严重程度,通过图 2 可以发现,部分偏低的 P/F 值所对应的 S/F 普遍较高,且偏离回归方程较远。

2.2.2 Lg(S/F)回归模型 通过使用 GLM 算法建立 Lg(S/F)与 Lg(P/F)之间的线性回归方程:

$$Lg(S/F) = 0.96 \times Lg(P/F) + 0.16, (r = 0.78, P < 0.001) \dots \textcircled{5}$$

其中相关系数 r = 0.78, 决定系数 R² = 0.6084。使用线性回归方程(5)计算辨识 ARDS 的轻度、中度、重度的 P/F 在 100、200、300 处的 S/F 阈值为 98.64、192.10、283.68。图 3 为 Lg(P/F)

与 Lg(S/F)的散点图和线性回归方程。

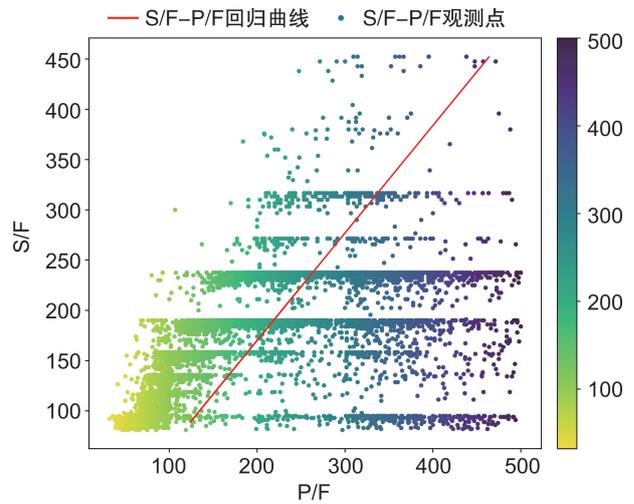


图 2 S/F-P/F 散点图及回归方程

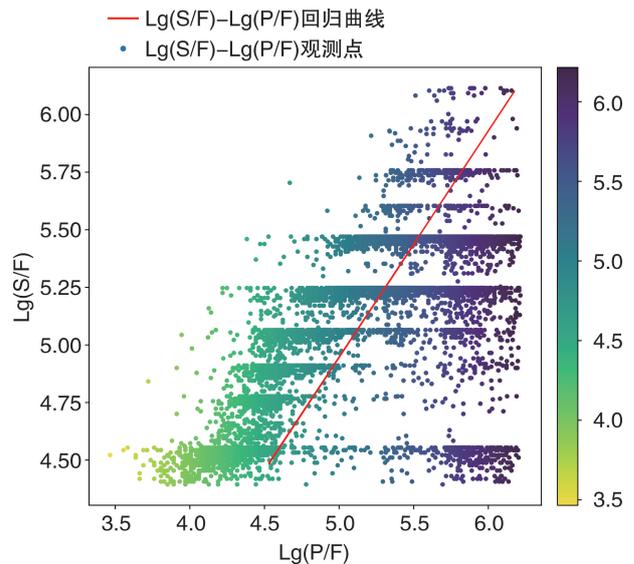


图 3 Lg(S/F)-Lg(P/F)散点图及回归方程

2.2.3 OSI 辨识结果 通过使用 GLM 算法建立 OSI 与 OI 之间的线性回归方程:

$$OSI = 0.79 \times OI + 1.31, (r = 0.83, P < 0.001) \dots \textcircled{6}$$

其中回归系数 r = 0.83, 决定系数 R² = 0.6889。使用线性回归方程(6)计算辨识 ARDS 的轻度、中度、重度的 OI 在 4、8、16 处的 OSI 阈值为 4.47、7.63、13.94。图 4 为 OI 与 OSI 的散点图和线性回归方程,可以发现 OI 与 OSI 整体的线性相关性非常明显,明显优于 S/F-P/F、Lg(S/F)=Lg(P/F)两者的线性模型,但是在 OI 在 0~20 范围内,有部分 OSI 值发生了较为严重的偏移。

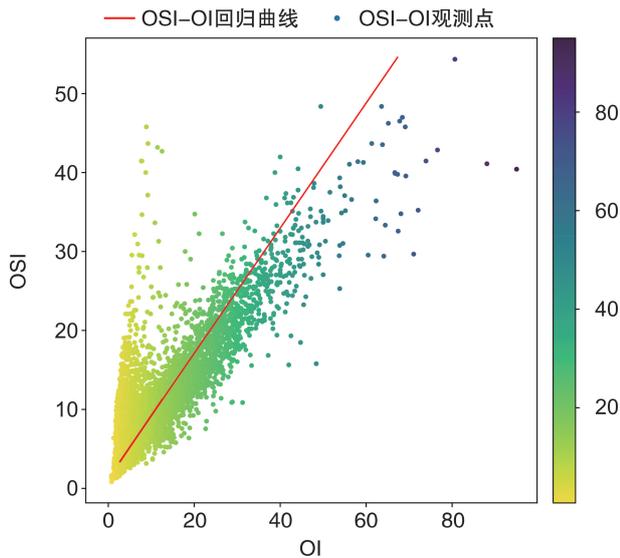


图 4 OSI-OI 散点图及回归方程

2.3 回归模型结果评价

利用上文建立的 3 种线性回归模型以及每种模型对应的辨识阈值,评估各模型和阈值在测试数

据集上的辨识效果,分别从辨识敏感性、特异性、准确率、AUC 值来比较 3 种模型的辨识效果。实验结果见表 4。

通过实验结果可以看出,对于轻度 ARDS 的辨识,S/F-P/F 和 $Lg(S/F)-Lg(P/F)$ 这两个模型的特异性较差,也就是误诊率较高,使得整体的辨识准确率下降,两个模型的 AUC 值均不超过 0.6,虽然 OSI-OI 模型的敏感性没有明显提高,但是特异性可以达到 50.54%且 AUC 为 0.7537,对于轻度 ARDS 的辨识,OSI-OI 模型明显优于前者两种模型。对于中度 ARDS 的辨识,3 种模型均有较好的辨识能力,OSI-OI 和 $Lg(S/F)-Lg(P/F)$ 模型比 S/F-P/F 模型由略微的提升。对于重度 ARDS 的辨识,S/F-P/F 和 $Lg(S/F)-Lg(P/F)$ 模型整体辨识能力较好,但是误诊率较高,而 OSI-OI 模型拥有较为平衡的敏感性和特异性指标,且准确率达到 85.98%,AUC 为 0.8923。整体来看,由于 OSI-OI 模型引入了 Paw 参数,模型整体的 ARDS 辨识要优于 S/F-P/F 和 $Lg(S/F)-Lg(P/F)$ 这两个模型。

表 4 3 种线性模型在测试集上的辨识效果

疾病严重程度	性能指标	S/F-P/F	$Lg(S/F)-Lg(P/F)$	OS-OI
重度 ARDS ($P/F \leq 100$ 或 $OI \geq 16$)	敏感性	86.78%	84.87%	89.78%
	特异性	35.78%	50.67%	76.45%
	准确率	76.15%	79.54%	85.98%
	AUC	0.6292	0.6548	0.8923
中度 ARDS ($100 < P/F \leq 200$ 或 $8 \leq OI < 16$)	敏感性	86.93%	88.65%	84.38%
	特异性	69.22%	73.89%	78.39%
	准确率	78.08%	80.45%	81.34%
	AUC	0.7807	0.8345	0.8438
轻度 ARDS ($200 < P/F \leq 300$ 或 $4 \leq OI < 8$)	敏感性	97.75%	81.76%	82.78%
	特异性	12.44%	25.16%	50.45%
	准确率	76.42%	77.46%	79.87%
	AUC	0.5509	0.5996	0.7537

3 讨论

本文利用 MIMIC-III 数据库,提取了患儿的多种生理参数,建立了 S/F-P/F、 $Lg(S/F)-Lg(P/F)$ 、OSI-OI 3 种 ARDS 辨识模型,探索研究使用不同的无创参数辨识儿童 ARDS 的效果。早期有研究显示,S/F 可以作为 P/F 的替代方案用于辅助诊断患儿的 ARDS 进展情况,但是其辨识效果存在不足,针对这一问题,本研究引入了对数线性回归模型 $Lg(S/F)-Lg(P/F)$ 和 OSI-OI 模型。对数线性回归模型比传统线性回归模型(S/F-P/F)在重度 ARDS、中度 ARDS 的辨识性能上有明显的优势,在轻度 ARDS 的辨识上,传统模型和对数线性回归模型都还需要改善,从而提高疾病辨识的特异性

和准确率。使用 OI 作为评估儿童 ARDS 的疾病程度是近年来提出的一种新的评估方式,对于有创通气的患儿,可以使用 OI 来评估患儿的 ARDS 病情,针对 OI 这一指标,使用无创参数 SpO_2 来代替 PaO_2 ,使用无创参数 OSI 来评估患儿的 ARDS 病情发展有明显优势。通过实验结果我们可以看出,OSI-OI 模型对轻度 ARDS、重度 ARDS 的辨识效果相对于对数线性回归模型和传统线性回归模型有很大的提升,在患儿血气分析结果缺失的情况下,OSI 可以作为 ARDS 病情发展的辅助诊断标准。

对于本研究而言,也存在一些不足,本文所有数据均来自 MIMIC-III 临床数据库,但是 MIMIC-

III 是一个单中心的数据库,无法保证使用单中心构建的数学模型可以很好的在其他医疗机构使用。在研究过程中,我们也发现 MIMIC-III 数据库中的数据记录存在很多异常数据,在研究过程中也令我们十分困惑,这些异常数据可能使得模型存在一些偏差,即使我们采取了大量的数据校对工作。未来我们计划基于以上研究,结合本院医疗资源,进一步开展利用无创生理参数辨识 ARD 患儿的疾病严重程度的研究。

总之,本文根据最新的 PALICC 指南,利用 MIMIC-III 数据库收集患儿相关生理参数,利用 GLM 模型建立了 S/F-P/F、Lg(S/F)-Lg(P/F)、OSI-OI3 种线性回归模型,利用患儿无创生理参数辨识 ARDS 的严重程度。研究表明,当患儿无法进行血气分析时,可以考虑使用 OSI、S/F 来代替 OI、P/F 来监测患儿 ARDS 疾病的变化情况,无创参数 OSI、S/F 可以为医护人员提供辅助诊断决策,在一定程度上改善 ARDS 患儿的诊断治疗现状,但是进一步的临床应用还需要大量的临床试验验证。

参考文献

- [1] Rezoagli E, Fumagalli R, Bellani G. Definition and epidemiology of acute respiratory distress syndrome[J]. *Ann Transl Med*, 2017, 5(14):282.
- [2] The Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2015, 16(5):428.
- [3] Cheifetz IM. Year in Review 2015: Pediatric ARDS [J]. *Respir Care*, 2016, 61(7):980-985.
- [4] Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, et al. Report of the American-European consensus conference on ARDS: definitions, mechanisms, relevant outcomes and clinical trial coordination. The Consensus Committee[J]. *Intensive Care Med*, 1994, 20(3):225-232.
- [5] 尹文,李俊杰,张斌,等.急性呼吸窘迫综合征诊疗新进展[J]. *临床急诊杂志*, 2017, 18(2):81-85.
- [6] 赵惠军,杨鹏程,王亚林.基于无创参数 SpO₂/FiO₂ 辨识 ARDS 患者疾病程度的研究[J]. *医疗卫生装备*, 2018, 39(3):6-9,14.
- [7] Brown SM, Grissom CK, Moss M, et al. Non-linear imputation of PaO₂/FIO₂, from SpO₂/FIO₂, among patients with Acute Respiratory Distress Syndrome [J]. *Chest*, 2016, 150(2):307-313.
- [8] Bilan N, Dastranji A, Ghalehgalab BA. Comparison of the spo₂/fio₂ ratio and the pao₂/fio₂ ratio in patients with acute lung injury or acute respiratory distress syndrome[J]. *Chest*, 2007, 132(2):410-417.
- [9] 杨鹏程,王春飞,张广,等.基于多种方法评估 ARDS 病情严重程度及预后的现状与展望[J]. *军事医学*, 2017, 41(12):1021-1024,1026.
- [10] Khemani RG, Patel NR, Rd BR, et al. Comparison of the pulse oximetric saturation/fraction of inspired oxygen ratio and the PaO₂/fraction of inspired oxygen ratio in children[J]. *Chest*, 2009, 135(3):662.
- [11] Thomas NJ, Shaffer ML, Willson DF, et al. Defining acute lung disease in children with the oxygenation saturation index[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2010, 11(1):12.
- [12] Desprez K, Mcneil JB, Wang C, et al. Oxygenation Saturation Index Predicts Clinical Outcomes in ARDS [J]. *Chest*, 2017, 152(6):1151-1158.
- [13] Hammond BG, Garcia-Filion P, Kang P, et al. Identifying an Oxygenation Index Threshold for Increased Mortality in Acute Respiratory Failure [J]. *Respir Care*, 2017, 62(10):1375.
- [14] Johnson AE, Pollard TJ, Shen L, et al. MIMIC-III, a freely accessible critical care database[J]. *Sci Data*, 2016, 3:160035.
- [15] Ferguson ND, Fan E, Camporota L, et al. The Berlin definition of ARDS: an expanded rationale, justification, and supplementary material[J]. *Intensive Care Med*, 2012, 38(10):1573-1582.
- [16] Lindsey JK, Jones B. Choosing among generalized linear models applied to medical data[J]. *Stat Med*, 1998, 17(1):59.
- [17] Khemani RG, Thomas NJ, Venkatachalam V, et al. Comparison of SpO₂ to PaO₂ based markers of lung disease severity for children with acute lung injury [J]. *Crit Care Med*, 2012, 40(4):1309-1316.
- [18] Ray S, Rogers L, Pagel C, et al. PaO₂/FIO₂ Ratio Derived From the SpO₂/FIO₂ Ratio to Improve Mortality Prediction Using the Pediatric Index of Mortality-3 Score in Transported Intensive Care Admissions[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2017, 18:1.
- [19] Pandharipande PP, Shintani AK, Hagerman HE, et al. Derivation and validation of Spo₂/Fio₂ ratio to impute for Pao₂/Fio₂ ratio in the respiratory component of the Sequential Organ Failure Assessment score[J]. *Crit Care Med*, 2009, 37(4):1317-1321.
- [20] Khemani RG, Thomas NJ, Venkatachalam V, et al. Comparison of SpO₂ to PaO₂ based markers of lung disease severity for children with acute lung injury [J]. *Crit Care Med*, 2012, 40(4):1309-1316.
- [21] ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. *JAMA*, 2012, 307(23):2526-2533.

(收稿日期:2018-09-19)