

# 脉搏血氧饱和度对丽江地区 ARDS 患者病情评估的可行性分析

杨潇<sup>1</sup> 刁璐<sup>1</sup> 陈耀武<sup>2</sup> 陈一峰<sup>2</sup> 代冬梅<sup>1</sup> 肖李乐云<sup>1</sup> 王英<sup>1</sup> 许汪斌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>昆明医科大学第一附属医院重症医学科,云南昆明 650032; <sup>2</sup>丽江市人民医院急救医学部,云南丽江 674100

通信作者:许汪斌, Email: xwbyn@126.com

**【摘要】目的** 探讨在丽江地区使用脉搏血氧饱和度(SpO<sub>2</sub>)对急性呼吸衰竭(ARDS)患者病情评估的可行性。**方法** 选择2020年8月至12月丽江市人民医院急诊科就诊的ARDS患者作为研究对象。按病情严重程度将患者分为轻度ARDS组[200 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)≤氧合指数(PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, P/F)≤300 mmHg]和中重度ARDS组(P/F≤200 mmHg)。记录患者的一般情况、临床诊断、动脉血气分析结果,比较不同病情严重程度两组ARDS患者上述指标的差异。采用Spearman相关性分析法分析SpO<sub>2</sub>与动脉血氧饱和度(SaO<sub>2</sub>)的相关性。将SpO<sub>2</sub>带入Ellis方程式和Rice方程式中,计算出推导的P/F,分析推导的P/F与动脉血气分析中测量的实测P/F的相关性;绘制受试者工作特征曲线(ROC曲线),计算SpO<sub>2</sub>/吸入氧浓度(SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, S/F)替代P/F评估ARDS患者氧合的敏感度和特异度;评价SpO<sub>2</sub>对丽江地区ARDS患者病情评估的可行性。**结果** 与轻度ARDS组比较,中重度ARDS组动脉血氧分压(PaO<sub>2</sub>)、SaO<sub>2</sub>及血红蛋白(Hb)均明显降低[PaO<sub>2</sub>(mmHg):50.5(39.3, 56.5)比60.0(55.0, 67.5), SaO<sub>2</sub>:0.86(0.73, 0.91)比0.93(0.90, 0.96), Hb(g/L):142±27比156±24,均P<0.05]。相关性分析显示,高海拔地区ARDS患者的SpO<sub>2</sub>与SaO<sub>2</sub>呈显著正相关(R=0.650, P=0.000);用Rice公式推导出的P/F与动脉血气分析得出的P/F呈显著正相关(R=0.802, P=0.000);轻度ARDS组和中重度ARDS组推导出的P/F与实测P/F均呈显著正相关(R值分别为0.562和0.647,均P=0.000)。用Ellis公式推导出的P/F与动脉血气分析得出的P/F呈显著正相关(R=0.822, P=0.000);轻度ARDS组和中重度ARDS组推导出的P/F与实测P/F均呈正相关(R值分别为0.556和0.589, P值分别为0.000和0.010)。ARDS患者S/F与P/F呈显著正相关(R=0.828, P=0.000),回归方程为S/F=1.33 P/F+52.41。ROC曲线分析显示:S/F对轻度和中重度ARDS患者均有一定预测价值,ROC曲线下面积(AUC)和95%可信区间(95%CI)为0.903(0.829~0.977)、0.936(0.870~1.000),均P=0.000;当截断值为452 mmHg时,S/F预测轻度ARDS的敏感度为100%,特异度为80.9%;当截断值为319 mmHg时,S/F预测中重度ARDS的敏感度为95.1%,特异度为86.2%。**结论** 在高海拔地区,ARDS患者的SpO<sub>2</sub>和SaO<sub>2</sub>具有相关性;使用SpO<sub>2</sub>推导的P/F与实测P/F在ARDS患者中具有明显相关性,尤其是中重度ARDS患者;SpO<sub>2</sub>可用于对高海拔地区ARDS患者病情严重程度的评估。

**【关键词】** 急性呼吸窘迫综合征; 动脉血氧分压; 脉搏血氧饱和度; 吸入氧浓度; 动脉血气分析; 急诊科

基金项目:云南省昆明市科技计划项目(20201H052);昆明医科大学研究生创新基金(2020S166)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210518-00737

## Feasibility of pulse oxygen saturation for the condition evaluation of acute respiratory distress syndrome patients in the Lijiang region

Yang Xiao<sup>1</sup>, Diao Lu<sup>1</sup>, Chen Yaowu<sup>2</sup>, Chen Yifeng<sup>2</sup>, Dai Dongmei<sup>1</sup>, Xiaoli Leyun<sup>1</sup>, Wang Ying<sup>1</sup>, Xu Wangbin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Intensive Care Unit, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, Yunnan, China; <sup>2</sup>Department of Emergency Medicine, People's Hospital of Lijiang, Lijiang 674100, Yunnan, China

Corresponding author: Xu Wangbin, Email: xwbyn@126.com

**【Abstract】Objective** To explore the feasibility of using pulse oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) to evaluate the condition of patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS) in the Lijiang region. **Methods** Patients with ARDS who visited the department of emergency of People's Hospital of Lijiang from August to December 2020 were selected as study subjects. Patients were divided by severity into mild ARDS group [200 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) ≤ oxygenation index (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, P/F) ≤ 300 mmHg] and moderate to severe ARDS group (P/F ≤ 200 mmHg). The general condition, clinical diagnosis, arterial blood gas analysis results of the patients were recorded, and the differences of the above indexes between the two groups of ARDS were compared. Spearman correlation analysis was used to analyze the correlation between SpO<sub>2</sub> and arterial oxygen saturation (SaO<sub>2</sub>). SpO<sub>2</sub> was carried into the Ellis equation and the Rice equation to calculate the derived P/F and analyze the correlation between the derived P/F and the P/F measured in arterial blood gas analysis; receiver operator characteristic curve (ROC curves) were plotted, the sensitivity and specificity of SpO<sub>2</sub>/fraction of inspiration oxygen (SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, S/F) instead of P/F to assess oxygenation in patients with ARDS was calculated. To evaluate the feasibility of SpO<sub>2</sub> for the condition evaluation of patients with

ARDS in the Lijiang region. **Results** Compared with the mild ARDS group, the arterial partial pressure of oxygen ( $\text{PaO}_2$ ),  $\text{SaO}_2$  and hemoglobin (Hb) were significantly decreased in the moderate to severe ARDS group [ $\text{PaO}_2$  (mmHg): 50.5 (39.3, 56.5) vs. 60.0 (55.0, 67.5),  $\text{SaO}_2$ : 0.86 (0.73, 0.91) vs. 0.93 (0.90, 0.96), Hb (g/L):  $142 \pm 27$  vs.  $156 \pm 24$ , respectively, all  $P < 0.05$ ]. Correlation analysis revealed a significant positive correlation between  $\text{SpO}_2$  and  $\text{SaO}_2$  in ARDS patients residing at high altitude ( $R = 0.650$ ,  $P = 0.000$ ). The P/F derived by the Rice formula was significantly and positively correlated with the P/F derived from arterial blood gas analysis ( $R = 0.802$ ,  $P = 0.000$ ). The deduced P/F in mild and moderate to severe ARDS groups were all significantly correlated with the measured P/F ( $R$  values were 0.562, 0.647, both  $P = 0.000$ ). The P/F derived using the Ellis formula showed a significant positive correlation with the P/F derived from arterial blood gas analysis ( $R = 0.822$ ,  $P = 0.000$ ). The deduced P/F of mild ARDS group and moderate to severe ARDS group were all positively correlated with the measured P/F ( $R$  values were 0.556, 0.589,  $P$  values were 0.000, 0.010). There was a significant positive correlation between S/F and P/F in ARDS patients ( $R = 0.828$ ,  $P = 0.000$ ), and the regression equation was  $\text{S/F} = 1.33 \text{ P/F} + 52.41$ . ROC curve analysis showed that S/F had some predictive value for patients with mild and moderate to severe ARDS, and area under ROC curve (AUC) and 95% confidence interval (95%CI) were 0.903 (0.829–0.977), 0.936 (0.870–1.000), both  $P = 0.000$ . When the cut-off value was 452 mmHg, S/F had a sensitivity of 100% and a specificity of 80.9% for predicting mild ARDS. When the cut-off value was 319 mmHg, S/F predicted moderate to severe ARDS with 95.1% sensitivity and 86.2% specificity. **Conclusions** At high altitude,  $\text{SpO}_2$  and  $\text{SaO}_2$  have been correlated in patients with ARDS, and P/F derived using  $\text{SpO}_2$  and measured P/F were significantly correlated in patients with ARDS, especially in those with moderate to severe ARDS.  $\text{SpO}_2$  may be useful in the assessment of severity of illness in patients with ARDS at high altitude.

**[Key words]** Acute respiratory distress syndrome; Arterial partial pressure of oxygen; Pulse oxygen saturation; Fraction of inspiration oxygen; Arterial blood gas; Department of emergency

**Fund program:** Yunnan Science and Technology Planning Project of China (2020–1–H–052); Graduate Innovation Fund of Kunming Medical University (2020S166)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430–20210518–00737

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 是在严重感染、休克、创伤及烧伤等疾病过程中出现的,以广泛肺泡上皮细胞和毛细血管损伤造成微血管通透性增加所致的渗透性肺水肿和顽固性低氧血症为特点的临床综合征<sup>[1]</sup>。在中高收入国家,ARDS 的发病率估计每年为 10.1 ~ 86.2 例/10 万人,中重度 ARDS 在重症监护病房(intensive care unit, ICU)患者中所占的比例为 1.6% ~ 7.7%, ARDS 患者在所有机械通气患者中所占的比例约为 8.0% ~ 19.7%<sup>[2]</sup>。动脉血氧合指数( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , P/F)是评价 ARDS 患者病情严重程度的关键指标。脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation,  $\text{SpO}_2$ )可以快速、连续且无创地监测,尤其是在急诊科,监测  $\text{SpO}_2$  至关重要,  $\text{SpO}_2 < 0.90$  可能会增加患者住院、入住 ICU 甚至使用机械通气的可能性,且与病死率增加有关<sup>[3]</sup>。相关研究表明,在一定条件下  $\text{SpO}_2$ /吸入氧浓度( $\text{SpO}_2$ /fraction of inspiration oxygen,  $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2$ , S/F)是可以替代 P/F 的。当海拔高度超过 2 400 m 时,特别是在急诊科,尚无研究表明 S/F 是否仍然可以替代 P/F 评估 ARDS 患者的病情严重程度。目前对  $\text{SpO}_2$  和动脉血氧分压(arterial partial pressure of oxygen,  $\text{PaO}_2$ )相关性研究的方程式分为两方面,一方面是通过模拟氧-血红蛋白解离曲线技术;另一方面是描述 S/F 比值之间的线性/对数关系。在临床上比较多见的有

Ellis 方程<sup>[4]</sup>和 Rice 方程<sup>[5]</sup>。但这两个方程并未在高海拔地区验证。本研究收集高海拔地区(2 200 m)丽江市人民医院急诊科 ARDS 患者的  $\text{SpO}_2$ ,将  $\text{SpO}_2$  代入 Ellis 方程式和 Rice 方程式中得出计算的 P/F (推导 P/F),与动脉血气测得的 P/F (实测 P/F)比较,结果显示二者具有较好的相关性。表明  $\text{SpO}_2$  可用于高海拔地区 ARDS 患者病情严重程度的评估,为快速筛查 ARDS 患者、评估 ARDS 患者病情严重程度提供了一种简便易行的方法。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象:**选择 2020 年 8 月至 12 月在丽江市人民医院急诊科就诊的非机械通气 ARDS 患者作为研究对象。

**1.1.1 纳入标准:**①呼吸症状新发或加重后 1 周内;②胸部 X 线或肺部超声显示双肺浸润影;③低氧血症:呼气末正压/持续气道正压(positive end-expiratory pressure/continuous positive airway pressure, PEEP/CPAP)  $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$  ( $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$ ) 时,  $200 \text{ mmHg}$  ( $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$ )  $< \text{P/F} \leq 300 \text{ mmHg}$  为轻度; PEEP/CPAP  $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$  时,  $100 \text{ mmHg} < \text{P/F} \leq 200 \text{ mmHg}$  为中度; PEEP/CPAP  $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$  时,  $\text{P/F} \leq 100 \text{ mmHg}$  为重度;④  $\text{S/F} \leq 315$ 。

**1.1.2 排除标准:**①年龄  $< 18$  岁;②  $\text{SpO}_2 \geq 0.98$  (呼吸空气的情况下);③纽约心脏病协会(New York Heart Association, NYHA) 心功能分级 4 级的充

血性心力衰竭(心衰)、急性心肌梗死;④肺、气道解剖异常;⑤入组前72 h内接受过心肺复苏(cardio-pulmonary resuscitation, CPR);⑥心衰或液体过度负荷导致的肺水肿;⑦无法获得知情同意或授权。

**1.2 伦理学:**本研究符合医学伦理学标准,并通过丽江市人民医院医学伦理委员会审查批准(审批号:20200004),采取的检测均获得过患者或其近亲属的知情同意。

**1.3 研究分组:**患者到达急诊科时收集相关资料,使用PM-60型脉搏血氧仪测定SpO<sub>2</sub>并记录。当患者SpO<sub>2</sub>≥0.90时,记录动脉血气分析指标。当患者SpO<sub>2</sub><0.90时,使用储氧面罩吸氧治疗,记录维持SpO<sub>2</sub>≥0.90所需的FiO<sub>2</sub>,吸氧10 min后,记录动脉血气分析相关数值。根据测定的动脉血气P/F情况,将患者分为轻度ARDS组(200 mmHg≤P/F≤300 mmHg)和中重度ARDS组(P/F≤200 mmHg)。

#### 1.4 资料收集

**1.4.1 一般资料:**收集患者的性别、年龄、民族、病因等资料。

**1.4.2 实验室资料:**患者入住急诊科后收集SpO<sub>2</sub>、FiO<sub>2</sub>、动脉血气分析[pH值、PaO<sub>2</sub>、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO<sub>2</sub>)、动脉血氧饱和度(arterial oxygen saturation, SaO<sub>2</sub>)、P/F、碳酸氢根(bicarbonate ion, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、血乳酸(lactic acid, Lac)、血红蛋白(hemoglobin, Hb)。

**1.4.3 P/F的校正:**当海拔超过1 000 m时,P/F校正公式为P/F=P/F×(当地大气压/760 mmHg)。丽江地区ARDS患者计算得出的P/F通过丽江地区平均大气压与海平面的比值(0.75)来调整。

**1.5 P/F的计算方法:**根据Rice方程<sup>[5]</sup>,S/F=64+0.84×P/F,将SpO<sub>2</sub>带入公式得出P/F。根据Ellis方程<sup>[4]</sup>,PaO<sub>2</sub>=(B+A)<sup>1/3</sup>-(B-A)<sup>1/3</sup>[A=117 000×(SpO<sub>2</sub><sup>-1</sup>-1),B=(1 500+A<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>],将SpO<sub>2</sub>代入方程,计算PaO<sub>2</sub>,得出P/F。

**1.6 统计学处理:**使用SPSS 23.0统计软件分析数据。计量资料呈正态分布者以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )

表示,采用t检验;呈偏态分布者以中位数(四分位数)[M(Q<sub>L</sub>, Q<sub>U</sub>)]表示,组间比较采用秩和检验。采用Spearman相关性分析法分析SpO<sub>2</sub>与SaO<sub>2</sub>的相关性,计算其相关系数R。将测定的SpO<sub>2</sub>分别带入Ellis方程式和Rice方程式中,计算轻度ARDS组和中重度ARDS组推导的P/F;采Spearman相关性分析法分析推导的P/F与实测P/F,以及S/F与P/F的相关性;绘制受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC曲线),评价不同病情严重程度ARDS患者使用S/F替代P/F评估氧合的价值。P<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 不同病情严重程度两组ARDS患者一般资料比较(表1):**最终纳入轻度ARDS组47例,中重度ARDS组29例。两组性别、年龄、民族、病因等一般资料比较差异均无统计学意义(均P>0.05),说明两组资料均衡,有可比性。两组民族分布均以汉族为主,病因以肺部疾病为主。

**2.2 不同病情严重程度两组ARDS患者血气分析情况比较(表2):**与轻度ARDS组比较,中重度ARDS组PaO<sub>2</sub>、SaO<sub>2</sub>及Hb均明显降低(均P<0.05)。两组PaCO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>、pH值、体温、FiO<sub>2</sub>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、实测P/F、按Ellis方程计算的P/F和按Rice方程计算的P/F比较差异均无统计学意义(均P>0.05)。

#### 2.3 相关性及线性分析

**2.3.1 SpO<sub>2</sub>与SaO<sub>2</sub>的相关性分析(图1):**Spearman相关性分析显示,SpO<sub>2</sub>与SaO<sub>2</sub>呈明显正相关[R=0.650, P=0.000, 95%可信区间(95% confidence interval, 95%CI)为85.6~90.7]。

**2.3.2 实测P/F与推导P/F的相关性分析(表3):**将SpO<sub>2</sub>带入Rice方程式中,将推导出的P/F与实测P/F进行Spearman相关性分析,结果显示二者呈显著正相关(R=0.802, P=0.000, 95%CI为0.646~0.812)。将SpO<sub>2</sub>带入Ellis方程式中,将推导出的P/F值与实测P/F值进行Spearman相关性分析,结果显示二者呈显著正相关(R=0.822, P=0.000, 95%CI为0.525~0.707)。由SpO<sub>2</sub>推导的P/F

表1 不同病情严重程度两组ARDS患者一般资料比较

组别	例数 (例)	性别(例)		年龄 [岁, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> )]	民族[例(%)]				病因[例(%)]			
		男性	女性		汉族	纳西族	藏族	白族	肺部疾病	创伤	脓毒症	其他
轻度ARDS组	47	32	15	55(35, 70)	36(76.6)	8(17.0)	3(6.4)	0(0)	23(48.9)	2(4.2)	2(4.2)	20(42.7)
中重度ARDS组	29	20	9	64(48, 73)	20(69.0)	8(27.6)	0(0)	1(3.4)	18(62.1)	2(6.9)	2(6.9)	7(24.1)

注:ARDS为急性呼吸窘迫综合征

表 2 不同病情严重程度两组 ARDS 患者血气分析情况比较

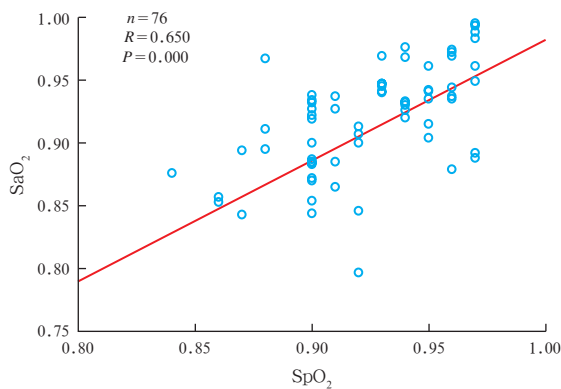
组别	例数 (例)	PaO <sub>2</sub> [ mmHg, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	PaCO <sub>2</sub> [ mmHg, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	SaO <sub>2</sub> [ M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	SpO <sub>2</sub> [ M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	pH 值 [ M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	体温 [ °C, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]
轻度 ARDS 组	47	60.0(55.0, 67.5)	32(27, 34)	0.93(0.90, 0.96)	0.94(0.91, 0.96)	7.42(7.39, 7.46)	36.5(36.3, 36.7)
中重度 ARDS 组	29	50.5(39.3, 56.5) <sup>a</sup>	30(26, 35)	0.86(0.73, 0.91) <sup>a</sup>	0.90(0.83, 0.92)	7.39(7.33, 7.48)	36.5(36.2, 36.8)

组别	例数 (例)	FiO <sub>2</sub> [ M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	Hb (g/L, $\bar{x} \pm s$ )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [ mmol/L, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	实测 P/F [ mmHg, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]	根据 Ellis 方程计算的 P/F (mmHg, $\bar{x} \pm s$ )	根据 Rice 方程计算的 P/F [ mmHg, M(Q <sub>L</sub> , Q <sub>U</sub> ) ]
轻度 ARDS 组	47	0.21(0.21, 0.29)	156 ± 24	22.3(20.7, 23.7)	262.0(240.5, 286.0)	230 ± 52	329.8(226.9, 346.8)
中重度 ARDS 组	29	0.40(0.29, 0.41)	142 ± 27 <sup>a</sup>	22.4(19.5, 23.5)	136.0(109.8, 161.3)	119 ± 47	141.1(129.5, 169.3)

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, PaO<sub>2</sub> 为动脉血氧分压, PaCO<sub>2</sub> 为动脉血二氧化碳分压, SaO<sub>2</sub> 为动脉血氧饱和度, SpO<sub>2</sub> 为脉搏血氧饱和度, FiO<sub>2</sub> 为吸入氧浓度, Hb 为血红蛋白, P/F 为 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, 即氧合指数; 1 mmHg=0.133 kPa; 与轻度 ARDS 组比较, <sup>a</sup>P<0.05

在轻度 ARDS 组和中重度 ARDS 组的一致性接近 (Kappa 值分别为 0.261 和 0.241, 均 P<0.05)。在轻度 ARDS 组中, 由 Ellis 公式推导 P/F 阳性率明显高于由 Rice 公式推导的 P/F 阳性率 [ 53.2% (25/47) 比 23.4% (11/47), P<0.01 ]; 在中重度 ARDS 组中, 由 Ellis 公式推导的 P/F 阳性率明显高于由 Rice 公式推导的 P/F 阳性率 [ 82.8% (27/29) 比 75.8% (22/29), P<0.05 ]。



注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, SpO<sub>2</sub> 为脉搏血氧饱和度, SaO<sub>2</sub> 为动脉血氧饱和度

图 1 丽江市人民医院收治 ARDS 患者 SpO<sub>2</sub> 与 SaO<sub>2</sub> 的相关性分析

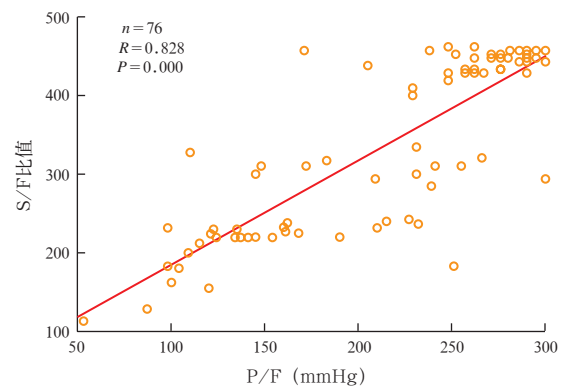
表 3 由 Rice 公式和 Ellis 公式推导出的 P/F 与实测 P/F 的相关性分析

组别	根据 Rice 公式推导出的 P/F 与实测 P/F		根据 Ellis 公式推导出的 P/F 与实测 P/F	
	R 值	P 值	R 值	P 值
轻度 ARDS 组	0.562	0.000	0.556	0.000
中重度 ARDS 组	0.647	0.000	0.589	0.010

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, P/F 为 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, 即血氧合指数

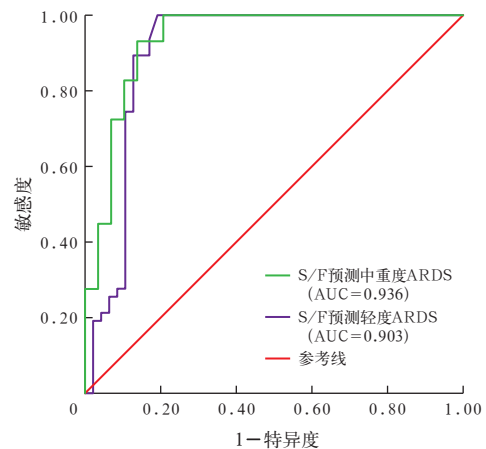
2.4 S/F 与 P/F 的相关性分析及对 ARDS 的预测价值 (图 2~3): 相关性分析显示, S/F 与 P/F 呈显著正相关, 回归方程为 S/F=1.33 P/F+52.41 (R=0.828, P=0.000)。S/F 预测轻度 ARDS 和中重度 ARDS 的 ROC 曲线下面积 (area under ROC curve,

AUC) 和 95%CI 分别为 0.903(0.829~0.977) 和 0.936(0.870~1.000), 均 P=0.000。基于回归方程, P/F 为 200 mmHg、300 mmHg 时, 当截断值为 452 mmHg 时, S/F 预测轻度 ARDS 的敏感度为 100%, 特异度为 80.9%; 当截断值为 319 mmHg 时, S/F 预测中重度 ARDS 敏感度为 95.1%, 特异度为 86.2%。



注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, S/F 为 SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, 即脉搏血氧饱和度 / 吸入氧浓度, P/F 为 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, 即氧合指数; 1 mmHg = 0.133 kPa

图 2 丽江市人民医院收治 ARDS 患者 S/F 比值与 P/F 的相关性



注: S/F 为 SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, 即脉搏血氧饱和度 / 吸入氧浓度, ARDS 为急性呼吸窘迫综合征, ROC 曲线为受试者工作特征曲线, AUC 为 ROC 曲线下面积

图 3 S/F 预测丽江市人民医院收治轻度和中重度 ARDS 的 ROC 曲线

### 3 讨论

ARDS为发生率、病死率均很高的疾病,主要与感染、创伤、误吸等有关<sup>[1,6]</sup>。随着医学技术的进步,SpO<sub>2</sub>监测已被广泛使用,但诊断ARDS的“金标准”仍是P/F<sup>[7]</sup>。本研究在高海拔地区且未接受机械通气的ARDS患者中进行,使用SpO<sub>2</sub>估测P/F,结果表明,与动脉血气分析实测的P/F有良好的相关性。在临床工作中,尤其是在院前急诊,可以快速使用SpO<sub>2</sub>及S/F代替P/F评估ARDS患者的病情严重程度。

ARDS的定义最初于1967年提出,是以病例报告的形式描述了危重成人与儿童急性低氧血症、非心源性肺水肿、肺顺应性降低、呼吸功增加和需要正压通气的临床表现<sup>[8]</sup>,1994年由美国-欧洲共识会议(American-European Consensus Conference, AECC)重新制定,并在2012年由柏林定义取代<sup>[9]</sup>。根据2012年诊断指南(柏林指南),ARDS的严重程度是根据P/F、PEEP来分级的<sup>[10]</sup>。由于柏林定义要求呼吸机正压通气、动脉血气分析和胸部X线/CT扫描,在医疗资源不足的情况下,如果不能及时进行相应的检测方法和呼吸机支持治疗,ARDS的诊断可能会无法进行或不准确,使许多医疗资源匮乏地区的ARDS患者不能被及时确诊,直接导致治疗的失败。Riviello等<sup>[11]</sup>分析了基加利大学医院1046例住院患者的病例数据,通过肺部超声检查评估ARDS的风险因素,预测ARDS患者的发病率和结局。结果显示,将柏林定义作为诊断标准,没有患者可以被确诊为ARDS;根据SpO<sub>2</sub>估算PaO<sub>2</sub>,并使用柏林定义的P/F≤300 mmHg时,ARDS的发病率为4.1%,与使用基加利修订标准(S/F≤315 mmHg)得到的患病率相似。因此,Riviello等<sup>[11]</sup>提出了柏林定义的基加利修改,将S/F≤315 mmHg加入到诊断标准中。基加利修改是第一次在低收入国家进行的关于ARDS的研究,尽管具有局限性,但仍然提示S/F可以替代P/F对ARDS患者的病情程度进行评估。

Festic等<sup>[12]</sup>为了观察S/F在预测ARDS中的有效性,用记录的S/F评估了4646例患者。得出的结论是S/F在入院后的最初6h内是影响患者发生ARDS的独立危险因素。Brown等<sup>[13]</sup>对703例机械通气患者的数据进行回归分析,结果显示,对于中重度ARDS患者,与P/F比较,S/F非线性回归分析更为准确。Domaradzki等<sup>[14]</sup>研究了178例中重度急

性肺栓塞患者,在13%的患者中发现S/F与48h内血流动力学恶化显著相关,S/F比值为260 mmHg是最佳预测因子,可以用来帮助评估溶栓剂使用的风险。在新型冠状病毒肺炎(新冠肺炎)患者的几个临床特征中,S/F被认为是影响新冠肺炎患者预后的潜在预测因子。Lu等<sup>[15]</sup>对诊断为新冠肺炎的280例患者的研究表明,除年龄、淋巴细胞计数降低和D-二聚体升高可能对重症新冠肺炎患者的预后产生不利影响外,S/F与死亡风险间也存在显著相关性,S/F降低患者的死亡风险增加1.82倍。以上研究均说明S/F替代P/F在ARDS的诊断和评估中被广泛应用。

在高海拔的环境中,根据生理压力和由此产生的病理学可分为不同阶段。中等海拔高度(1520~2440 m)时:人体会增加补偿性通气,同时降低运动性能,以维持SpO<sub>2</sub>>0.90。高海拔高度(>2440~4270 m)时:由于云南部分旅游景点在此海拔高度,因此,低海拔地区旅游患者发生高原病均在此海拔范围内。在这一高度范围内,SpO<sub>2</sub>低于0.90,患者可以在运动和睡眠期间低氧血症加重。非常高的海拔高度(>4270~5490 m)时:突然上升到这个高度是很危险的,需要适应环境以防止高原病,高原性肺水肿和高原性脑水肿的发生率明显增加。极端海拔高度(>5490 m)时:存在明显的低氧血症和低碳酸血症。低氧应激导致身体进行性生理恶化,最终压倒身体适应环境的能力<sup>[16]</sup>。随着海拔高度的增加,氧分压和氧弥散的驱动力以及肺泡与肺毛细血管间的氧分压均明显降低,造成SaO<sub>2</sub>下降,并随着海拔的升高以非线性的方式降低<sup>[17]</sup>。

目前对SpO<sub>2</sub>与PaO<sub>2</sub>相关性研究的方程式分为两方面,一方面是通过模拟氧-血红蛋白解离曲线技术的Hill方程<sup>[18]</sup>和Ellis方程<sup>[4]</sup>;另一方面是描述S/F比值之间线性/对数关系的Rice方程<sup>[5]</sup>和Pandharipande方程<sup>[18]</sup>。Bilan等<sup>[19]</sup>使用Ellis非线性方程、Rice线性方程和Pandharipande对数线性方程对SpO<sub>2</sub>≤0.96的血气结果进行分析,得出使用Ellis非线性方程比其他方程估算出的P/F值更准确。Gadrey等<sup>[20]</sup>回顾性研究了未插管急诊患者的动脉血气和采血前10 min的SpO<sub>2</sub>,将SpO<sub>2</sub>带入Hill、Ellis、Rice和Pandharipande方程式推算出P/F,同时将它们与实际测得的P/F和脓毒症诊断标准进行了比较。得出Ellis方程式对低氧血症严重性的

估计比其他现有方程式更准确。

本研究显示,使用 SpO<sub>2</sub> 和 Ellis 方程估计的 P/F 准确性更高。本研究在高海拔地区没有接受机械通气患者中验证了 Ellis 和 Rice 方程的性能。对于 P/F 接近正常的患者,用 Ellis 方程计算 P/F 比 Rice 公式更加准确。虽然根据 P/F 区分患者的病情严重程度是足够的,但本研究并未显示出实测的 SaO<sub>2</sub> 较 SpO<sub>2</sub> 低。P/F 比值接近临界值的患者,SpO<sub>2</sub> 对患者是否吸氧治疗或住院治疗的临床决策很重要。因此,如果 SpO<sub>2</sub> 低估了他们的低氧血症,可能符合入院标准的患者就会被误诊。由 SpO<sub>2</sub> 计算的 P/F 忽略了体温、pH 值和 Hb 对 SpO<sub>2</sub> 与 PaO<sub>2</sub> 关系的影响。当碳氧血红蛋白和高铁血红蛋白水平升高时,SpO<sub>2</sub> 也不能准确反映 PaO<sub>2</sub>。皮肤颜色的变化也会导致 SpO<sub>2</sub> 实测值的不准确,因此,建议在需要使用 P/F 决定是否住院的患者中进行动脉血气分析。在不影响患者安全的情况下,与接受吸氧的患者相比,测定室内空气中的 FiO<sub>2</sub> 更为准确。氧合状态的评估在两组患者中是最重要的:病情较轻的患者接受门诊治疗时,使用 SpO<sub>2</sub> 评估氧合情况,可以避免实测动脉血气分析,为治疗提供安全性;需要入院病情较重的患者,及早评估氧合状况对决定是否需要入住 ICU 非常重要。脉搏血氧仪可以连续监测 SpO<sub>2</sub>,通过计算不仅能及时评估患者的氧合状况,还能持续监测氧合情况,它比动脉血气分析侵入性更小,成本更低。

综上所述,急诊科非机械通气的 ARDS 患者使用 SpO<sub>2</sub> 计算得出 P/F, Ellis 方程比 Rice 方程更加准确;使用 S/F 可以替代 P/F 评估 ARDS 患者的病情严重程度,但仍然需要更大样本的临床试验进一步验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

[1] Matthay MA, Zemans RL, Zimmerman GA, et al. Acute respiratory distress syndrome [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2019, 5 (1): 18. DOI: 10.1038/s41572-019-0069-0.

[2] Kaku S, Nguyen CD, Htet NN, et al. Acute respiratory distress syndrome: etiology, pathogenesis, and summary on management [J]. *J Intensive Care Med*, 2020, 35 (8): 723-737. DOI: 10.1177/0885066619855021.

[3] Majumdar SR, Eurich DT, Gamble JM, et al. Oxygen saturations less than 92% are associated with major adverse events in outpatients with pneumonia: a population-based cohort study [J]. *Clin Infect Dis*, 2011, 52 (3): 325-331. DOI: 10.1093/cid/ciq076.

[4] Ellis RK. Determination of PO<sub>2</sub> from saturation [J]. *J Appl Physiol* (1985), 1989, 67 (2): 902. DOI: 10.1152/jappl.1989.67.2.902.

[5] Rice TW, Wheeler AP, Bernard GR, et al. Comparison of the SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio and the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio in patients with acute lung injury or ARDS [J]. *Chest*, 2007, 132 (2): 410-417. DOI:

10.1378/chest.07-0617.

[6] 李兴杰,余静,黄文娟,等. ICU 创伤患者发生 ARDS 的危险因素分析 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (10): 978-982. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.10.015.

Li XJ, Yu J, Huang WJ, et al. Risk factors analysis of acute respiratory distress syndrome in intensive care unit traumatic patients [J]. *Chin Crit Care Med*, 2018, 30 (10): 978-982. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.10.015.

[7] 刘涉泱,周干. 急性呼吸窘迫综合征的诊断及呼吸支持治疗进展 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2019, 26 (2): 247-250. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2019.02.029.

Liu SY, Zhou G. A review on progress of diagnosis and respiratory support therapy of acute respiratory distress syndrome [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2019, 26 (2): 247-250. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2019.02.029.

[8] Bisbal M, Gannier M. Acute respiratory distress in the adult [J]. *Rev Prat*, 2011, 61 (9): 1299-1308.

[9] Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1994, 149 (3 Pt 1): 818-824. DOI: 10.1164/ajrccm.149.3.7509706.

[10] 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. DOI: 10.1007/s00134-012-2682-1.

[11] Riviello ED, Kiviri W, Twagirumugabe T, et al. Hospital incidence and outcomes of the acute respiratory distress syndrome using the kigali modification of the berlin definition [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2016, 193 (1): 52-59. DOI: 10.1164/rccm.201503-0584OC.

[12] Festic E, Bansal V, Kor DJ, et al. SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio on hospital admission is an indicator of early acute respiratory distress syndrome development among patients at risk [J]. *J Intensive Care Med*, 2015, 30 (4): 209-216. DOI: 10.1177/0885066613516411.

[13] Brown SM, Duggal A, Hou PC, et al. Nonlinear imputation of PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> from SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> among mechanically ventilated patients in the ICU: a prospective, observational study [J]. *Crit Care Med*, 2017, 45 (8): 1317-1324. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002514.

[14] Domaradzki L, Ghahramani M, Rogers R, et al. SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> on presentation as a predictor for early hemodynamic deterioration in intermediate risk acute pulmonary embolism [J]. *Respir Care*, 2019, 64 (10): 1279-1285. DOI: 10.4187/respcare.06797.

[15] Lu XF, Jiang LY, Chen TG, et al. Continuously available ratio of SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> serves as a noninvasive prognostic marker for intensive care patients with COVID-19 [J]. *Respir Res*, 2020, 21 (1): 194. DOI: 10.1186/s12931-020-01455-4.

[16] Davis C, Hackett P. Advances in the prevention and treatment of high altitude illness [J]. *Emerg Med Clin North Am*, 2017, 35 (2): 241-260. DOI: 10.1016/j.emc.2017.01.002.

[17] 张世范,张德海,刘惠萍,等. 多脏器功能障碍评分系统:一种适应于中度高原地区 ARDS/MODS 的诊断标准 [J]. *中国危重病急救医学*, 2005, 17 (4): 217-222. DOI: 10.3760/j.issn:1003-0603.2005.04.008.

Zhang SF, Zhang DH, Liu HP, et al. Criteria suitable for diagnosis of acute respiratory distress syndrome/multiple organ dysfunction syndrome at moderately high altitude area [J]. *Chin Crit Care Med*, 2005, 17 (4): 217-222. DOI: 10.3760/j.issn:1003-0603.2005.04.008.

[18] Pandharipande PP, Shintani AK, Hagerman HE, et al. Derivation and validation of SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio to impute for PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio in the respiratory component of the sequential organ failure assessment score [J]. *Crit Care Med*, 2009, 37 (4): 1317-1321. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31819cefa9.

[19] Bilan N, Dastranji A, Ghalehgholab Behbahani A. Comparison of the SpO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio and the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio in patients with acute lung injury or acute respiratory distress syndrome [J]. *J Cardiovasc Thorac Res*, 2015, 7 (1): 28-31. DOI: 10.15171/jcvtr.2014.06.

[20] Gadrey SM, Lau CE, Clay R, et al. Imputation of partial pressures of arterial oxygen using oximetry and its impact on sepsis diagnosis [J]. *Physiol Meas*, 2019, 40 (11): 115008. DOI: 10.1088/1361-6579/ab5154.