

## 综合肺指数对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机结局的预测价值\*

吴楠 刘锦 冯献荣

锦州市中心医院, 锦州 121000

**[摘要]** **目的** 分析综合肺指数 (IPI) 对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机结局的预测价值。**方法** 收集 2019 年 1 月—2024 年 1 月锦州市中心医院收治的老年低氧型呼吸衰竭患者 151 例进行回顾性分析, 将撤机后 48 h 内再次行气管插管、气管切开或死亡的患者纳入撤机失败组 (23 例), 其余为撤机成功组 (128 例)。采用单因素及多因素 logistic 回归模型分析老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的影响因素, ROC 曲线分析 IPI 评分预测呼吸机撤机结局的价值。**结果** 单因素分析显示, 两组通气时间、入 ICU 时急性生理与慢性健康评估 II 评分、呼气末二氧化碳分压、呼吸频率、脉率及 IPI 评分比较, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ )。多因素 logistic 回归分析结果显示: IPI 评分为老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的独立影响因素之一 ( $P<0.05$ )。ROC 曲线显示, AUC 为 0.820 [95% CI: 0.719~0.920,  $P<0.001$ ], 灵敏度为 70.3%, 特异度为 82.6%, 最大约登指数为 0.529, IPI 评分的最佳临界值为 4.77 分。IPI<4.77 分患者的机械通气时间、ICU 住院时间、总住院时间均长于 IPI $\geq$ 4.77 分者, IPI<4.77 分患者的气管切开率大于 IPI $\geq$ 4.77 分者。**结论** IPI 评分对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败具有较高的预测价值, 且 IPI<4.77 分的患者呼吸机撤机失败的风险较高。

**[关键词]** 低氧型呼吸衰竭; 综合肺指数; 呼吸机撤机失败

doi: 10.3969/j.issn.1674-7593.2025.01.010

## Predictive value of integrated pulmonary index for the outcome of ventilator withdrawal failure in elderly patients with hypoxic respiratory failure

Wu Nan, Liu Jin, Feng Xianrong

Jinzhou Central Hospital, Jinzhou 121000

**[Abstract]** **Objective** To analyze the predictive value of integrated pulmonary index (IPI) in the outcome of ventilator withdrawal failure in elderly patients with hypoxic respiratory failure. **Methods** Clinical data of 151 elderly patients with hypoxic respiratory failure admitted to Jinzhou Central Hospital from January 2019 to January 2024 were collected and retrospectively analyzed. Patients who underwent tracheal intubation or tracheotomy again or died within 48 hours after withdrawal were included in the failed withdrawal group (23 cases), and the rest were included in the successful withdrawal group (128 cases). Univariate and multivariate logistic regression analysis were performed to analyze the influencing factors of ventilator withdrawal failure in elderly patients with hypoxic respiratory failure, and ROC curve analysis of IPI score was used to predict the outcome of ventilator withdrawal. **Results** Univariate analysis showed that there were significant differences in ventilation time, acute physiology and chronic health evaluation II score at ICU admission, partial pressure of end-tidal carbon dioxide, respiratory rate, pulse rate, and IPI score between the two groups ( $P<0.05$ ). The results of multivariate logistic regression analysis showed that IPI score was one of the independent factors of ventilator weaning failure in elderly patients with hypoxemic respiratory failure ( $P<0.05$ ). ROC curves showed that the AUC was 0.820 [95% CI: 0.719–0.920,  $P<0.001$ ], the sensitivity was 70.3%, the specificity was 82.6%, the maximum Youden index was 0.529, and the optimal cut-off value for IPI score was 4.77 scores. The duration of mechanical ventilation, ICU stay, and total hospital stay in patients with IPI<4.77 scores were longer than those in patients with IPI $\geq$ 4.77 scores, and the tracheotomy rate in patients with IPI<4.77 scores was higher than those in patients with IPI $\geq$ 4.77 scores. **Conclusion** IPI score has a high predictive value for ventilator withdrawal failure in elderly patients with hypoxic respiratory failure, and patients with IPI<4.77 scores have a higher risk of ventilator withdrawal failure.

收稿日期: 2024-05-22 修回日期: 2024-06-21 录用日期: 2024-06-24

\* 辽宁省自然科学基金 (2021-MS-380)

[Key words] Hypoxic respiratory failure; Integrated pulmonary index; Ventilator withdrawal failure

呼吸衰竭是指由于肺部疾病或胸廓运动障碍引起的呼吸功能不全,是临床上常见的重症疾病之一,根据患者的氧合情况可分为低氧型和高碳酸血症型<sup>[1-2]</sup>。老年低氧型呼吸衰竭患者由于年龄较大、基础疾病多、免疫功能低下等因素,较年轻患者更容易发生呼吸功能不全,且疾病进展迅速,病死率较高<sup>[3-4]</sup>。据统计,呼吸衰竭患者约占 ICU 患者的 10%,而老年低氧型呼吸衰竭患者更是重症监护患者中的重要组成部分,占比较高<sup>[5]</sup>。机械通气是老年低氧型呼吸衰竭患者治疗的重要手段,但是长期机械通气不仅能导致呼吸机相关性肺炎、气压伤等并发症,而且会给患者及家属带来极大的心理负担和经济压力<sup>[6-7]</sup>。因此,对于呼吸功能已得到改善的患者,尽早撤机是非常重要的。然而,对于老年低氧型呼吸衰竭患者而言,撤机的时间点和方法一直是临床医生面对的重要问题,而缺乏有效的预测指标使得医生在决定撤机时缺乏客观的依据,导致撤机失败率居高不下。综合肺指数(Integrated pulmonary index, IPI)是新兴的呼吸监测指标,有研究称,通过前瞻性观察研究发现,100 例机械通气患者,拔管后 1 h IPI 下降会增加撤机失败的概率( $OR = 1.57$ ,  $95\%CI: 1.001 \sim 2.454$ ),拔管后 IPI 评分可预测呼吸机拔管失败的风险<sup>[8-9]</sup>。徐娅静等<sup>[10]</sup>也证实了 IPI 评分可预测机械通气患者撤机失败的风险。本研究旨在通过分析 IPI 对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机结局的预测价值,以期为临床医生提供科学的依据,减少撤机失败的发生,改善预后。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

收集 2019 年 1 月—2024 年 1 月锦州市中心医院收治的 151 例老年低氧型呼吸衰竭患者进行回顾性分析。纳入标准:① I 型呼吸衰竭<sup>[11]</sup>;② 年龄 > 60 岁;③ 机械通气时间 > 24 h;④ 无机械通气治疗禁忌证。排除标准:① 心肺复苏后患者;② 存在严重的心脏疾病或心功能不全;③ 严重的脑部损伤或脑功能不全;④ 癌症晚期;⑤ 有严重出血倾向;⑥ 伴有严重代谢性酸中毒;⑦ 有严重的多器

官功能障碍综合征。参考 Welte 等<sup>[12]</sup>相关文献,将撤机后 48 h 内再次行气管插管、气管切开或死亡的患者纳入撤机失败组(23 例),其余均纳入撤机成功组(128 例)。

### 1.2 方法

**1.2.1 资料收集** 经电子病历系统采集通气时间、入 ICU 时急性生理与慢性健康评估 II (Acute physiology and chronic health evaluation, APACHE II) 评分<sup>[13]</sup>、呼气末二氧化碳分压 (Partial pressure of end-tidal carbon dioxide,  $P_{et}CO_2$ )、呼吸频率 (Respiratory rate, RR)、脉率 (Pulse rate, PR)、IPI、性别、年龄、合并疾病、体质量指数 (Body mass index, BMI)、 $K^+$ 、pH 值、氧合指数、血乳酸、血氧饱和度。

**1.2.2 IPI 评分** 拔管后 1 h,记录  $P_{et}CO_2$ 、RR、血氧饱和度、PR。 $P_{et}CO_2$  和 RR 定义为极高、高、正常、低、极低 5 个等级。血氧饱和度和 PR 被定义为高、正常和低 3 个等级。IPI 计算方法参照 Ronen 等<sup>[14]</sup>的模糊逻辑推理模型,根据 RR 和  $P_{et}CO_2$ ,矩阵表确定临时 IPI 后,再结合血氧饱和度和 PR 的评价最终确定 IPI,并与专家对临床场景的评分进行对比验证,换算分值为 1~10 分,评分越低反映患者预后越差,越需要干预。

### 1.3 统计学方法

采用 SPSS27.0 统计学软件进行数据分析。正态分布计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用  $t$  检验;计数资料用例 (%) 表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验;多因素 logistic 回归模型分析老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的影响因素;ROC 曲线分析 IPI 评分对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的预测价值;检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 两组临床资料比较

两组通气时间、入 ICU 时 APACHE II 评分、 $P_{et}CO_2$ 、RR、PR、IPI 评分比较,差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),两组性别、年龄、合并疾病(冠心病、高血压、糖尿病)、BMI、 $K^+$ 、pH 值、氧合指数、血乳酸、血氧饱和度比较,差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ),见表 1。

表 1 两组临床资料比较

Tab. 1 Comparison of clinical data between the two groups

资料	撤机失败组(23 例)	撤机成功组(128 例)	$t/\chi^2$ 值	$P$ 值
性别[例(%)]			1.385	0.239
男	11(47.83)	78(60.94)		
女	12(52.17)	50(39.06)		

续表 1

资料	撤机失败组(23 例)	撤机成功组(128 例)	$t/\chi^2$ 值	$P$ 值
年龄( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	68.55 ± 3.38	69.04 ± 3.48	0.624	0.533
冠心病[例(%)]			2.491	0.114
有	5(21.74)	13(10.16)		
无	18(78.26)	115(89.84)		
高血压[例(%)]			1.497	0.221
有	6(26.09)	20(15.63)		
无	17(73.91)	108(84.38)		
糖尿病[例(%)]			0.406	0.524
有	4(17.39)	16(12.50)		
无	19(82.61)	112(87.50)		
通气时间( $\bar{x} \pm s$ , d)	12.51 ± 3.13	7.08 ± 1.62	12.493	<0.001
入 ICU 时 APACHE II 评分( $\bar{x} \pm s$ , 分)	18.13 ± 3.48	16.15 ± 2.04	3.785	<0.001
BMI( $\bar{x} \pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	23.87 ± 2.73	23.69 ± 3.26	0.249	0.803
K <sup>+</sup> ( $\bar{x} \pm s$ , mmol/L)	7.45 ± 2.55	7.54 ± 2.34	0.168	0.867
pH 值( $\bar{x} \pm s$ )	7.42 ± 2.41	7.31 ± 2.52	0.194	0.847
氧合指数( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	232.63 ± 43.05	240.98 ± 48.02	0.779	0.437
血乳酸( $\bar{x} \pm s$ , mmol/L)	1.59 ± 0.55	1.54 ± 0.49	0.442	0.659
PetCO <sub>2</sub> ( $\bar{x} \pm s$ , mmHg)	311.74 ± 67.15	354.76 ± 46.16	3.813	<0.001
RR( $\bar{x} \pm s$ , 次/min)	28.19 ± 9.11	16.77 ± 7.12	6.771	<0.001
血氧饱和度( $\bar{x} \pm s$ , %)	93.58 ± 3.31	94.95 ± 3.67	1.671	0.097
PR( $\bar{x} \pm s$ , 次/min)	125.61 ± 12.16	90.32 ± 10.21	14.811	<0.001
IPI( $\bar{x} \pm s$ , 分)	3.64 ± 1.32	5.17 ± 1.12	5.866	<0.001

注: 1 mmHg=0.133 kPa

## 2.2 多因素 logistic 回归分析老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的影响因素

以老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机结局作为因变量(撤机成功=0, 撤机失败=1), 以通气时间、入 ICU 时 APACHE II 评分、PetCO<sub>2</sub>、RR、PR、IPI 评分作为自变量(自变量均为连续

型变量, 可原值代入), 进行多因素 logistic 回归分析。结果显示: 通气时间、入 ICU 时 APACHE II 评分、RR、PR、PetCO<sub>2</sub>、IPI 评分均为老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的独立影响因素( $P<0.05$ ), 见表 2。

表 2 多因素 logistic 回归分析结果

Tab. 2 Multivariate logistic regression analysis results

自变量	$B$	$SE$	Wald $\chi^2$	$P$ 值	$OR$	95% $CI$
通气时间	1.261	0.268	22.206	<0.001	3.530	2.089~5.965
入 ICU 时 APACHE II 评分	0.336	0.103	10.706	0.001	1.399	1.144~1.711
PetCO <sub>2</sub>	-0.016	0.005	11.778	<0.001	0.984	0.975~0.993
RR	0.173	0.035	24.873	<0.001	1.189	1.111~1.272
PR	0.331	0.082	16.438	<0.001	1.392	1.186~1.633
IPI	-1.029	0.229	20.195	<0.001	0.357	0.228~0.560

### 2.3 IPI 评分对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的预测价值

IPI 评分预测老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的 ROC 曲线显示, AUC 为 0.820 [95% CI: 0.719~0.920,  $P<0.001$ ], 灵敏度为 70.3%, 特异度为 82.6%, 最大约登指数为 0.529, IPI 评分的最佳临界值为 4.77 分, 见图 1。

### 2.4 两组治疗时间、气管切开率比较

以 IPI 评分的最佳临界值进行分组, 分为 IPI < 4.77 分 (48 例) 和 IPI  $\geq$  4.77 分 (103 例) 两组, IPI < 4.77 分的患者的机械通气时间、ICU 住院时间、总住院时间均长于 IPI  $\geq$  4.77 分者, IPI < 4.77 分的患者气管切开率大于 IPI  $\geq$  4.77 分者, 见表 3。

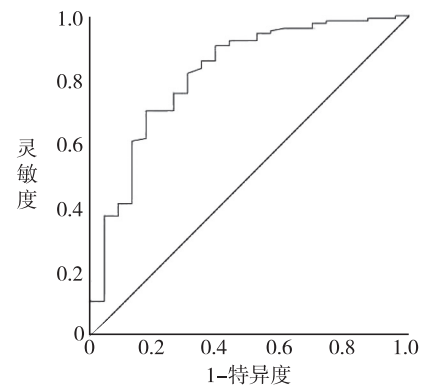


图 1 ROC 曲线图

Fig. 1 ROC curve

表 3 两组治疗时间、气管切开率比较

Tab. 3 Comparison of treatment time and tracheotomy rate between the two groups

组别	例数	机械通气时间( $\bar{x} \pm s, d$ )	ICU 住院时间( $\bar{x} \pm s, d$ )	总住院时间( $\bar{x} \pm s, d$ )	气管切开率[例(%)]
IPI < 4.77 分	48	7.33 $\pm$ 1.95	10.76 $\pm$ 2.76	23.58 $\pm$ 5.69	16(33.33)
IPI $\geq$ 4.77 分	103	4.68 $\pm$ 1.35	7.74 $\pm$ 2.15	21.41 $\pm$ 4.52	9(8.74)
$t/\chi^2$ 值		9.693	7.324	2.524	14.337
$P$ 值		<0.001	<0.001	0.013	<0.001

### 3 讨论

有报道称, 无创机械通气失败率在 ICU 患者中占 5%~60%<sup>[15]</sup>。本研究发现 151 例老年低氧型呼吸衰竭患者撤机失败 23 例, 占比 15.23%。Johnny 等<sup>[16]</sup> 报道拔管失败与病死率、机械通气时间延长和住院时间延长相关。因此, 对于机械通气治疗的患者, 预防和减少拔管失败对于降低病死率、缩短机械通气时间和减少住院时间具有重要意义。本研究发现, IPI 评分为老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的影响因素之一, IPI 评分与呼吸机撤机失败之间存在显著的负相关关系, 说明 IPI 评分越低, 呼吸机撤机失败的风险越高。IPI 评分越低意味着患者在拔管后 1 h 内的生命体征 (如  $P_{et}CO_2$ 、RR、血氧饱和度和 PR) 表现不佳。较低的  $P_{et}CO_2$  和 RR 可能表明患者的呼吸驱动不足, 无法有效维持气体交换; 而血氧饱和度和 PR 的低水平则提示心肺功能和氧合能力差, 这些指标综合反映了患者在呼吸机撤机过程中对自主呼吸的依赖程度及其生理状态的脆弱性<sup>[17]</sup>。因此, IPI 评分降低标志着患者在撤机后的生存能力减弱, 进而增加了撤机失败的风险。IPI 评分是通过综合考虑多种临床指标得出的评分结果, 其中可能包括年龄、生理指标、炎症标志物、营养状态等, 可反映患者的整体状况, 包括身体的功能状态、免疫炎症反应、代谢能力等方面。撤机过程中, 患者需要自主呼吸, 而呼吸机脱机的过程本身是一个长时间的过程, 容易导致肺部感染<sup>[17]</sup>。因此, 可能增加了撤机失败的风险。低 IPI 评分的

患者可能存在心肺功能减退的情况, 包括心力衰竭、肺部疾病等, 这些因素可能导致患者在撤机过程中无法维持足够的气体交换、肺泡通气等功能, 增加了撤机失败的风险<sup>[18]</sup>。且 ROC 曲线分析显示, IPI 评分在预测老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败方面具有较好的预测性能。本研究中, 低 IPI 评分患者需要更长时间的机械通气和住院治疗, 并且有较高的气管切开率。因此, 在撤机过程中, 对于 IPI 评分低的患者, 应该予以更加细致的关注和干预, 提供额外的支持和监测, 以降低撤机失败的发生率, 减少机械通气和住院时间。

本研究发现, 通气时间、入 ICU 时 APACHE II 评分、RR、PR 均为老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败的影响因素 ( $P<0.05$ )。通气时间长可能意味着患者的肺功能较差, 呼吸机撤机后无法维持足够的气体交换和通气能力, 从而增加了撤机失败的风险<sup>[19]</sup>。入 ICU 时 APACHE II 评分是一个评估患者疾病严重程度和预后的评分系统。较高的 APACHE II 评分提示了患者处于严重的疾病状态, 往往伴随多个器官的功能障碍, 这可能包括心血管系统、呼吸系统、肾脏功能、中枢神经系统等多方面的受损; 此外, 高 APACHE II 评分还暗示着患者可能处于一种全身性的炎症状态, 这种炎症状态可能引发全身性炎症反应综合征或严重感染, 并增加器官功能障碍的风险, 从而增加患者撤机失败的风险<sup>[18]</sup>。RR 和 PR 是生理指标, 可以反映患者的生理状态。较高的 RR 和 PR 可能

意味着患者存在呼吸困难、疼痛、焦虑等情况,这些因素可能增加撤机失败的风险<sup>[20-21]</sup>。

综上所述, IPI 评分对老年低氧型呼吸衰竭患者呼吸机撤机失败具有较高的预测价值,且 IPI 评分<4.77 分的患者呼吸机撤机失败的风险较高。但是本研究也存在不足,在研究中, <IPI 评分临界值的患者只有 48 例,可能导致研究结果的稳定性和可靠性不足。本研究采用回顾性研究设计,可能导致数据收集不完整或存在信息偏倚,为了更好地评估 IPI 评分与呼吸机撤机失败之间的关系,需要进行更严谨的前瞻性研究进一步验证。

### 参考文献

- [1] Lius E E, Syafaah I. Hyperoxia in the management of respiratory failure: a literature review[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2022,81:104393.
- [2] Cunningham S. Respiratory support in bronchiolitis: trial evidence[J]. *Am J Perinatol*, 2018,35(6):553-556.
- [3] Rettig J S, Smallwood C D, Walsh B K, et al. High-frequency oscillatory ventilation in pediatric acute lung injury: a multicenter international experience[J]. *Crit Care Med*, 2015,43(12):2660-2667.
- [4] Van de Louw A, Mirouse A, Peyrony O, et al. Bacterial pneumonias in immunocompromised patients[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2019,40(4):498-507.
- [5] Carson S S. Definitions and epidemiology of the chronically critically ill[J]. *Respir Care*, 2012,57(6):848-856; discussion 856-858.
- [6] Mehta A, Bhagat R. Preventing ventilator-associated infections[J]. *Clin Chest Med*, 2016,37(4):683-692.
- [7] Al-Ani A, AbuZayda H, Ahmed H, et al. Limitation of tube thoracostomy in treating pneumothorax in COVID-19 infected patients. A retrospective cohort study[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2022,80:104171.
- [8] Garah J, Adiv O E, Rosen I, et al. The value of Integrated Pulmonary Index (IPI) monitoring during endoscopies in children[J]. *J Clin Monit Comput*, 2015,29(6):773-778.
- [9] Kaur R, Vines D L, Liu L, et al. Role of integrated pulmonary index in identifying extubation failure[J]. *Respir Care*, 2017,62(12):1550-1556.
- [10] 徐娅静, 戚洪亮, 丰陈. 综合肺指数对成人 ICU 机械通气患者撤机失败的预测价值研究[J]. *实用心脑血管病杂志*, 2023,31(1):57-60.  
Xu Y J, Qi H L, Feng C. Predictive value of integrated pulmonary index on withdrawal failure in adult patients with mechanical ventilation in ICU[J]. *PJCCPVD*, 2023,31(1):57-60.
- [11] Mao W J, Chen J Y, Zheng M F, et al. Lung transplantation for phase III silicosis: a series of 32 cases[J]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, 2016,54(12):902-907.
- [12] Welte T M, Gabriel M, Hopfengärtner R, et al. Quantitative EEG may predict weaning failure in ventilated patients on the neurological intensive care unit[J]. *Sci Rep*, 2022,12(1):7293.
- [13] Huapaya J A, Wilfong E M, Harden C T, et al. Risk factors for mortality and mortality rates in interstitial lung disease patients in the intensive care unit[J]. *Eur Respir Rev*, 2018,27(150):180061.
- [14] Ronen M, Weissbrod R, Overdyk F J, et al. Smart respiratory monitoring: clinical development and validation of the IPITM (integrated pulmonary index) algorithm[J]. *J Clin Monit Comput*, 2017,31(2):435-442.
- [15] Gungor S, Mocin O Y, Tuncay E, et al. Risk factors of unfavorable outcomes in chronic obstructive pulmonary disease patients treated with noninvasive ventilation for acute hypercapnic respiratory failure[J]. *Clin Respir J*, 2020,14(11):1083-1089.
- [16] Johnny J D. Readiness assessment for extubation planning in the intensive care unit: a quality improvement initiative[J]. *Crit Care Nurs*, 2021,41(3):42-48.
- [17] Kuroe Y, Mihara Y, Okahara S, et al. Integrated pulmonary index can predict respiratory compromise in high-risk patients in the post-anesthesia care unit: a prospective, observational study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2021,21(1):123.
- [18] Waltersbacher S, Gückler J, Pietsch F, et al. Activation of respiratory muscles during weaning from mechanical ventilation[J]. *J Crit Care*, 2017,38:202-208.
- [19] Pirrone M, Fisher D, Chipman D, et al. Recruitment maneuvers and positive end-expiratory pressure titration in morbidly obese ICU patients[J]. *Crit Care Med*, 2016,44(2):300-307.
- [20] Mekontso-Dessap A, de Prost N, Girou E, et al. B-type natriuretic peptide and weaning from mechanical ventilation[J]. *Intensive Care Med*, 2006,32(10):1529-1536.
- [21] Barjaktarevic I, Toppen W E, Hu S, et al. Ultrasound assessment of the change in carotid corrected flow time in fluid responsiveness in undifferentiated shock[J]. *Crit Care Med*, 2018,46(11):e1040-e1046.