

## 脱机模型的初步建立

刘莲<sup>1,2</sup> 尹承芬<sup>2</sup> 支永乐<sup>2</sup> 高心晶<sup>2</sup> 徐磊<sup>2</sup>

<sup>1</sup>天津医科大学三中心临床学院,天津 300170; <sup>2</sup>天津市第三中心医院重症医学科,天津 300170  
通信作者:徐磊,Email:nokia007008@163.com

**【摘要】** 目的 通过血流动力学、液体平衡相关参数建立脱机失败预测模型以指导临床脱机。方法 回顾性分析2017年1月1日至2018年12月31日入住天津市第三中心医院重症医学科有创机械通气时间>24h并进行脱机试验患者的临床资料。搜集患者入重症监护病房(ICU)24h内的基线资料、脉搏指示连续心排量监测(PiCCO)的血流动力学参数、B型利钠肽(BNP)、尿量、液体平衡量以及脱机前24h内PiCCO监测的血流动力学参数、BNP、尿量、液体平衡量、利尿剂使用、去甲肾上腺素使用、机械通气期间连续性肾脏替代治疗(CRRT)使用情况。根据是否脱机成功将纳入患者分为脱机成功组和脱机失败组,比较两组间各变量的差异,将脱机前24h内差异有统计学意义的变量纳入 Logistic 回归分析中,建立脱机失败预测模型,并找出造成脱机失败的可能因素。结果 共有159例患者纳入研究,其中脱机成功138例,脱机失败21例。两组入ICU 24h内PiCCO监测参数、BNP、尿量、液体平衡量比较差异均无统计学意义;两组脱机前24h内BNP( $\chi^2=9.262$ 、 $P=0.026$ )、中心静脉压(CVP;  $\chi^2=7.948$ 、 $P=0.047$ )、左室收缩力指数(dPmx;  $\chi^2=10.486$ 、 $P=0.015$ )、尿量( $\chi^2=8.921$ 、 $P=0.030$ )、液体平衡量( $\chi^2=9.172$ 、 $P=0.027$ )差异均有统计学意义。此外,为完善模型和提高预测准确率,将脱机前心排量指数(CI;  $\chi^2=7.789$ 、 $P=0.051$ )也纳入预测模型。最终将脱机前24h内BNP、CVP、CI、dPmx、尿量、液体平衡量纳入 Logistic 回归模型,其预测脱机失败的准确率为92.9%,敏感度为100%,特异度为76.8%;用年龄和去甲肾上腺素使用进行校正后,其准确率为94.2%,敏感度为100%,特异度为81.2%。结论 以PiCCO监测指标联合液体平衡指标建立脱机失败预测模型预测脱机的准确率高,能指导临床脱机。

**【关键词】** 脱机失败预测模型; 脉搏指示连续心排量监测; 液体平衡; B型利钠肽

**基金项目:**天津市重大疾病防治科技重大专项(18ZXDBSY00100);天津市卫生行业重点攻关项目(14KG111)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20191015-00032

### Preliminary establishment of weaning prediction model

Liu Lian<sup>1,2</sup>, Yin Chengfen<sup>2</sup>, Zhi Yongle<sup>2</sup>, Gao Xinjing<sup>2</sup>, Xu Lei<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Third Central Clinical College of Tianjin Medical University, Tianjin 300170, China; <sup>2</sup>Department of Intensive Care Unit, Tianjin Third Central Hospital, Tianjin 300170, China

Corresponding author: Xu Lei, Email: nokia007008@163.com

**【Abstract】 Objective** To establish a model that can predict weaning failure from ventilation through hemodynamic and fluid balance parameters. **Methods** A retrospective analysis was conducted. The patients who underwent invasive mechanical ventilation for more than 24 hours and having spontaneous breathing test admitted to intensive care unit (ICU) of Tianjin Third Central Hospital from January 1st, 2017 to December 31st, 2018 were enrolled. The information was collected, which included the baseline data, hemodynamic parameters by pulse indicator continuous cardiac output (PiCCO) monitoring, B-type natriuretic peptide (BNP), urinary output, fluid balance in first 24 hours when patients admitted to ICU, and hemodynamic parameters by PiCCO monitoring, BNP, urinary output, fluid balance, diuretic usage, noradrenalin usage within 24 hours before weaning as well as usage of continuous renal replacement therapy (CRRT) during mechanical ventilation. According to weaning success or failure, the patients were divided into weaning success group and weaning failure group, and the statistical differences between the two groups were calculated. Variables with statistical significance within 24 hours before weaning were included in the multivariate Logistic regression analysis to establish weaning failure prediction model and find out the possible risk factors of weaning failure. **Results** A total of 159 patients were included in this study, which included 138 patients in the weaning success group and 21 patients in the weaning failure group. There were no statistical differences in all hemodynamic parameters by PiCCO monitoring, BNP, urinary output, fluid balance within 24 hours into ICU between two groups. There were statistical differences in BNP ( $\chi^2 = 9.262$ ,  $P = 0.026$ ), central venous pressure (CVP;  $\chi^2 = 7.948$ ,  $P = 0.047$ ), maximum rate of the increase in pressure (dPmx;  $\chi^2 = 10.486$ ,  $P = 0.015$ ), urinary output ( $\chi^2 = 8.921$ ,  $P = 0.030$ ), fluid balance ( $\chi^2 = 9.172$ ,  $P = 0.027$ ) within 24 hours before weaning between two groups. In addition, variable about cardiac index (CI;  $\chi^2 = 7.789$ ,  $P = 0.051$ ) was included into multivariate Logistic regression model to improve the prediction model and enhance the accuracy of model. Finally, variables included in the multivariate Logistic regression model were BNP, CVP, CI, dPmx, urinary output, fluid balance volume, and the accuracy of the weaning failure prediction model was 92.9%, the sensitivity was 100%, and the specificity was 76.8%. When the model was adjusted by variables of age and noradrenalin usage, the accuracy of model to predict failure of weaning was 94.2%, the sensitivity was 100%, the specificity was 81.2%.

**Conclusion** Weaning failure prediction model based on hemodynamic parameters by PiCCO monitoring and variables about liquid balance has high accuracy and can guide clinical weaning.

**【Key words】** Weaning failure prediction model; Pulse indicator continuous cardiac output monitor; Fluid balance; B-type natriuretic peptide

**Fund program:** Tianjin Major Disease Prevention and Treatment Science and Technology Major Project (18ZXDBSY00100); Key Project of Health Industry in Tianjin (14KG111)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20191015-00032

机械通气是重症监护病房(ICU)中常用的治疗策略和器官支持手段,是为了帮助患者渡过疾病危险期,终要脱离呼吸机(脱机),转至普通病房。目前关于机械通气(无论是有创还是无创通气)的脱机危险因素已有多方研究,浅快呼吸指数(RSBI)<sup>[1]</sup>、B型利钠肽(BNP)<sup>[2]</sup>、血管外肺水指数(EVLWI)<sup>[3]</sup>、膈肌活动度<sup>[4-6]</sup>等指标已被证实对机械通气脱机结局有一定的预测作用,但均为单一指标预测且准确度参差不齐。目前将这些单个有效的临床指标联合起来用于预测脱机结局的研究鲜见报道。本研究旨在通过脉搏指示连续心排量监测(PiCCO)血流动力学、液体平衡相关参数中有效的指标联合建立脱机预测模型,从而更全面精准地预测临床脱机。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象:**采用回顾性队列研究方法,选择2017年1月1日至2018年12月31日本院重症医学科收治的有创机械通气患者。

**1.1.1 纳入标准:**①入住ICU的有创机械通气患者;②年龄 $\geq 18$ 岁;③有创机械通气持续时间 $> 24$ h;④行PiCCO监测血流动力学;⑤以持续气道正压+辅助自主呼吸(CPAP+ASB)模式行30min自主呼吸试验(SBT)。

**1.1.2 排除标准:**①行气管切开;②行SBT前出院或死亡;③经鼻气管插管;④资料不完整者。

**1.1.3 伦理学:**本研究符合医学伦理学要求,已通过医院伦理委员会批准(审批号:IRB2018-031-02),取得伦理豁免权。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 资料搜集:**搜集患者入ICU 24h内的基本信息和临床资料,包括年龄、性别、身高、查尔森评分、急性生理学与慢性健康状况评分II(APACHE II)、序贯器官衰竭评分(SOFA)、PiCCO监测指标、BNP、尿量、液体平衡量、行有创机械通气的原因[心力衰竭、急性呼吸窘迫综合征(ARDS)、慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)、脓毒症等];脱机前24h内临床资料,包括PiCCO监测指标、BNP、尿量、液体平衡量、是否使用去甲肾上腺素、是否使用利尿剂

以及机械通气期间是否进行过连续性肾脏替代治疗(CRRT)。

**1.2.2 分组:**根据脱机结局将患者分为脱机成功组和脱机失败组。

**1.2.3 脱机结局判定:**用CPAP+ASB模式行30min SBT。脱机成功标准:对于气管插管患者,拔管后存活且7d内未再行有创机械通气(无论拔管后是否进行无创通气);若不满足上述脱机成功标准则判断为脱机失败。

**1.3 统计学分析:**用SPSS 20.0统计学软件进行数据处理。对正态分布的计量变量以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,用 $t$ 检验计算两组间差异;非正态分布的计量变量以中位数(四分位数)[ $M(Q_L, Q_U)$ ]表示,用秩和检验计算两组间差异;对计数变量以频数和百分比表示,用 $\chi^2$ 检验计算两组间差异。将脱机前24h内差异有统计学意义的变量纳入多因素Logistic回归分析,建立脱机失败预测模型,并用Hosmer-Lemeshow检验模型的拟合优度,用受试者工作特征曲线(ROC)评价所建模型对脱机失败的预测能力。为了能更准确发现脱机失败的危险因素,将收集的临床数据资料中呈连续性的参数以各自四分位数为界限分为4组(T1、T2、T3、T4)。脱机前24h内差异有统计学意义的变量,以四分位数为界限分为4组的中位数作为该参数的新连续性数值纳入多因素Logistic回归分析中,最后求得各参数的优势比(OR)线性趋势( $P$  for trend)。当 $P$ 或 $P$  for trend $< 0.05$ 时认为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 患者基线资料(表1):**有创机械通气668例,排除有创机械通气 $< 24$ h 171例、首次SBT前出院或死亡164例、气管切开90例、非CPAP+ASB模式脱机2例、未行PiCCO监测152例、资料不完整52例,最终纳入159例,其中脱机成功组138例,脱机失败组21例。两组患者性别、身高、机械通气原因、查尔森评分、APACHE II评分、SOFA评分比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。脱机失败组年龄 $\geq 60$ 岁者明显多于脱机成功组( $P<0.01$ )。

**表1 入ICU 24 h内是否成功脱机两组有创机械通气患者基线资料比较**

| 指标                               | 脱机成功组<br>(n=138) | 脱机失败组<br>(n=21) | $\chi^2/Z/t$ 值 | P值    |
|----------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------|
| 男性〔例(%)〕                         | 85(61.6)         | 9(42.9)         | 2.648          | 0.152 |
| 年龄〔例(%)〕                         |                  |                 | 7.002          | 0.008 |
| <60岁                             | 54(39.1)         | 2( 9.5)         |                |       |
| ≥60岁                             | 84(60.9)         | 19(90.5)        |                |       |
| 身高〔cm, $M(Q_L, Q_U)$ 〕           | 175(165, 179)    | 165(161, 175)   | -1.814         | 0.070 |
| 机械通气原因〔例(%)〕                     |                  |                 |                |       |
| 心力衰竭                             | 44(31.9)         | 7(33.3)         | 0.018          | 1.000 |
| AECOPD                           | 67(48.6)         | 6(28.6)         | 2.930          | 0.103 |
| ARDS                             | 6( 4.3)          | 1( 4.8)         | 0.007          | 1.000 |
| 脓毒症                              | 15(10.9)         | 5(23.8)         | 0.079          | 0.477 |
| 其他                               | 6( 4.3)          | 2( 9.5)         | 1.022          | 0.285 |
| 查尔森评分(分, $\bar{x} \pm s$ )       | 3.42 ± 2.33      | 4.33 ± 2.60     | -1.648         | 0.101 |
| APACHE II<br>〔分, $M(Q_L, Q_U)$ 〕 | 25(22, 28)       | 26(24, 29)      | -1.393         | 0.164 |
| SOFA评分(分, $\bar{x} \pm s$ )      | 9.40 ± 4.67      | 9.76 ± 5.04     | -0.329         | 0.743 |

注: ICU为重症监护病房, AECOPD为慢性阻塞性肺疾病急性加重, ARDS为急性呼吸窘迫综合征, APACHE II为急性生理学及慢性健康状况评分II, SOFA为序贯器官衰竭评分

**2.2** 两组间入ICU 24 h内临床资料比较(表2): 将入ICU 24 h内PiCCO监测参数、BNP、尿量以各自四分位数为界限分为4个亚组, 其患者所占比例在脱机成功组与脱机失败组间差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。

**2.3** 两组间脱机前24 h内临床资料比较(表2~3): 将脱机前24 h内PiCCO监测参数、BNP、尿量以各自四分位数为界限分为4个亚组进行检验。在PiCCO监测的血流动力学指标中, 脱机成功组与脱机失败组中心静脉压(CVP)、左室收缩力指数(dPmx)差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。在衡量液体平衡的参数中, 两组间BNP、尿量、液体平衡量差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。两组脱机前24 h内利尿剂和CRRT治疗使用率比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ )。脱机失败组去甲肾上腺素使用率略高于脱机成功组, 差异无统计学意义( $P=0.056$ )。

**表2 是否成功脱机两组有创机械通气患者入ICU 24 h内以及脱机前24 h内各指标比较**

| 指标              | 脱机成功组(n=138) |          |          |          | 脱机失败组(n=21) |         |         |          | $\chi^2$ 值 | P值    |
|-----------------|--------------|----------|----------|----------|-------------|---------|---------|----------|------------|-------|
|                 | T1           | T2       | T3       | T4       | T1          | T2      | T3      | T4       |            |       |
| 入ICU 24 h内      |              |          |          |          |             |         |         |          |            |       |
| BNP〔例(%)〕       | 37(26.8)     | 36(26.1) | 32(23.2) | 33(23.9) | 2( 9.5)     | 4(19.1) | 8(38.1) | 7(33.3)  | 4.833      | 0.184 |
| HR〔例(%)〕        | 31(22.5)     | 32(23.2) | 38(27.5) | 37(26.8) | 8(38.1)     | 5(23.8) | 3(14.3) | 5(23.8)  | 3.122      | 0.373 |
| MAP〔例(%)〕       | 33(23.9)     | 32(23.2) | 36(26.1) | 37(26.8) | 6(28.6)     | 7(33.3) | 3(14.3) | 5(23.8)  | 2.023      | 0.568 |
| CVP〔例(%)〕       | 31(22.5)     | 43(31.2) | 25(18.1) | 39(28.2) | 2( 9.5)     | 5(23.8) | 3(14.3) | 11(52.4) | 5.320      | 0.150 |
| GEDVI〔例(%)〕     | 35(25.3)     | 36(26.1) | 31(22.5) | 36(26.1) | 3(14.3)     | 7(33.3) | 8(38.1) | 3(14.3)  | 4.140      | 0.247 |
| EVLWI〔例(%)〕     | 27(19.6)     | 25(18.1) | 50(36.2) | 36(26.1) | 1( 4.8)     | 3(14.3) | 8(38.1) | 9(42.8)  | 4.248      | 0.236 |
| PVPI〔例(%)〕      | 34(24.6)     | 42(30.4) | 32(23.2) | 30(21.8) | 4(19.1)     | 5(23.7) | 4(19.1) | 8(38.1)  | 1.114      | 0.774 |
| CI〔例(%)〕        | 29(21.1)     | 42(30.4) | 33(23.9) | 34(24.6) | 8(38.1)     | 2( 9.5) | 7(33.3) | 4(19.1)  | 3.330      | 0.109 |
| SVRI〔例(%)〕      | 32(23.2)     | 41(29.7) | 33(23.9) | 32(23.2) | 4(19.1)     | 2( 9.5) | 8(38.1) | 7(33.3)  | 4.493      | 0.213 |
| dPmx〔例(%)〕      | 38(27.5)     | 38(27.5) | 30(21.8) | 32(23.2) | 1( 4.8)     | 5(23.8) | 8(38.1) | 7(33.3)  | 6.753      | 0.080 |
| 尿量〔例(%)〕        | 30(21.8)     | 38(27.5) | 37(26.8) | 33(23.9) | 7(33.3)     | 4(19.1) | 3(14.3) | 7(33.3)  | 3.330      | 0.344 |
| 液体平衡量<br>〔例(%)〕 | 29(21.1)     | 25(18.1) | 33(23.9) | 51(36.9) | 3(14.3)     | 7(33.3) | 5(23.8) | 6(28.6)  | 2.865      | 0.705 |
| 脱机前24 h内        |              |          |          |          |             |         |         |          |            |       |
| BNP〔例(%)〕       | 35(25.4)     | 39(28.3) | 34(24.6) | 30(21.7) | 4(19.0)     | 1( 4.8) | 6(28.6) | 10(47.6) | 9.262      | 0.026 |
| HR〔例(%)〕        | 33(23.9)     | 27(19.6) | 46(33.3) | 32(23.2) | 5(23.8)     | 2( 9.5) | 6(28.6) | 8(38.1)  | 2.744      | 0.433 |
| MAP〔例(%)〕       | 29(21.0)     | 36(26.1) | 37(26.8) | 36(26.1) | 9(42.9)     | 3(14.3) | 4(19.0) | 5(23.8)  | 5.136      | 0.162 |
| CVP〔例(%)〕       | 31(22.5)     | 34(24.6) | 36(26.1) | 37(26.8) | 0( 0 )      | 8(38.1) | 4(19.0) | 9(42.9)  | 7.948      | 0.047 |
| GEDVI〔例(%)〕     | 31(22.5)     | 36(26.0) | 36(26.1) | 35(25.4) | 7(33.3)     | 4(19.1) | 5(23.8) | 5(23.8)  | 1.314      | 0.726 |
| EVLWI〔例(%)〕     | 16(11.6)     | 54(39.1) | 27(19.6) | 41(29.7) | 0( 0 )      | 6(28.6) | 6(28.6) | 9(42.8)  | 4.617      | 0.196 |
| PVPI〔例(%)〕      | 23(16.7)     | 49(35.5) | 28(20.3) | 38(27.5) | 2( 9.5)     | 4(19.1) | 5(23.8) | 10(47.6) | 8.921      | 0.202 |
| CI〔例(%)〕        | 28(20.3)     | 34(24.6) | 39(28.3) | 37(26.8) | 11(52.4)    | 5(23.8) | 2( 9.5) | 3(14.3)  | 7.789      | 0.051 |
| SVRI〔例(%)〕      | 34(24.6)     | 36(26.1) | 36(26.1) | 32(23.2) | 4(19.0)     | 5(23.9) | 4(19.0) | 8(38.1)  | 2.244      | 0.523 |
| dPmx〔例(%)〕      | 38(27.5)     | 37(26.8) | 33(23.9) | 30(21.8) | 1( 4.8)     | 3(14.3) | 7(33.3) | 10(47.6) | 10.486     | 0.015 |
| 尿量〔例(%)〕        | 29(21.0)     | 34(24.6) | 35(25.4) | 40(29.0) | 5(23.8)     | 2( 9.5) | 6(28.6) | 8(38.1)  | 8.921      | 0.030 |
| 液体平衡量<br>〔例(%)〕 | 39(28.3)     | 34(24.6) | 34(24.6) | 31(22.5) | 0( 0 )      | 6(28.6) | 6(28.6) | 9(42.8)  | 9.172      | 0.027 |

注: 各指标以其四分位数为界限分为T1、T2、T3、T4组, T1为数值<下四分位数( $Q_L$ ), T2为 $Q_L \leq$ 数值<中位数( $M$ ), T3为 $M \leq$ 数值<上四分位数( $Q_U$ ), T4为数值 $\geq Q_U$ ; ICU为重症监护病房, BNP为B型利钠肽, HR为心率, MAP为平均动脉压, CVP为中心静脉压, GEDVI为全心舒张期末容积指数, EVLWI为血管外肺水指数, PVPI为肺血管通透性指数, CI为心排血指数, SVRI为全身血管阻力指数, dPmx为左室收缩力指数

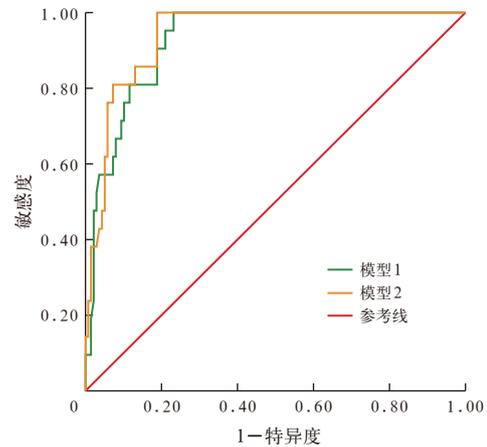
表3 是否成功脱机两组有创机械通气患者脱机前24 h内利尿剂、去甲肾上腺素使用及机械通气期间CRRT使用情况比较

| 组别         | 例数<br>(例) | 利尿剂<br>[例(%)] | 去甲肾上腺素<br>[例(%)] | CRRT治疗<br>[例(%)] |
|------------|-----------|---------------|------------------|------------------|
| 脱机成功组      | 138       | 86(62.3)      | 23(16.7)         | 55(39.9)         |
| 脱机失败组      | 21        | 12(57.1)      | 8(38.1)          | 6(28.6)          |
| $\chi^2$ 值 |           | 0.152         | 3.658            | 0.981            |
| <i>P</i> 值 |           | 0.697         | 0.056            | 0.322            |

注:CRRT为连续性肾脏替代治疗

**2.4 脱机失败预测模型建立及主要的危险因素**(表4;图1):为了将模型建立得更加完善和提高预测准确率,将脱机前心排血量指数(CI;*P*=0.051)也纳入模型。最终将脱机前24 h内BNP、CVP、CI、dPmx、尿量、液体平衡量纳入多因素Logistic回归分析得到模型1,经Hosmer-Lemeshow检验显示,模型1拟合优度良好(*P*=0.991);预测脱机的ROC曲线下面积(AUC)为0.929,95%可信区间(95%CI)为0.886~0.971,准确率为92.9%,敏感度为100%,特异度为76.8%。模型1中OR值随变量CI的增加而降低,随dPmx的增大而增加,随CVP和液体平衡量的增加而降低(均*P* for trend<0.05),其余变量OR值变化趋势差异无统计学意义。用年龄和脱机前去甲肾上腺素使用调整后得到模型2,经Hosmer-Lemeshow检验显示,模型2拟合优度良好

(*P*=0.999),其预测脱机的AUC为0.942,95%CI为0.907~0.979,准确率为94.2%,敏感度为100%,特异度为81.2%。在模型2中,调整OR值随脱机前24 h内液体平衡量和CVP的增加而呈下降趋势,随dPmx的增加呈增加趋势(均*P* for trend<0.05),其余变量OR值的变化趋势差异均无统计学意义(均*P* for trend>0.05)。



注:模型1为将脱机前24 h内的B型利钠肽(BNP)、中心静脉压(CVP)、心排血量指数(CI)、左室收缩力指数(dPmx)、尿量、液体平衡量纳入Logistic回归所得的模型,模型2为用年龄和去甲肾上腺素使用进行校正后的Logistic回归所得的模型,ROC曲线为受试者工作特征曲线

图1 脱机失败预测模型对有创机械通气患者脱机预测的ROC曲线

表4 159例有创机械通气患者脱机前24 h内各指标构建脱机失败预测模型中的数值及预测脱机的OR值

| 指标  | T1组<br>(n=159)        | T2组<br>(n=159)        | T3组<br>(n=159)        | T4组<br>(n=159) | <i>P</i> for trend |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| CI 数值 [mL·s <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> , <i>M</i> (范围)] | 39.51 (<45.51)        | 49.68 (45.51 ~ 55.51) | 59.68 (55.51 ~ 65.51) | 72.68 (>65.51) |                    |
| 模型1 OR值(95%CI)  | 5.810(0.771 ~ 43.797) | 3.156(0.398 ~ 24.999) | 2.043(0.210 ~ 19.907) | 1(参考组)         | 0.045              |
| 模型2 OR值(95%CI)  | 3.828(0.407 ~ 36.022) | 3.440(0.350 ~ 33.751) | 1.810(0.153 ~ 21.257) | 1(参考组)         | 0.143              |
| dPmx 数值 [mmHg/s, <i>M</i> (范围)]                             | 753 (<896)            | 976 (896 ~ 1107)      | 1234 (1107 ~ 1346)    | 1549 (>1346)   |                    |
| 模型1 OR值(95%CI)  | 0.025(0.002 ~ 0.327)  | 0.112(0.016 ~ 0.774)  | 0.729(0.151 ~ 3.532)  | 1(参考组)         | 0.001              |
| 模型2 OR值(95%CI)  | 0.026(0.002 ~ 0.405)  | 0.128(0.017 ~ 0.957)  | 0.957(0.169 ~ 5.426)  | 1(参考组)         | 0.004              |
| CVP 数值 [mmHg, <i>M</i> (范围)]                                | 5 (<7)                | 8 (7 ~ 10)            | 11 (10 ~ 14)          | 16 (>14)       |                    |
| 模型1 OR值(95%CI)  | 0.000(0.000)          | 0.995(0.211 ~ 4.702)  | 0.494(0.073 ~ 3.345)  | 1(参考组)         | 0.024              |
| 模型2 OR值(95%CI)  | 0.000(0.000)          | 1.235(0.244 ~ 6.257)  | 0.779(0.099 ~ 6.148)  | 1(参考组)         | 0.034              |
| 尿量 数值 [mL/24 h, <i>M</i> (范围)]                              | 1030 (<1750)          | 2200 (1750 ~ 2500)    | 2795 (2500 ~ 3150)    | 3925 (>3150)   |                    |
| 模型1 OR值(95%CI)  | 0.549(0.036 ~ 8.288)  | 0.822(0.069 ~ 9.845)  | 0.187(0.014 ~ 2.456)  | 1(参考组)         | 0.494              |
| 模型2 OR值(95%CI)  | 0.570(0.028 ~ 11.655) | 0.931(0.060 ~ 14.444) | 0.266(0.015 ~ 4.747)  | 1(参考组)         | 0.579              |
| 液体平衡量 数值 [mL/24 h, <i>M</i> (范围)]                           | -1620 (<-995)         | -546 (-995 ~ -309)    | -225 (-309 ~ 510)     | 1036 (>510)    |                    |
| 模型1 OR值(95%CI)  | 0.000(0.000)          | 0.397(0.058 ~ 2.706)  | 0.256(0.042 ~ 1.579)  | 1(参考组)         | 0.043              |
| 模型2 OR值(95%CI)  | 0.000(0.000)          | 0.243(0.026 ~ 2.235)  | 0.111(0.011 ~ 1.095)  | 1(参考组)         | 0.034              |
| BNP 数值 [ng/L, <i>M</i> (范围)]                                | 33 (<101)             | 146 (101 ~ 215)       | 351 (215 ~ 592)       | 1393 (>592)    |                    |
| 模型1 OR值(95%CI)  | 0.458(0.067 ~ 3.141)  | 0.082(0.005 ~ 1.417)  | 0.382(0.056 ~ 2.583)  | 1(参考组)         | 0.371              |
| 模型2 OR值(95%CI)  | 0.509(0.066 ~ 3.904)  | 0.066(0.004 ~ 1.221)  | 0.328(0.043 ~ 2.499)  | 1(参考组)         | 0.459              |

注:各指标以其四分位数为界限分为T1、T2、T3、T4组,T1为数值<下四分位数(*Q*<sub>1</sub>),T2为*Q*<sub>1</sub>≤数值<中位数(*M*),T3为*M*≤数值<上四分位数(*Q*<sub>3</sub>),T4为数值≥*Q*<sub>3</sub>;CI为心排血量指数,dPmx为左室收缩力指数,CVP为中心静脉压,BNP为B型利钠肽,模型1将脱机前24 h内的BNP、CVP、CI、dPmx、尿量、液体平衡量纳入Logistic回归所得的模型,模型2为用年龄和去甲肾上腺素使用进行校正后的Logistic回归所得的模型,OR为优势比,95%CI为95%可信区间,*P* for trend为将4组中位数纳入Logistic回归模型中所得OR值趋势检验结果;1 mmHg=0.133 kPa;空白代表未测

### 3 讨论

CVP、尿量、液体平衡量及 PiCCO 监测能为液体管理提供指导信息,同时也能参与指导临床脱机。本研究显示,脱机前 24 h 内液体平衡量和 CVP 增加,脱机风险随之下降,尿量的 OR 值并没有呈现逐渐升高或下降的趋势。结合表 2~4 可以发现:T1 组范围内时,CVP 和 24 h 液体平衡量在脱机失败组例数为 0,纳入回归分析显示模型的 OR 值和 95%CI 均为 0。在分组后各组样本量分布不均衡,以及临床诊疗过程中由于疾病种类、病情严重程度及各干预措施的不同,都可能是导致 T1 组范围内脱机失败组例数为 0 的因素。熊丽红等<sup>[7]</sup>研究发现,在大于 60 岁的老年人群中,有效循环液体量充足时,脱机当天负液体平衡 $(-973.48 \pm 476.00)$  mL 者脱机成功率高于液体正平衡者,能指导临床脱机。而该负平衡范围相当于本研究中 T1 组和 T2 组的数值范围。然而, Antonio 等<sup>[8]</sup>研究显示, SBT 前 48 h 液体平衡量在脱机成功与失败组间差异无统计学意义;而在慢性阻塞性肺疾病(COPD)亚组中提示, SBT 前 48 h 正液体平衡是脱机失败的因素之一。此外,尚无充足证据说明脱机前 24 h 或 48 h 液体平衡量是脱机失败的危险因素。研究中纳入尿量这一参数会受到利尿剂、肾功能、补液情况限制,这可能是导致尿量在本次研究中未起到预测作用的原因。Hemmer 等<sup>[9]</sup>一项小样本研究显示,机械通气状态下抗利尿激素的分泌比自主呼吸状态下分泌的更多,机体内游离水清除率远不如自主呼吸时的清除率。这项研究结果提示了机械通气期间测定出的尿量并不准确,也提示使用尿量作为机械通气脱机预判指标似乎并不理想。但是由于该研究的样本量较小,所以此结果并不能提供足够的证据来说明尿量与脱机之间的联系。

BNP 预测脱机结局的研究已较透彻<sup>[2, 10]</sup>,并且有研究证实 BNP 过高是脱机失败的独立危险因素之一<sup>[2]</sup>。多数研究中只是单用 BNP 作为脱机结局预测指标,临界值在 100~300 ng/L,准确率在 70%~80%<sup>[2, 11-13]</sup>。少数如 Lara 等<sup>[11]</sup>的研究中单用 BNP 指导脱机成功的准确率达 90% 以上。在 Maraghi 等<sup>[14]</sup>和 Farghaly 等<sup>[15]</sup>的研究中,用 SBT 前后 BNP 变化量( $\Delta$ BNP)作为脱机结局指导参考,结果显示  $\Delta$ BNP < 20% 预测脱机失败准确率均在 90% 以上,能有效指导临床脱机。本研究中随 BNP 增加脱机失败风险虽有下降,但差异无统计学意义。这可能

与取血检测 BNP 和行脱机间隔时间长短、纳入患者基础心脏功能有关。对于原本存在慢性心脏疾病的患者来说,他们在平常状态下 BNP 也会处于较高水平<sup>[10]</sup>,在机械通气状态下心脏前后负荷变化<sup>[16-17]</sup>,也会导致 BNP 水平变化。

PiCCO 监测对脱机直接进行指导的研究尚不充足。Garutti 等<sup>[3]</sup>的研究证实, EVLWI < 12 mL/kg 时预测无延迟脱机的准确率为 91.9%,肺血管通透性指数(PVPI) < 2.3 时预测无延迟脱机的准确率为 98.5%。同样有研究证实, EVLWI 和 PVPI 能指导脱机<sup>[18-19]</sup>。另有一些研究利用 PiCCO 进行液体管理,通过液体平衡的情况间接指导脱机<sup>[20]</sup>。EVLWI 和 PVPI 可以直接反映肺部的渗出情况指导脱机,也可以通过液体管理辅助临床脱机。

本研究显示预测模型的 OR 值随 CI 增加而下降。CI 在 T1 组范围内,表明心功能严重受损,此时脱机失败风险自然较高<sup>[21]</sup>;当 CI 在 T2 组和 T3 组范围时,心功能基本处于正常,其 OR 值均有进一步下降,但在校正后的模型 2 中该趋势差异无统计学意义,需进一步研究证实。低血容量时,CI 低,流经肺的血流也会减少,影响肺换气和全身氧输送,增加脱机失败风险。但此时心功能可能处于 Frank-Starling 曲线上分支<sup>[17]</sup>,在补足血容量后 CI 增加,肺换气不良会得到相应改善,脱机失败风险相应降低。而脱机前后由于胸内压、心脏前后负荷变化会影响心排量,对基础心功能差、心血管承受和调节能力欠佳的患者来说有增加肺水肿的危险<sup>[17, 22]</sup>。

dPmx 同样可反映心脏泵血能力,但与 CI 相反,随着 dPmx 增加,脱机失败 OR 值随之增加。这可能与 CI 是由热稀释曲线得出,而 dPmx 由动脉脉搏波轮廓分析得出有关,且 CI 可反映左右心整体泵血能力,而 dPmx 只能反映左心泵血能力,并没有考虑到右心。在机械通气时尤其是吸气相,肺泡突然充气,气道压和肺内压升高明显,而胸腔压力升高不明显,会使跨肺压突然增加,影响肺循环<sup>[16]</sup>,进而影响右心循环系统;而且胸腔压力的突然增加会加重心脏前负荷,增加心肌做功,也可能增加呼吸功<sup>[17, 22]</sup>,影响脱机结局。

本研究中除了比较既往研究过的脱机指导参数外,还发现 dPmx 也可能是脱机失败的危险因素。本研究建立的脱机失败预测模型是结合血流动力学和液体平衡方面的参数,这些参数也是临床上方便易得的数据。用模型预测脱机结局在一定程度上避

免了用单一参数指导临床脱机的偏倚,能更准确地对临床脱机结局进行预测,对延迟脱机和脱机后再插管有一定参考价值。

本研究也存在一些不足:首先,为了更好地反映各参数是否为脱机失败的危险因素,对连续性变量采用趋势 $\chi^2$ 检验,在分组后可能出现样本量分布不均衡和样本量相对较少,本研究结果有待多中心大数据的支持。其次,该模型只纳入了PiCCO监测的血流动力学参数和液体管理相关参数,在接下来的研究中可将如RSBI、死腔比、氧消耗、氧输送、膈肌运动幅度等有效参数纳入模型中,建立更完善统一的临床脱机体系。

#### 4 结论

以血流动力学参数CI、dPmx联合液体平衡参数BNP、CVP、尿量、24h液体平衡量能建立脱机失败预测模型,其准确率高,可指导临床脱机。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] Sklar MC, Burns K, Rittayamai N, et al. Effort to breathe with various Spontaneous Breathing Trial Techniques. A Physiologic Meta-analysis [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195 (11): 1477-1485. DOI: 10.1164/rccm.201607-1338OC.
- [2] 赖丽仁,王臻,童朝晖. B型利尿肽与机械通气的撤离[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2013, 36 (2): 113-115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2013.02.010.
- [3] Lai LR, Wang Z, Tong ZH. Evacuation of type B natriuretic peptide and mechanical ventilation [J]. *Chin J Tuberc Respir Dis*, 2013, 36 (2): 113-115. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2013.02.010.
- [4] Garutti I, Sanz J, Olmedilla L, et al. Extravascular lung water and pulmonary vascular permeability index measured at the end of surgery are independent predictors of prolonged mechanical ventilation in patients undergoing liver transplantation [J]. *Anesth Analg*, 2015, 121 (3): 736-745. DOI: 10.1213/ANE.0000000000000875.
- [5] 王飞飞,朱晓萍,张常晶,等.机械通气对AECOPD患者膈肌收缩功能的影响[J]. *中华危重病急救医学*, 2017, 29 (11): 988-993. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.11.006.
- [6] Wang FF, Zhu XP, Zhang CJ, et al. Effects of mechanical ventilation on diaphragmatic contractile function in patients with AECOPD [J]. *Chin Crit Care Med*, 2017, 29 (11): 988-993. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.11.006.
- [7] 樊麦英,罗杰英,文辉,等.超声监测膈肌运动指标对机械通气撤机的指导价值[J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (11): 1041-1045. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.11.006.
- [8] Fan MY, Luo JY, Wen H, et al. Value of the diaphragm movement index tested by ultrasonography for ventilation weaning [J]. *Chin Crit Care Med*, 2018, 30 (11): 1041-1045. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.11.006.
- [9] Llamas-Álvarez AM, Tenza-Lozano EM, Latour-Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and Meta-analysis [J]. *Chest*, 2017, 152 (6): 1140-1150. DOI: 10.1016/j.chest.2017.08.028.
- [10] 熊丽红,孟新科,张宪华,等.液体负平衡在ICU > 60岁患者机械通气撤机过程中的应用[J]. *中国急救医学*, 2015, 35 (8): 693-696. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2015.08.005.
- [11] Xiong LH, Meng XK, Zhang XH, et al. The impact of negative fluid balance on weaning from mechanical ventilation on more than 60 years old critical patients [J]. *Chin J Crit Care Med*, 2015, 35 (8): 693-696. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2015.08.005.
- [12] Antonio ACP, Teixeira C, Castro PS, et al. 48-hour fluid balance does not predict a successful spontaneous breathing trial [J]. *Respir Care*, 2015, 60 (8): 1091-1096. DOI: 10.4187/respcare.03172.
- [13] Hemmer M, Viquerat CE, Suter PM, et al. Urinary antidiuretic hormone excretion during mechanical ventilation and weaning in man [J]. *Anesthesiology*, 1980, 52 (5): 395-400. DOI: 10.1097/0000542-198005000-00004.
- [14] Dessap AM, Brochard L. B-type natriuretic peptide and weaning from mechanical ventilation [J]. *Clin Pulmonary Med*, 2009, 16 (2): 89-94.
- [15] Lara TM, Hajjar LA, de Almeida JP, et al. High levels of B-type natriuretic peptide predict weaning failure from mechanical ventilation in adult patients after cardiac surgery [J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2013, 68 (1): 33-38. DOI: 10.6061/clinics/2013(01)oa05.
- [16] 刘火根,顾凌,施云弟,等.神经通气耦联指数联合B型利尿肽对慢性心功能不全患者撤机的预测价值[J]. *中华危重病急救医学*, 2016, 28 (9): 790-795. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.09.005.
- [17] Liu HG, Gu L, Shi YD, et al. Predictive value of neuro-ventilatory coupling combined with B-type natriuretic peptide in the weaning outcome in patients with chronic cardiac insufficiency [J]. *Chin Crit Care Med*, 2016, 28 (9): 790-795. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.09.005.
- [18] Ediboğlu Ö, Kıraklı C. Can NT-pro BNP levels predict prognosis of patients with acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease in the intensive care unit? [J]. *Balkan Med J*, 2018, 35 (6): 422-426. DOI: 10.4274/balkanmedj.2018.0006.
- [19] Maraghi SE, Hosny M, Samir M, et al. Usage of B-type natriuretic peptide for prediction of weaning outcome by spontaneous breathing trial [J]. *Egypt J Chest Dis Tuberc*, 2014, 63 (3): 671-678. DOI: 10.1016/j.ejcdt.2014.04.003.
- [20] Farghaly S, Galal M, Hasan AA, et al. Brain natriuretic peptide as a predictor of weaning from mechanical ventilation in patients with respiratory illness [J]. *Aust Crit Care*, 2015, 28 (3): 116-121. DOI: 10.1016/j.aucc.2014.12.002.
- [21] Jardin F. Cyclic changes in arterial pressure during mechanical ventilation [J]. *Intensive Care Med*, 2004, 30 (6): 1047-1050. DOI: 10.1007/s00134-004-2254-0.
- [22] Mahmood SS, Pinsky MR. Heart-lung interactions during mechanical ventilation: the basics [J]. *Ann Transl Med*, 2018, 6 (18): 349. DOI: 10.21037/atm.2018.04.29.
- [23] 方明,陈森,郑崇伟,等.血管外肺水和容量指标在感染性休克患者呼吸机撤离中的临床意义[J]. *中华危重病急救医学*, 2013, 25 (1): 28-31. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.01.008.
- [24] Fang M, Chen M, Zheng CW, et al. Clinical value of extravascular lung water and preload parameters in weaning of mechanical ventilation in patients with septic shock [J]. *Chin Crit Care Med*, 2013, 25 (1): 28-31. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.01.008.
- [25] 卢经纬,刘君君. PICCO在急性呼吸窘迫综合征患者撤机中的指导价值[J]. *临床肺科杂志*, 2016, 21 (1): 163-165. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2016.01.047.
- [26] Lu JW, Liu JJ. Guiding value of PICCO in the withdrawal of patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *J Clin Pulmonary Med*, 2016, 21 (1): 163-165. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2016.01.047.
- [27] 方志成,郑翔,陈黎.强化液体管理对重症肺炎机械通气的影响[J]. *临床肺科杂志*, 2012, 17 (9): 1580-1582. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2012.09.015.
- [28] Fang ZC, Zheng X, Chen L. The impact of fluid management on mechanical ventilation of severe pneumonia [J]. *J Clin Pulmonary Med*, 2012, 17 (9): 1580-1582. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2012.09.015.
- [29] 张纳新,秦英智.动态微创心输出量监测对机械通气脱机的临床意义[J]. *中国急救医学*, 2003, 23 (2): 84-85. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2003.02.009.
- [30] Zhang NX, Qin YZ. Clinical valuation of continuous non-invasive cardiac output monitoring during mechanical ventilation and weaning [J]. *Chin J Crit Care Med*, 2003, 23 (2): 84-85. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2003.02.009.
- [31] Vignon P. Cardiovascular failure and weaning [J]. *Ann Transl Med*, 2018, 6 (18): 354. DOI: 10.21037/atm.2018.05.46.

(收稿日期:2019-10-15)