

快速拔管超声评分与心脏术后患者多器官信息 临床指标的相关性研究^{*}

康 慧¹, 张中伟^{2△}, 蒲护琼², 尹万红², 薛 杨², 曹 舸¹,
范景秀¹, 邓丽静², 戴小容², 纪 琳³, 钟晓绯⁴

1. 四川大学华西医院 心脏大血管外科(成都 610041); 2. 四川大学华西医院 重症医学科(成都 610041);
3. 四川大学华西医院 影像科(成都 610041); 4. 四川大学华西医院 超声诊断科(成都 610041)

【摘要】 目的 探讨快速拔管超声评分(fast-track extubation ultrasound score, FTEUS)用于反映心脏术后患者多器官信息临床指标的价值。**方法** 前瞻性纳入华西医院 2019 年 2~9 月,心脏大血管术后,准备拔管脱离呼吸机的患者。根据心脏术后患者特点,制定快速拔管超声评分方案(fast-track extubation ultrasound score protocol, FTE-USP),即在常规快速脱机标准的基础上,使用 FTEUS 对患者进行流程化、个体化的评估。由两位观察者分别使用 FTE-USP 进行患者超声影像评价,并用 Kendall 一致性系数判断观察者间一致性。评估 FTEUS 与各临床指标的相关性。**结果** 共 207 例患者纳入研究,其中男性 89 例,女性 118 例,年龄为(54.63±11.80)岁, FTEUS 均在床旁完成,完成时间为(8.23±2.08) min,观察者间 Kendall 一致性系数 0.941。随 FTEUS 总分增加,临床不良事件发生率随之增加(特别是心律失常发生率增加),肝、肾、心、肺等器官功能指标有明显变化,其中血清肌酐水平、血清胱抑素 C 水平、血清 N 端脑钠肽前体水平、术后监护室时间、拔管后无创机械通气时间、心律失常发生率与 FTEUS 呈正相关($P<0.05$)。FTEUS 达到 5 分时,心律失常(14/24, 58.3%)、心肺复苏(2/24, 8.3%)、脱机失败(2/24, 8.3%)发生率均增加。**结论** FTE-USP 整合了多器官信息,可于心脏术后患者床旁快速完成,并警示不良事件,有应用于协助临床决策的潜力。

【关键词】 床旁超声 快速拔管 FTEUS 心脏手术 机械通气

The Correlation of Fast-track Extubation Ultrasound Score and Clinical Multi-organ Information Indicators of Postoperative of Cardiac Surgery KANG Hui¹, ZHANG Zhong-wei^{2△}, PU Hu-qiong², YIN Wan-hong², XUE Yang², CAO Ge¹, FAN Jing-xiu¹, DENG Li-jing², DAI Xiao-rong², JI Lin³, ZHONG Xiao-fei⁴. 1. Department of Cardiovascular Surgery, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Critical Care Medicine, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 4. Department of Sonography, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

△ Corresponding author, E-mail: 716461751@qq.com

【Abstract】 Objective To evaluate the correlation of Fast-track extubation ultrasound score (FTEUS) and clinical multi-organ information indicators in post-cardiac surgery patients. **Methods** prospectively recruit post-cardiac surgery patients who were about to extubating from February 2019 to September 2019. A fast-track extubation ultrasound score protocol (FTE-USP) was developed on the basis of the conventional fast-track extubation standard precisely and individualized. Cardiac, pulmonary and inferior vena cava ultrasound examinations were performed by specially trained observers, video data were saved, FTE-USP was used for scoring, Kendall consistency coefficient was used to measure the interobserver consistency. The correlation between the FTEUS and the patients' clinical indicators was evaluated. **Results** A total of 207 patients were recruited in the study, including 89 males and 118 females, aged (54.63±11.80) years. The FTEUS was performed at bedside with a mean time of (8.23±2.08) min, Kendall consistency coefficient is 0.941. With the increase of the total score of FTEUS, the incidence of clinical adverse events increased (especially the arrhythmia), and there were significant changes in liver, kidney, heart, lung and other organ function indicators, among which serum creatinine level,

^{*} 四川省卫生计生委普及项目(No. 17PJ403)和成都市科技惠民项目(No. 2015-HM01-00496-SF)资助

△ 通信作者, E-mail: 716461751@qq.com

serum cystatin C level, serum NT-pro-brain natriuretic peptide, length of stay in intensive care unit, non-invasive mechanical ventilation time after extubation, and incidence of arrhythmia were positively correlated with FTEUS ($P < 0.05$). With FTEUS increased to 5 points, the incidence of arrhythmia (14/24, 58.3%), cardiopulmonary resuscitation (2/24, 8.3%) and weaning failure (2/24, 8.3%) increased. **Conclusion** FTE-USP integrates multi-organ informations, can be performed quickly at the bedside and alerts adverse events. It has the potential to be applied to assist clinical decision-making in post-cardiac surgery patients before extubation.

[Key words] Bedside ultrasound Fast-track extubation Fast-track extubation ultrasound score
Cardiac surgery Mechanical ventilation

体外循环术后患者大多在麻醉恢复前和机械通气状态下进入ICU,为了提高医疗质量,降低医疗费用,快速拔管(fast-track extubation, FTE)的概念在心脏术后患者管理中越来越重要^[1]。快速拔管的优点已经被公认,但患者拔管脱离呼吸机(脱机)过早,可造成再插管率上升;脱机过晚,并发症也会增加^[2-3]。快速拔管和再次插管率之间如何取得平衡,是个难点^[4]。超声具有易操作、床旁完成、可重复检查、辐射少等诸多优点,是一种出色的诊断和监测工具,可用于术后患者的心脏功能评估、肺部通气情况评估和容量状态评估^[5-7],可快速及时地提供精准的个体化信息。为解决临床拔管决策难题,本研究根据心脏术后患者特点,对计划快速拔管的患者进行床旁超声影像评估,制定了快速拔管超声评分方案(fast-track extubation ultrasound score protocol, FTE-USP),即在常规快速脱机标准的基础上,使用快速拔管超声评分(fast-track extubation ultrasound score, FTEUS)对患者进行流程化、个体化的评估,探讨FTEUS反映心脏术后患者多器官信息临床指标的价值。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象

纳入2019年2~9月心脏大血管术后,新入重症监护室(intensive care unit, ICU),临床指标达到脱机标准的患者,使用FTE-USP进行评估。本研究为前瞻性队列研究。研究方案经过四川大学华西医院生物医学伦理分委会审查(2017年审103号),研究注册号为ChiCTR-ROC-17011430。计划最低样本量108例。

1.2 纳入、排除标准

纳入标准:①心脏大血管术后;②入ICU后需机械通气;③临床指标达到常规快速脱机标准;④年龄大于18岁。

排除标准:①未行手术或手术失败;②腹腔内高压;③不能取得评估所需超声图像;④使用机械辅助

循环装置;⑤保留射血分数的心衰患者。

1.3 脱机标准

临床脱机标准为:①神志清醒,对语言指令的反应正确,四肢感觉运动正常,无谵妄;②血流动力学稳定,无明显恶性心律失常,肢端干燥温暖;肾上腺素 $\leq 0.05 \mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{min})$;③呼吸功能相对稳定,呼吸肌力达标,胸腔积液或腹腔压力不影响肺通气;呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP) $\text{PEEP} \leq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ ($1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$),氧和指数 ≥ 200 ,二氧化碳分压 $\leq 50 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$)或达到术前基础值,自主呼吸频率 $\leq 25 \text{ min}^{-1}$;④无出血倾向,短期内不会二次开胸;⑤内环境相对稳定,无影响生命安全的电解质紊乱; $\text{pH} \geq 7.35$,动脉血乳酸 $\leq 8 \text{ mmol/L}$,且已经开始下降;⑥小便量 $\geq 50 \text{ mL/h}$;⑦气道通畅;⑧血红蛋白(HGB) $\geq 70 \text{ g/L}$ 。

1.4 超声评估方案

1.4.1 方案依据 FTEUS依据为:床旁超声可以监测心输出量、肺通气功能、容量状态。本研究使用视觉估计法评估左室射血分数,视觉评估左室射血分数(ejection fraction, EF)的主要优点是检查者可以综合所有关于心室壁运动、房室位移等信息,其判断心输出量的价值在既往的研究中已经得到验证^[7]。胸腔超声可在床旁诊断气胸、肺间质综合征、肺水肿、胸腔积液、肺实变等,判断肺通气情况,及时发现异常^[8-9]。下腔静脉充盈度可用于前负荷评估;呼气末下腔静脉横截面形状为正圆形、椭圆形、水滴形,分别代表下腔静脉内的张力从高到低,以此为依据估测患者容量状态^[10]。

1.4.2 超声评估方案 超声评估使用迈瑞M9超声诊断仪,成人单晶体相控阵探头SP5-1s和凸阵探头C5-1s。患者检查时为仰卧位,由经过专门训练的观察者,分别对患者心脏、胸腔、下腔静脉进行检查,并保存视频资料。

1.4.2.1 FTEUS超声影像评估位置 ①心功能检查点:包括心尖或剑突下四腔心切面。②胸腔检

查点共 4 个,分别为仰卧位时胸腔的最高点及最低点,其中 LL1:左锁骨中线与第二肋间隙交点,LL2:左侧腋后线与第六肋间隙交点;LR1:右锁骨中线与第二肋间隙交点,LR2:右侧腋后线与第六肋间隙交点。③下腔静脉检查点为肋弓下缘,下腔静脉体表投影处(图 1)。

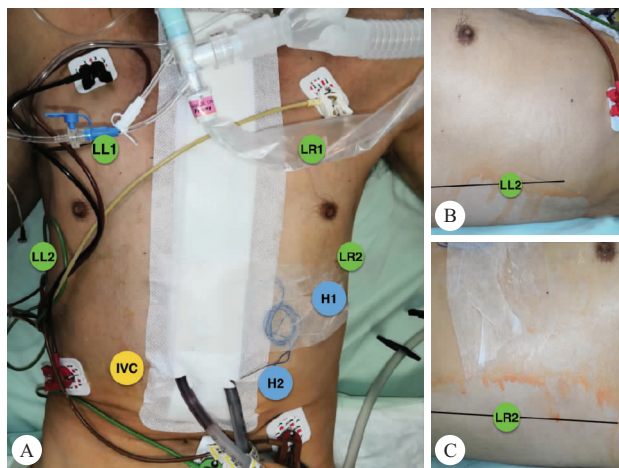


图 1 超声检查位置

Fig 1 Ultrasonic examination position

Blue is the cardiac function check site, green is the lung check site, and yellow is the inferior vena cava check site. Cardiac function check site: Apical four chamber view or subxiphoid four chamber view; Inferior vena cava check site: Subxiphoid inferior vena cava view. Lung check site: LL1 (lung left site 1): Intersection point of the left clavicle midline and the second intercostal space; LL2 (lung left site 2): Intersection point of the left posterior axillary line and the sixth intercostal space; LR1 (lung right site 1): Intersection point of the right clavicle midline and the second intercostal space; LR2 (lung right site 2): Intersection point of the posterior axillary line and the sixth intercostal space

1.4.2.2 FTEUS 超声影像特征评分标准 以既往超声评估心肺及容量状态的文献为依据,根据临床经验,制定超声评分标准。分为 3 个功能区,每个区评分范围为 0~2 分。依据心输出量、肺通气情况、容量状态对脱机失败的不利影响从小至大,评分分值从低至高。①心脏功能评分为:左室射血分数(Ejection fraction, EF) $\geq 40\%$ 且心室壁运动协调,0 分;左室 $30\% \leq EF < 40\%$, 1 分;左室 $EF \leq 30\%$ 或心包积液 ≥ 1 cm, 或心室壁运动明显不协调,2 分。②肺通气功能评分为:肺滑动征伴 A 线或单独 B 线(B line) ≤ 2 条(正常通气区),0 分;发现多发或融合的 B 线(中度通气减少区),1 分;肺实变/肺不张、胸腔积液(重度通气减少区),2 分。③容量状态评分为:吸气末下腔静脉横截面形态为水滴形(下腔静脉

容量偏低),0 分;椭圆形(下腔静脉容量适中),1 分;正圆形(下腔静脉容量偏高),2 分。FTEUS 总分为 3 个功能区评分的总和,总分值为 0~6 分,总分值越大,代表脱机风险越高。肺区内如有多种超声表现,则记录评分最大值(图 2)。

1.4.3 一致性评价 两位观察者均为可熟练运用床旁超声的高年资医师,分别使用 FTE-USP 进行患者超声影像评价。采用 Kendall 一致性系数分析一致性强弱。

1.5 其他临床资料的收集

血气分析使用罗氏 cobas b 123 全自动血气分析仪。观察指标包括:拔管后无创机械通气时间、再次插管、心律失常、心肺复苏、血清学指标、术后监护室时间、气管切开、死亡等。拔管后脱机失败的定义为:脱离呼吸机后 48 h 内再次插管。

1.6 统计学方法

观察者间一致性采用 Kendall 一致性系数分析, Kendall 的系数值为 -1 至 1, 正值表示正向关联, 负值表示负向关联, 值越大, 表示关联程度越强。评分与指标间的关系, 采用 Spearman 相关系数分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

根据纳入、排除标准,最终共 207 例患者纳入研究,其中男性 89 例,女性 118 例,年龄为 (54.63 ± 11.80) 岁,其中瓣膜置换术成形术 179 例(86.5%),经心尖穿刺主动脉瓣置换术 2 例(3.8%),冠状动脉旁路移植术 8 例(3.9%),心包剥脱术 3 例(1.4%),升主动脉置换术 5 例(4.6%),Bentall+全弓置换术 4 例(1.9%),房室间隔修补术 6 例(2.9%)。

2.2 FTEUS 的观察者间一致性评价

两位观察者的 Kendall 一致性系数为 0.941。本研究中 Kendall 一致性系数表明观察者间一致性较强,说明快速拔管超声评估方案的观察者偏倚小。

2.3 FTEUS 结果与临床指标的关系

FTEUS 均在床旁完成,完成时间为 (8.23 ± 2.08) min。超声检查时发现 3 例患者胸腔积液较多,进行胸腔积液引流后重新评估。FTEUS 结果与临床指标的相关性见表 1 和图 3。随 FTEUS 总分增加,临床不良事件发生率随之增加,肝、肾、心、肺等器官功能指标有明显变化。血清肌酐水平、血清胱抑素水平、血清 N 端脑钠肽前体水平、术后监护室时间、拔管后无创机械通气时间、心律失常发生

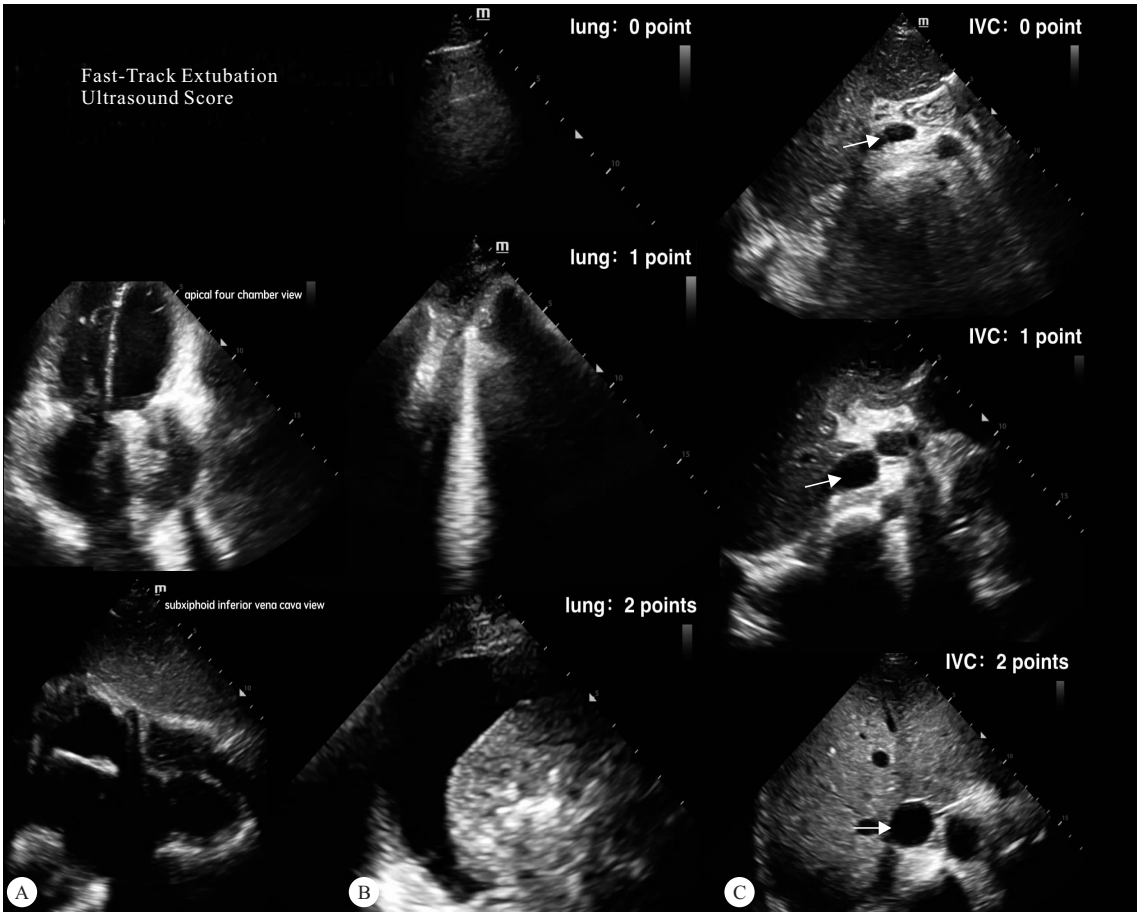


图 2 FTEUS 影像标准

Fig 2 Imaging standard of fast-track extubation ultrasound score

A: Cardiac function assessment. The apical four-chamber view and the subxiphoid four-chamber view were used. B: Evaluation of pulmonary ventilation function. Pulmonary slide sign accompanied by line A or single line B ≤ 2 , normal ventilation area (0 point); Multiple or fused B-line, moderate reduced lung ventilation area (1 point); Pulmonary consolidation/atelectasis, pleural effusion, severe pulmonary ventilation decreased area (2 points). C: The shape of the inferior vena cava (IVC) cross section view (arrows), representing volume status. Water drop shape, low volume of IVC (0 point); Oval, moderate volume of IVC (1 point); Round, IVC volume on the high side (2 points)

表 1 患者 FTEUS 结果与临床指标的关联性

Table 1 correlation of FTEUS and clinical indexes of patients

Clinical index	FTEUS						<i>r</i>
	1 (<i>n</i> =69)	2 (<i>n</i> =54)	3 (<i>n</i> =21)	4 (<i>n</i> =37)	5 (<i>n</i> =24)	6 (<i>n</i> =2)	
ICU discharge/d Δ	2.50 (1.00,17.00)	3.00 (1.00,18.00)	3.50 (1.50,10.50)	3.50 (1.00,16.00)	4.50 (1.50,13.00)	5.00(2.50,7.50)	0.290 (<i>P</i> =0.000)
Hospital discharge/d Δ	9.00 (6.00,14.00)	8.50 (7.00,30.00)	8.00 (8.00,13.00)	8.00 (8.00,21.00)	8.00 (8.00,30.00)	22 (10.00,34.00)	-0.070 (<i>P</i> =0.314)
Arrhythmia/case (%)	14 (20.3)	21 (38.9)	8 (38.1)	15 (40.5)	14 (58.3)	1 (50.0)	0.886 (<i>P</i> =0.019)
Cardio-pulmonary resuscitation/case (%)	1 (1.5)	0 (0)	0 (0)	2 (5.4)	2 (8.3)	0 (0)	0.152 (<i>P</i> =0.774)
Acute kidney injury/case (%)	7 (10.1)	7 (13.0)	0 (0)	4 (10.8)	2 (8.3)	0 (0)	-0.522 (<i>P</i> =0.288)
Serum creatinine/ (μ mol/L) Δ	81.00 (49.00, 277.00)	90.00 (59.00, 1 576.00)	85.00 (63.00, 154.00)	85.00 (51.00, 218.00)	99.00 (63.00, 287.00)	95.50 (83.00, 108.00)	0.235 (<i>P</i> =0.02)
Serum cystatin C/(mg/L) Δ	0.99 (0.75,3.11)	1.24 (0.65,6.96)	1.04 (0.79,3.03)	1.21 (0.78,2.20)	1.32 (0.83,3.53)	1.16 (1.04,1.28)	0.324 (<i>P</i> =0.000)
Alanine aminotransferase/ (μ mol/L) Δ	33.00 (10.00, 1 496.00)	53.00 (20.00, 357.00)	68.00 (17.00, 100.00)	42.00 (9.00, 217.00)	29.00 (11.00, 5 128.00)	151.50 (151.00, 152.00)	0.106 (<i>P</i> =0.262)
Aspartic aminotransferase/ (μ mol/L) Δ	58.00 (19.00, 2 464.00)	29.00 (8.00, 515.00)	68.00 (53.00, 98.00)	65.00 (24.00, 126.00)	63.00 (24.00, 1 1431.00)	85.5 (71.00, 100.00)	0
Total bilirubin /(μ mol/L) Δ	21.35 (10.90, 86.20)	25.40 (8.50, 144.00)	30.10 (13.10, 83.90)	28.10 (12.30, 93.70)	25.30 (8.00, 170.20)	28.95 (16.20, 41.70)	0.150 (<i>P</i> =0.051)
NT-pro-brain natriuretic peptide/(ng/L) Δ	1 053.50 (253.00, 9 823.00)	1 577.50 (98.00, 34 729.00)	1 456.00 (121.00, 9 029.00)	2 282.00 (222.00, 2 3201.00)	3 500.50 (530.00, 35 000.00)	4 022.50 (1 054.00, 6 991.00)	0.265 (<i>P</i> =0.01)
Non-invasive ventilation time/h Δ	0.00 (0.00,14.00)	16.50 (0.00, 118.90)	24.50 (0.00, 118.00)	40.50 (0.00, 94.00)	42.80 (0.00, 120.00)	58.25 (33.00, 83.50)	0.714 (<i>P</i> =0.000)
Gastrointestinal hemorrhage/case (%)	1 (1.5)	1 (1.9)	0 (0)	0 (0)	1 (4.2)	0 (0)	-0.213 (<i>P</i> =0.686)
Weaning failure/case (%)	0 (0)	2 (3.7)	0 (0)	1 (2.7)	2 (8.3)	0 (0)	0.152 (<i>P</i> =0.774)
Tracheotomy/case (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
Mortality in 28 d/case (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	

Δ Median (Min, Max)

率与 FTEUS 呈正相关($P < 0.05$)。图 4 显示了 FTEUS 达到 5 分时,心律失常(14/24, 58.3%)、心

肺复苏(2/24, 8.3%)、脱机失败率(2/24, 8.3%)发生率均增加。

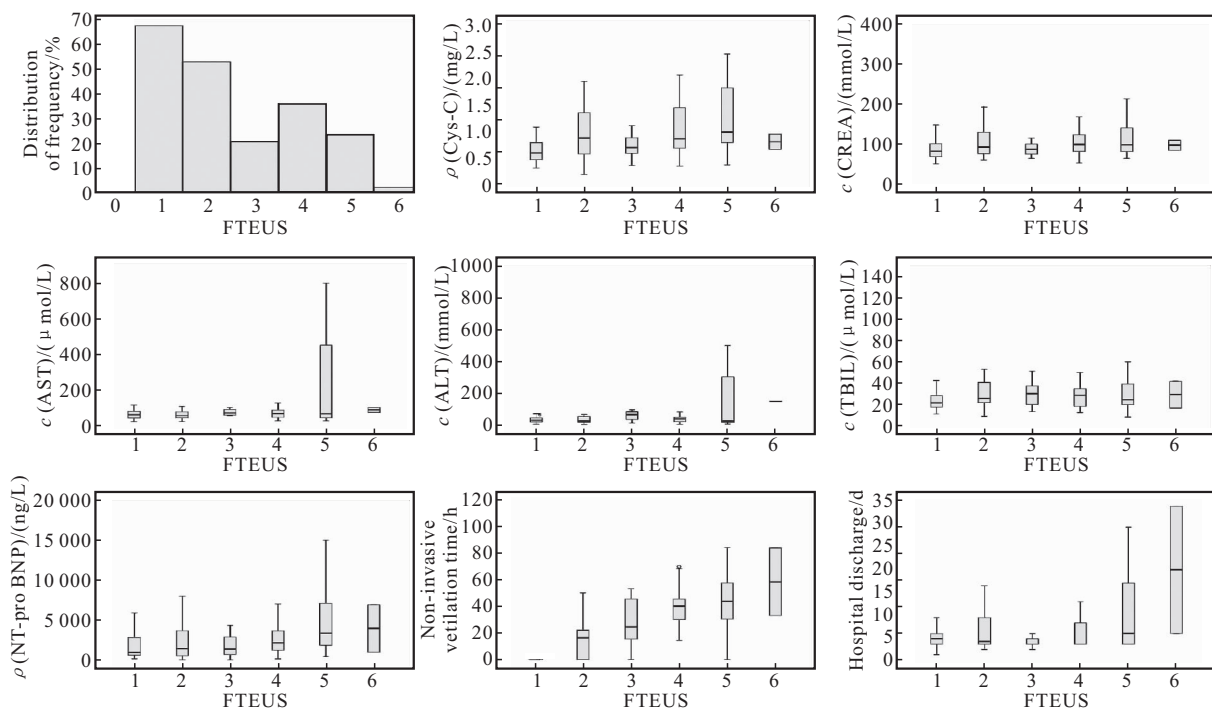


图 3 FTEUS 的分布频率及其与不同临床指标的关系

Fig 3 FTEUS distribution and its relationship with clinical indexes

Cys-C: Serum cystatin C; CREA: Creatinine; AST: Aspartic aminotransferase; ALT: Alanine aminotransferase; TBIL: Total bilirubin; NT-pro BNP: NT-pro-brain natriuretic peptide

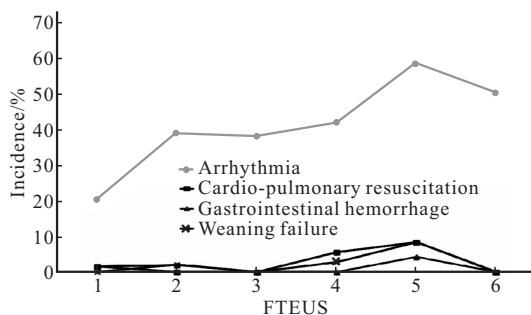


图 4 FTEUS 与临床不良事件发生率的关系

Fig 4 Correlation of FTEUS and incidence of adverse events

3 讨论

此次纳入样本因严格执行纳入排除标准,未行手术或手术失败,腹腔内高压,超声图像质量不达标,使用机械辅助循环装置,保留射血分数心衰等患者并未入组。样本主体代表手术过程顺利,未出现循环崩溃,并在术后适合用超声影像评估的患者。

心脏术后脱机失败常有以下进程:机械通气脱

机,胸腔压力从正压变为负压,回心血量增加,左心室舒张末期压力升高;外周血管阻力增加,心脏后负荷升高,心输出量下降;冠脉灌注压下降,心肌缺血,心输出量进一步下降,左心室内压及左房压增高,出现肺水肿;肺水肿导致低氧,缺氧时心功能继续恶化,心输出量进一步下降,左室舒张末期压力继续升高,形成恶性循环。上述病理生理改变,可导致患者在脱机后出现脱机相关性肺水肿(weaning-induced pulmonary oedema, WiPO)、急性呼吸衰竭、急性左室功能不全等严重并发症^[11-12],严重时可导致恶性心律失常。根据上述病理生理变化,可总结出脱机失败的关键因素,包括:左心室收缩功能不全或心输出量不足,肺通气功能受损,以及容量过负荷。

目前,对心脏患者的危重度评估主要依赖于数据库评分系统,常用的评分系统包括 Euro Score 及 STS Score^[13]。但评分系统临床使用不方便,很难反映患者的实时器官功能。拔管前决策时面对的临床问题是,传统的拔管指标达数十种,数据量大,不易整合^[14-16]。临床医师一直在持续寻找易执行、更精准的个体化指标来辅助临床决策。随着临床可视

化技术的发展,使用超声监测指标预测脱机失败,已经被证实可行^[17-18]。因此,使用床旁超声在脱机前对患者进行心脏功能、肺通气功能、容量状态评估,整合多器官信息,辅助临床决策,是值得尝试的。

本研究根据临床需求制定 FTE-USP,在拔管前对患者进行个体化的器官功能评估,评估内容包括左心室收缩功能、肺通气功能、容量状态,评估总分代表3个功能区的综合状态,整合了多器官信息,以方便临床决策。本研究数据显示,随 FTEUS 分数增加,临床不良事件发生率随之增加,反映多器官功能的实验室指标有明显变化。FTEUS 达到5分时,心律失常(14/24, 58.3%)、心肺复苏(2/24, 8.3%)、脱机失败率(2/24, 8.3%)发生率均增加,提示以 FTEUS 为依据,可筛查出高风险患者, FTEUS 有潜力用于协助临床决策。

本研究存在以下局限性:仅针对临床指标达到快速脱机标准的患者,患者总体病情较轻;仅针对体外循环术后早期机械通气患者;未纳入保留射血分数心衰的患者,虽然脱机相关肺水肿也可能由于左室舒张功能障碍导致^[19];腹腔压力对下腔静脉形态会有影响^[20],使该方案在这类患者中应用受限;未考虑膈肌功能对脱机的影响;仅对超声图像进行了定性评估,超声评估结果依赖于观察者经验。

术后如何平衡快速拔管时机,是临床难题^[4]。已有研究尝试采用超声影像导向的容量优化方案^[5]。如果根据 FTEUS 优化相关指标,使 FTEUS 总分下降,会不会降低患者术后并发症,促进患者加速康复?从现有数据上看, FTEUS 评分可通过血管活性药物、容量管理等方式调整,因此下一步工作可进一步验证是否可以依据评分进行术后管理,使患者获益。

本研究为 FTE-USP 首次应用于临床。本研究结果显示,随 FTEUS 总分增加,临床不良事件发生率也随之增加;可根据 FTEUS 评分结果对患者进行风险评估,显示了该方案的预警价值,确定了该方案应用于围术期患者管理的依据;可在10 min左右完成评估,可应用于床旁,观察者偏倚小,简单易用。该方案具有快速、简便、易操作、可重复、少辐射等优点,易于实施和推广。FTE-USP 有望成为临床患者个体化管理的依据,在围术期患者加速康复中发挥作用。

参 考 文 献

- [1] HICKEY R F, CASON B A. Timing of tracheal extubation in adult cardiac surgery patients. *J Card Surg*, 1995, 10: 340-348.
- [2] ELMER J, LEE S, RITTENBERGER J C, *et al.* Reintubation in critically ill patients: procedural complications and implications for care. *Critical Care*, 2015, 16(19): 12-19.
- [3] XIE J, CHENG G, ZHENG Z, *et al.* To extubate or not to extubate; risk factors for extubation failure and deterioration with further mechanical ventilation. *J Card Surg*, 2019, 34(10): 1004-1011.
- [4] GRAWE E, WOJCIECHOWSKI P J, HURFORD W E. Balancing early extubation and rates of reintubation in cardiac surgical patients: where does the fulcrum lie? *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2015, 29(3): 549-550.
- [5] LEE C W, KORY P D, ARNTFIELD R T. Development of a fluid resuscitation protocol using inferior vena cava and lung ultrasound. *J Crit Care*, 2016, 31(1): 96-100.
- [6] PICANO E, SCALI M C, CIAMPI Q, *et al.* Lung ultrasound for the cardiologist. *JACC: Cardiovasc Imaging*, 2018, 11(11): 1692-1705.
- [7] JENSEN-URSTAD K, BOUVIER F, HOJER J, *et al.* Comparison of different echocardiographic methods with radionuclide imaging for measuring left ventricular ejection fraction during acute myocardial infarction treated by thrombolytic therapy. *Am J Cardiol*, 1998, 81(5): 538-544.
- [8] LE NEINDRE A, MONGODI S, PHILIPPART F, *et al.* Thoracic ultrasound: potential new tool for physiotherapists in respiratory management. A narrative review. *J Crit Care*, 2016, 31(1): 101-109.
- [9] LICHTENSTEIN D A. BLUE-protocol and FALLS-protocol: two applications of lung ultrasound in the critically ill. *Chest*, 2015, 147(6): 1659-1670.
- [10] SEO Y, IIDA N, YAMAMOTO M, *et al.* Estimation of central venous pressure using the ratio of short to long diameter from cross-sectional images of the inferior vena cava. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30(5): 461-467.
- [11] LIU J, SHEN F, TEBOUL J L, *et al.* Cardiac dysfunction induced by weaning from mechanical ventilation: incidence, risk factors, and effects of fluid removal. *Crit Care*, 2016, 20(1): 369-383.
- [12] FERRE A, GUILLOT M, LICHTENSTEIN D, *et al.* Lung ultrasound allows the diagnosis of weaning-induced pulmonary oedema. *Intensive Care Med*, 2019, 45(5): 601-608.
- [13] SULLIVAN P G, WALLACH J D, IOANNIDIS J P. Meta-analysis comparing established risk prediction models (EuroSCORE II, STS Score, and ACEF Score) for perioperative mortality during cardiac surgery. *Am J Cardiol* 2016, 118(10): 1574-1582.
- [14] BAPTISTELLA A R, SARMENTO F J, DA SILVA K R, *et al.* Predictive factors of weaning from mechanical ventilation and extubation outcome: a systematic review. *J*

- Crit Care,2018,48;56-62.
- [15] CHAN J L, MILLER J G, MURPHY M, *et al.* A multidisciplinary protocol-driven approach to improve extubation times after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg*, 2018,105(6):1684-1690.
- [16] ROUTSI C, STANOPOULOS I, KOKKORIS S, *et al.* Weaning failure of cardiovascular origin: how to suspect, detect and treat — a review of the literature. *Ann Intensive Care*,2019,9(1):6-23.
- [17] SOLIMAN S B, RAGAB F, SOLIMAN R A, *et al.* Chest ultrasound in predication of weaning failure. *Open Access Maced J Med Sci*,2019,7(7):1143-1147.
- [18] TONGYOO S, THOMRONGPAIROJ P, PERMPIKUL C. Efficacy of echocardiography during spontaneous breathing trial with low-level pressure support for predicting weaning failure among medical critically ill patients. *Echocardiography*,2019,36(4):659-665.
- [19] SANFILIPPO F, SANTONOCITO C, BURGIO G, *et al.* The importance of diastolic dysfunction in the development of weaning-induced pulmonary oedema. *Crit Care*,2017,21(1): 29-30.
- [20] VIEILLARD-BARON A, EVRARD B, REPESSÉ X, *et al.* Limited value of end-expiratory inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness impact of intra-abdominal pressure. *Intensive Care Med*,2018,44(2):197-203.

(2019-09-28 收稿,2019-10-29 修回)

编辑 吕 熙