

基于决策树构建胸痛患者院内心脏骤停早期预警模型

龚海蓉¹, 吴婷婷^{1,2}, 郑若菲³, 李红³

摘要:目的 构建并验证基于决策树的胸痛患者院内心脏骤停早期预警模型。方法 收集以急性非创伤性胸痛为主诉就诊并进入抢救室治疗的患者 3 146 例, 以其中发生心脏骤停的 71 例患者为病例组, 选取同期未发生心脏骤停的 142 例患者为对照组, 利用决策树构建心脏骤停早期预警模型, 采用十折交叉进行验证, 并与 GRACE 评分、TIMI 评分和 HEART 评分比较模型的预测效能。结果 决策树共有 3 层, 5 个节点, 舒张压、Killip 分级、肌钙蛋白、胸痛持续时间和肌酸激酶是心脏骤停的预测指标。基于决策树构建的模型受试者工作特征曲线下面积为 0.893, 显著高于 TIMI 评分(0.817)、HEART 评分(0.801), 差异有统计学意义(均 $P < 0.05$); 高于 GRACE 评分(0.857), 但差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论 基于决策树构建的胸痛患者院内心脏骤停早期预警模型对心脏骤停的预测准确性高、结果直观、逻辑清晰, 可作为医护人员对胸痛患者风险管理的决策依据。

关键词:胸痛; 风险预测; 急性冠脉综合征; 心脏骤停; 决策树; GRACE 评分; TIMI 评分; HEART 评分

中图分类号:R473.5 **文献标识码:**A **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2021.14.023

Decision tree model for predicting in-hospital cardiac arrest among chest pain patients Gong Hairong, Wu Tingting, Zheng Ruofei, Li Hong. Nursing Faculty, Fujian Health College, Fuzhou 350101, China

Abstract: **Objective** To develop and validate a decision tree model to identify in-hospital cardiac arrest among chest pain patients at the emergency department. **Methods** Data of 3 146 patients who complained of nontraumatic acute chest pain and rescued in the emergency department were collected. Seventy-one patients experienced cardiac arrest were treated as the case group, and 142 patients without cardiac arrest were treated as the control group. Decision tree analysis was performed to determine the early warning system of cardiac arrest, and 10-fold cross validation was used to verify. Performance of the decision tree model was compared with the GRACE, TIMI and HEART scores. **Results** The decision tree included three layers and five nodes of diastolic blood pressure, Killip class, troponin I, duration of chest pain, and creatine kinase. The area under the ROC curve of the decision tree model was 0.893, which was significantly higher than TIMI score (0.817) and HEART score (0.801) ($P < 0.05$ for both), and was also higher than GRACE score (0.857) but without significant difference ($P > 0.05$). **Conclusion** The decision tree model with good accuracy, intuitive results, and clear logic in predicting cardiac arrest can be used as a decision-making reference for medical staff on risk management of chest pain.

Key words: chest pain; risk prediction; acute coronary syndrome; cardiac arrest; decision tree; GRACE score; TIMI score; HEART score

中国急诊就诊人数十年增加了 170%^[1], 其中胸痛患者比例高达 4.7%^[2]。患者数量的增加势必导致急诊科拥挤和治疗延迟, 最终导致患者临床风险甚至是病死率增加^[3]。由于急诊医疗资源有限, 准确鉴别高危患者并制定快速反应系统是胸痛患者有效风险管理的策略。以往研究证明, 心脏骤停发生前数小时患者表现出某些临床特征的变化, 基于此构建早期预警模型能够预测心脏骤停的发生^[4-8], 但针对胸痛患者发生心脏骤停的早期预警模型鲜见报道^[9]。由 5 个指标首字母构成的 HEART 评分, 即病史(History)、心电图(Electrocardiograph)、年龄

(Age)、危险因素(Risk factor)、肌钙蛋白(Troponin)^[10], 全球急性冠状动脉事件注册(Global Registry of Acute Coronary Events, GRACE)评分^[11]和心肌梗死溶栓治疗危险评分(Thrombolysis in Myocardial Infarction, TIMI)^[12]是常用的预测胸痛患者心血管不良事件的评估工具, 但其对心脏骤停预测效能有待进一步验证。近年来, 大数据和人工智能在医学领域的应用, 为风险预测模型和临床诊断带来更先进的科学技术, 同时为临床医护人员的医疗决策提供支持依据^[13]。决策树作为一种机器学习算法, 运用递归划分特征的原理将目标分为不同类别以构建树的模型。Goto 等^[14-15]应用决策树预测院外心脏骤停的预后, 预测指标与心脏骤停之间的关系逻辑清晰、结果直观、容易理解。因而本研究基于决策树构建胸痛患者心脏骤停的早期预警模型, 并将所构建的模型与 HEART 评分、GRACE 评分及 TIMI 评分进行对比, 旨在为急诊科医护人员提供一种准确、直观的早期预警模型。

作者单位: 1. 福建卫生职业技术学院护理学院(福建 福州, 350101); 2. 福建医科大学护理学院; 3. 福建省立医院护理部

龚海蓉, 女, 硕士, 副教授

通信作者: 李红, leehong99@126.com

科研项目: 福建医科大学启航基金研究生创新项目(2020QH2016); 福建卫生职业技术学院科研项目(2018-3-1)

收稿: 2021-02-03; 修回: 2021-03-20

1 资料与方法

1.1 一般资料 采用病例对照研究法,选取 2017 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日福建省某三级甲等综合性医院急救中心抢救室以“急性非创伤性胸痛”为主诉入院的 3 146 例患者为研究对象。其中病例组为在入院治疗期间发生心脏骤停的胸痛患者,对照组选择同期入院治疗但未发生心脏骤停的胸痛患者。纳入标准:年龄 ≥ 18 岁;心源性胸痛,被首诊医生怀疑为急性冠脉综合征(Acute Coronary Syndromes, ACS)。排除标准:入院时已明确诊断为急性冠脉综合征;主动脉夹层、病毒性心肌炎等导致的心源性胸痛;带状疱疹、急性胰腺炎、食管反流、肋间神经炎等导致的非心源性胸痛;合并严重感染、肿瘤或其他脏器衰竭等疾病;资料不完整。心源性与非心源性胸痛的诊断标准参照《胸痛规范化评估与诊断中国专家共识》^[16]。

1.2 方法

1.2.1 成立研究小组 组建研究小组团队,共 7 名成员,其中 2 名急危重症护理专家和 1 名急诊医学专家,2 名护理专业硕士和 2 名护理专业大专实习生。在急危重症护理专家和急诊医学专家的指导下,研究小组成员对本研究涉及的各项指标均有统一和准确的认识。

1.2.2 资料收集方法 研究小组成员从急诊科电子病历系统调取研究期间以“胸痛、胸闷”或“胸痛待查”入院的患者,严格按照纳入和排除标准,查阅每份胸痛患者的病历资料。病例组的病历应有心脏骤停的抢救记录;对照组根据病例组心脏骤停发生的日期以频数 1:2 的比例,根据入院先后顺序进行排序,在 Excel 产生随机数,选取心脏骤停发生当天或前后 2 d 同在抢救室治疗的未发生心脏骤停的患者。对照组进行日期匹配的目的在于排除季节和天气变化以及急诊科人力资源的影响。最终,以急性非创伤性胸痛为主诉就诊并进入抢救室治疗的患者 3 146 例,排除非心源性胸痛患者 605 例、就诊时已明确诊断为急性冠脉综合征的患者 192 例、由于主动脉夹层和病毒性心肌炎等其他心源性胸痛 134 例,在符合纳入与排除标准的患者中,发生心脏骤停的患者 71 例,根据 1:2 的比例随机选取同期未发生心脏骤停的患者 142 例作为对照。

1.2.3 调查内容 研究小组成员在文献分析、小组讨论的基础上自制《急诊科胸痛患者发生心脏骤停资料收集表》,包含患者的一般资料(年龄、性别、入院日期、入院时间、身高、体质量、入院方式等);急性冠脉综合征危险因素(家族史、高血压病、糖尿病、吸烟史、肥胖及危险因素的个数);现病史(胸痛的性质、持续时间、发病至就诊时间、Killip 分级、首次监测生命体征、是否有院前心脏骤停、急性心力衰竭等并发症),其中胸痛分为典型胸痛(运动相关性胸痛

或呼吸困难;疼痛可放射至手臂、肩部、颈部等;伴有发汗)和非典型胸痛(吸气可导致疼痛加重,触诊会引起疼痛);首次心电图检查(QT 间期、QTc 间期、ST 段是否改变等);首次监测的实验室指标[B 型脑力肽(Brain Natriuretic Peptide, BNP)、心肌肌钙蛋白 I(Cardiac Troponin I, cTnI)、血肌酐(Serum Creatinine, SCr)、肌酸激酶(Creatine Kinase, CK)、肌酸激酶同工酶(Creatine Kinase Isoenzyme-MB, CKMB)等]。此外,根据收集的指标和评分标准计算 HEART 评分^[10]、GRACE 评分^[11]、TIMI 评分^[12,17]。

1.2.4 统计学方法 数据使用 Epidata3.1 录入,通过 R3.5.1 软件进行分析,检验水准 $\alpha=0.05$ 。计量资料服从正态分布以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,两组比较采用 *t* 检验;如不符合以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,采用秩和检验。计数资料两组比较采用 χ^2 检验及 Fisher 确切概率法。采用决策树算法构建心脏骤停预测模型,利用 rpart 包实现,模型的评价采用受试者工作特征曲线下面积(Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve, AUC)表示,根据 Youden 指数计算最佳截点值,并计算灵敏度、特异度、精确度、阳性预测值、阴性预测值等;各曲线 AUC 间的比较采用 Delong 检验;内部一致性采用 calibrate 图表示,利用 rms 包实现。决策树模型的验证使用十折交叉验证法,并与 HEART 评分、GRACE 评分和 TIMI 评分进行比较。

2 结果

2.1 病例组与对照组各指标比较 见表 1。

2.2 预测胸痛患者发生心脏骤停的决策树模型 采用决策树算法对采集的所有指标进行分析,构建心脏骤停的早期预警模型,结果见图 1。决策树共有 3 层,5 个节点,舒张压、Killip 分级、cTnI、胸痛持续时间和 CK 是心脏骤停的预测指标,决策树模型的分类规则见表 2。

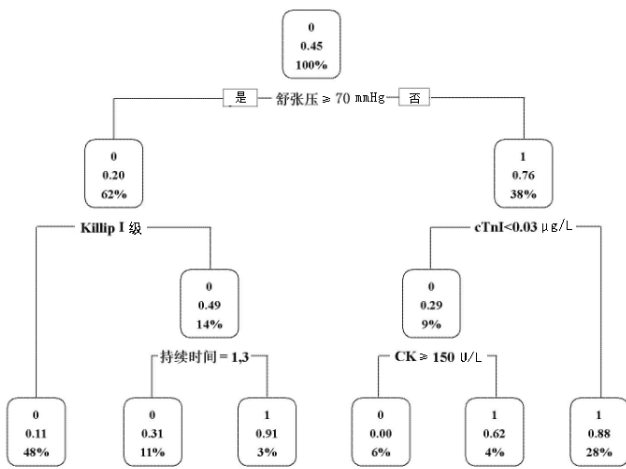
2.3 决策树模型的效果评价 决策树模型 AUC 为 0.893(95%CI:0.847~0.939)。用 Calibration 图表示模型的一致性,平均绝对误差为 0.016,一致性较好。采用十折交叉验证模型,结果显示决策树模型较为稳定,预测效能依然较高,与建模组的结果相似,AUC 为 0.882(95%CI:0.722~0.997)。决策树模型与 GRACE 评分、HEART 评分、TIMI 评分进行比较,结果显示,决策树模型的 AUC 高于上述 3 个评分,其他评价指标也表现出明显的优势,见表 3。采用 Delong 检验对 AUC 进行两两比较,结果显示决策树模型的 AUC 显著高于 TIMI 评分($d=2.421, P=0.016$)和 HEART 评分($d=2.875, P=0.004$),但与 GRACE 评分的差异不具有统计学意义($d=1.404, P=0.161$)。

表 1 病例组与对照组各项指标比较

组别	例数	年龄[岁,	体温[°C,	脉搏[次/min,	呼吸[次/min,	收缩压	舒张压
		$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	(mmHg, $\bar{x} \pm s$)
对照组	142	63.00(52.00,72.00)	36.70(36.50,37.00)	75.00(64.00,87.00)	20.00(20.00,21.00)	134.73±24.56	80.70±17.40
病例组	71	67.00(57.00,80.00)	36.50(36.20,36.80)	79.00(58.00,104.00)	21.00(20.00,23.00)	103.97±27.16	60.44±18.08
统计量		Z=2.365	Z=-3.053	Z=0.803	Z=2.215	t=8.310	t=7.910
P		0.018	0.002	0.422	0.027	0.000	0.000

组别	例数	血氧饱和度	SCr[μmol/L,	cTnI[μg/L,	CKMB[U/L,	BNP[ng/L,	CK[U/L,
		$[M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$	$M(P_{25}, P_{75})]$
对照组	142	0.98(0.96,0.99)	70.00(63.00,83.00)	0.01(0.01,0.31)	26.00(11.00,60.56)	3549.7(242.00,3599.4)	298.00(90.00,6070.2)
病例组	71	0.95(0.92,0.98)	98.00(79.00,121.00)	1.40(0.10,4.10)	60.56(15.00,91.00)	3599.4(471.00,5980.0)	671.00(93.00,6070.2)
统计量		Z=-5.857	Z=6.765	Z=6.617	Z=3.145	Z=2.486	Z=0.550
P		0.000	0.000	0.000	0.002	0.013	0.583

组别	例数	性别(例)		来院方式(例)			胸痛类型(例)		危险因素个数(例)					急性心力衰竭(例)
		男	女	急救车	自行来院	其他	典型胸痛	非典型胸痛	0	1	2	3	4	
对照组	142	94	48	18	80	44	63	79	35	48	40	16	3	3
病例组	71	61	10	11	20	40	49	22	6	28	20	15	2	20
统计量		$\chi^2=9.288$		$\chi^2=15.99$			$\chi^2=11.533$		Z=-2.510					$\chi^2=33.364$
P		0.002		0.000			0.000		0.012					0.000



注:持续时间 1 为<24 h,2 为 24 h 至 7 d,3 为>7 d。每个节点第 1 行的 0 和 1 表示预测结果,1 代表发生心脏骤停,0 代表不发生;第 2 行表示预测发生心脏骤停的风险性;第 3 行表示观察变量在这一节点所占的百分比。

图 1 预测胸痛患者发生心脏骤停的决策树模型

表 2 决策树模型分类规则

条件 1	条件 2	条件 3	发生 风险(%)	预测 结果
舒张压≥70 mmHg	Killip I 级	—	11	不会发生
舒张压≥70 mmHg	Killip>I 级	胸痛持续时间<24 h 或>7 d	31	不会发生
舒张压≥70 mmHg	Killip>I 级	胸痛持续时间 24 h 至 7 d	91	会发生
舒张压<70 mmHg	cTnI<0.03 μg/L	CK≥150 U/L	0	不会发生
舒张压<70 mmHg	cTnI<0.03 μg/L	CK<150 U/L	62	会发生
舒张压<70 mmHg	cTnI≥0.03 μg/L	—	88	会发生

3 讨论

3.1 胸痛患者发生心脏骤停的预测指标分析 本研究构建的决策树模型共包含 5 个指标,即舒张压、Killip 分级、胸痛持续时间、cTnI 和 CK。研究发现,舒张

压而非收缩压能够预测心脏骤停,这与 Churpek 等^[18-19]、Faxén 等^[20]的研究结果相似,冠状动脉供血主要发生于心脏舒张期,当舒张压较低时导致冠状动脉血供不足,更容易发生心血管不良事件。但我们前期采用多元 Logistic 回归分析普通病房和 ICU 的急性冠脉综合征患者的研究发现,无论是收缩压还是舒张压都不能预测心脏骤停的发生,而如果将收缩压和脉搏组合成的休克指数(收缩压/脉搏)具有较强的预测能力^[21],可能与本研究对象为急性非创伤性胸痛,与急性冠脉综合征患者存在差异有关。Killip 分级、cTnI 是心源性胸痛患者的特异性指标,Li 等^[4]也发现这 2 个指标是心脏骤停预测因子,Killip 分级越高代表心功能越差,而 cTnI 在一定程度上可以反映心肌损伤程度,cTnI 值越高,心肌损伤越严重。但本研究除了 cTnI 外还包含 CK,这两者都是心肌损伤标志物,可能与本研究在指标收集时间点上存在差异有关。研究单位的胸痛中心要求在接诊后 5 min 内检测患者的 CK,而 cTnI 是患者进入抢救室时采集的生化检测标本,这两者之间存在时间差。但值得注意的是,本研究结果显示在其他条件不变的情况下,CK≥150 U/L 比<150 U/L 发生心脏骤停的危险性更小,这可能与 CK 本身的特异性不足,CK 升高除了心肌梗死外,还可见于心肌炎、骨骼肌损伤或者药物影响等;其次,由于本研究样本量较小,今后需要进一步扩大样本量,探讨其预测效能。

另外,预测模型包含胸痛持续时间是本研究的新发现,以往研究显示胸痛持续时间与急性心肌梗死的发生相关,在其他条件不变的情况下,胸痛持续时间<24 h 或>7 d 发生心脏骤停的危险性为 31%,而胸痛持续时间为 24 h 至 7 d,其危险性为 91%。Solo-

mon 等^[22]的结果显示,胸痛持续时间 20~59 min 比<20 min 发生急性心肌梗死的可能性更大。胸痛持续时间<1 min 或≥24 h,是发生急性心肌梗死和 6 周内发生心血管不良事件阴性预测指标,而胸痛持续时间>60 min 对于确诊急性心肌梗死的作用不大^[23]。这与本研究的结果既相似又有区别,本研究的结局指标是心脏骤停而不是急性心肌梗死,急性心肌梗死是导致心脏骤停的重要病因,但不仅限于此。胸

痛持续时间为 24 h 至 7 d 与<24 h 和>7 d 组相比发生心脏骤停危险性更高的原因可能是:①胸痛持续时间<24 h 的患者从发病到急诊科救治的时间较短,患者胸痛发生后能得到及时有效的救治,迅速缓解心肌缺血,可以最大程度地减少不良事件的发生;②胸痛持续时间>7 d 的患者,可能是由于在胸痛发生后可以通过短暂休息暂时缓解症状,导致就医延迟。

表 3 决策树模型与 GRACE 评分、TIMI 评分和 HEART 评分的各项评价指标

组别	精确度	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	F1 值	最佳截点值	AUC(95%CI)
建模组								
决策树	0.869	0.831	0.887	0.787	0.913	0.808	0.467	0.893(0.847~0.939)
GRACE 评分	0.812	0.746	0.845	0.707	0.870	0.726	145.500	0.857(0.804~0.911)
HEART 评分	0.746	0.803	0.718	0.588	0.879	0.679	6.500	0.801(0.743~0.859)
TIMI 评分	0.770	0.577	0.866	0.683	0.804	0.626	5.500	0.817(0.757~0.876)
十折交叉验证组								
决策树	0.897	0.883	0.893	0.826	0.951	0.844	0.498	0.882(0.722~0.997)
GRACE 评分	0.831	0.819	0.841	0.776	0.916	0.758	151.650	0.858(0.675~1.000)
HEART 评分	0.754	0.856	0.699	0.586	0.917	0.690	6.150	0.797(0.610~0.974)
TIMI 评分	0.798	0.757	0.808	0.772	0.893	0.717	5.050	0.818(0.617~0.989)

3.2 决策树模型与 HEART 评分、GRACE 评分和 TIMI 评分的比较 本研究结果显示,在预测胸痛患者发生心脏骤停的效能依次为:决策树模型、GRACE 评分、TIMI 评分、HEART 评分。多项研究表明,HEART 评分对急性胸痛患者发生心血管不良事件的预测能力明显优于 TIMI 评分和 GRACE 评分^[24-25],被认为是目前急诊科胸痛患者最好的风险评估工具^[10]。Sakamoto 等^[25]比较这 3 个评分预测胸痛患者 30 d 心血管不良事件的发生情况,结果显示,GRACE 评分、TIMI 评分和 HEART 评分的区分能力(c-统计量)分别是 0.62、0.65、0.78,与本研究的结果不一致。导致研究结果不一致的原因可能是:①这 3 个评分常用结局指标是一个复合指标——心血管不良事件,包含心肌梗死、冠状动脉介入治疗、冠状动脉搭桥术、冠状动脉狭窄、心脏骤停、全因性死亡等^[26],但心脏骤停在心血管不良事件这一复合指标中所占的比重较小,不能将对心血管不良事件的研究结果直接推广至心脏骤停,因而本研究首次在胸痛患者中比较了这 3 个评分对心脏骤停预测效能的大小。②一项 Meta 分析显示,HEART 评分能准确识别出低风险的胸痛患者,让其安全出院,对于高风险胸痛患者的预测能力还有待进一步提高^[27]。而本研究的结局指标是心脏骤停,属于高风险,从某种程度上说与以往的研究结论不存在分歧,这正好解释了 HEART 评分在本研究中表现欠佳的原因。

3.3 决策树模型对预测胸痛患者发生心脏骤停的科学性、可行性和实用性分析 本研究的决策树模型在 AUC、灵敏度、特异度等评价指标上明显优于

GRACE 评分、TIMI 评分和 HEART 评分,与 TIMI 评分和 HEART 评分的差异具有统计学意义,而与 GRACE 评分的差异不具有统计学意义。其原因可能与模型构建的统计学方法上存在较大差异,这 3 个评分表均采用传统的方法构建,HEART 评分是基于研究者的临床经验和医学文献^[10];GRACE 评分和 TIMI 评分的统计学方法是应用多元 Logistic 回归分析^[17],由于专家意见法过于主观且证据等级较低,Logistic 回归识别群体间的差异,对特征数量有所限制,难以精准预测个体的发病情况,没有考虑到指标之间的联合作用。而决策树属于机器学习的一种,它能自动分析多元复杂、异质性、随时间不断变化的数据,识别个体间的差异,自动挖掘特征之间的最优化组合,从而提高预测模型的准确性^[13]。决策树充分考虑了指标之间的相互作用,如当舒张压<70 mmHg, cTnI≥0.03 μg/L 时可以直接预测发生心脏骤停的风险性为 88%;当舒张压<70 mmHg, cTnI<0.03 μg/L 时,需要考虑 CK 值才能作出判断。一篇系统综述比较了支持向量机、决策树、随机森林、神经网络等多种机器学习算法对心脏骤停的预测效能,结果得出支持向量机的 AUC 最大,对于心脏骤停的预测能力最佳^[28]。但支持向量机、随机森林、神经网络等机器学习算法是一个“黑箱”,只能获得最终的预测结果,不产生具体的参数模型,不利于医护人员判断患者发生心脏骤停的原因,从而影响干预措施的制定,这些机器学习模型要应用于临床还有很长的距离。而决策树模型的优势在于其结果直观、可解释性,本研究的决策树模型包含了 5 个指标,各指标之间并不是独立

的,决策树充分展现了指标之间的逻辑关系,决策树模型结构简单,一目了然,容易被医护人员理解和使用,且预测心脏骤停的准确性更高。

4 小结

本研究采用决策树算法构建胸痛患者心脏骤停的风险预测模型,决策树共包含 3 层,5 个节点,舒张压、Killip 分级、cTnI、胸痛持续时间和 CK 是心脏骤停的预测指标。决策树模型的内部一致性较好;预测准确性较高,预测价值高于 GRACE 评分、TIMI 评分、HEART 评分;决策树模型结果直观、逻辑清晰,可作为医护人员对胸痛患者风险管理的决策依据。为了便于进一步的临床推广与应用,今后应开展决策树模型的外部验证,以及制定决策树模型的临床使用路径图,识别潜在高危的心脏骤停患者,并制定快速反应干预方案,有利于有限急诊资源的优化配置。

参考文献:

[1] Meng Q, Xu L, Zhang Y, et al. Trends in access to health services and financial protection in China between 2003 and 2011: a cross sectional study[J]. *Lancet*, 2012, 379(9818): 805-814.

[2] 薛军,韩占红,王明晓,等.北京市急诊胸痛的病因学调查分析[J]. *中国综合临床*, 2012, 28(10): 1042-1046.

[3] Gaieski D F, Agarwal A K, Mikkelsen M E, et al. The impact of ED crowding on early interventions and mortality in patients with severe sepsis[J]. *Am J Emerg Med*, 2017, 35(7): 953-960.

[4] Li H, Wu T T, Yang D L, et al. Decision tree model for predicting in-hospital cardiac arrest among patients admitted with acute coronary syndrome[J]. *Clin Cardiol*, 2019, 42(11): 1087-1093.

[5] Layeghian Javan S, Sepehri M M, Layeghian Javan M, et al. An intelligent warning model for early prediction of cardiac arrest in sepsis patients[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2019, 178: 47-58.

[6] Jang D H, Kim J, Jo Y H, et al. Developing neural network models for early detection of cardiac arrest in emergency department[J]. *Am J Emerg Med*, 2020, 38(1): 43-49.

[7] Fernandes M, Mendes R, Vieira S M, et al. Risk of mortality and cardiopulmonary arrest in critical patients presenting to the emergency department using machine learning and natural language processing [J]. *PLoS One*, 2020, 15(4): e0230876.

[8] Kwon J M, Lee Y, Lee Y, et al. An algorithm based on deep learning for predicting in-hospital cardiac arrest[J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(13): e008678.

[9] Ong M E, Lee Ng C H, Goh K, et al. Prediction of cardiac arrest in critically ill patients presenting to the emergency department using a machine learning score incorporating heart rate variability compared with the modified early warning score [J]. *Crit Care*, 2012, 16(3):

R108-120.

[10] Six A J, Cullen L, Backus B E, et al. The HEART score for the assessment of patients with chest pain in the emergency department: a multinational validation study [J]. *Crit Pathw Cardiol*, 2013, 12(3): 121-126.

[11] GRACE Investigators. Rationale and design of the GRACE (Global Registry of Acute Coronary Events) Project: a multinational registry of patients hospitalized with acute coronary syndromes [J]. *Am Heart J*, 2001, 141(2): 190-199.

[12] Antman E M, Cohen M, Bernink P J, et al. The TIMI risk score for unstable angina/non-ST elevation MI: a method for prognostication and therapeutic decision making [J]. *JAMA*, 2000, 284(7): 835-842.

[13] Obermeyer Z, Emanuel E J. Predicting the future—big data, machine learning, and clinical medicine [J]. *N Engl J Med*, 2016, 375(13): 1216-1219.

[14] Goto Y, Maeda T, Goto Y. Decision-tree model for predicting outcomes after out-of-hospital cardiac arrest in the emergency department [J]. *Crit Care*, 2013, 17(4): R133.

[15] Goto Y, Maeda T, Nakatsu-Goto Y. Decision tree model for predicting long-term outcomes in children with out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide, population-based observational study [J]. *Crit Care*, 2014, 18(3): R133.

[16] 中华心血管病杂志编辑委员会胸痛规范化评估与诊断共识专家组.胸痛规范化评估与诊断中国专家共识 [J]. *中华心血管病杂志*, 2014, 42(8): 627-632.

[17] Backus B E, Six A J, Kelder J H, et al. Risk scores for patients with chest pain: evaluation in the emergency department [J]. *Curr Cardiol Rev*, 2011, 7(1): 2-8.

[18] Churpek M M, Yuen T C, Huber M T, et al. Predicting cardiac arrest on the wards: a nested case-control study [J]. *Chest*, 2012, 141(5): 1170-1176.

[19] Churpek M M, Yuen T C, Park S Y, et al. Using electronic health record data to develop and validate a prediction model for adverse outcomes in the wards [J]. *Crit Care Med*, 2014, 42(4): 841-848.

[20] Faxén J, Hall M, Gale C P, et al. A user-friendly risk-score for predicting in-hospital cardiac arrest among patients admitted with suspected non-ST elevation acute coronary syndrome—the SAFER-score [J]. *Resuscitation*, 2017, 121: 41-48.

[21] 吴婷婷,李红,穆艳.急性冠状动脉综合征患者发生院内心搏骤停前 8 小时生命体征变化的研究 [J]. *中华护理杂志*, 2018, 53(8): 926-931.

[22] Solomon R, Nowak R, Hudson M, et al. Is duration of symptoms predictive of acute myocardial infarction? [J]. *Curr Probl Cardiol*, 2021, 46(3): 100555.

[23] Zitek T, Chen E, Gonzalez-Ibarra A, et al. The association of chest pain duration and other historical features with major adverse cardiac events [J]. *Am J Emerg Med*, 2020, 38(7): 1377-1383.

[24] Fernando S M, Tran A, Cheng W, et al. Prognostic accura-