DOI:10.16016/j.2097-0927.202501020

常规超声及三维斑点追踪成像技术对血液透析患者自体动静脉内瘘成熟的预测价值

袁 媛[1],罗 朋[1],封 雪[2],田 甜[2],任德伟[3],任建丽[1] [1]重庆医科大学附属第二医院超声科,重庆;重庆市中医院:[2]超声科,[3]肾病科,重庆

[**摘要**] **目的** 应用常规超声及三维斑点追踪成像技术构建血液透析患者自体动静脉内瘘(arteriovenous fistula,AVF)成熟预测模型,验证并评价诊断效能。**方法** 本研究采用病例对照研究,以方便选取法选取重庆市中医院肾病科2021年7月至2024年6月行AVF的患者200例。收集患者临床、血管超声、心脏超声数据,经筛选纳入186例,根据AVF结局,将患者分为自然成熟组(111例)和非自然成熟组(75例)。比较2组数据,采用单因素及多因素Logistic回归分析筛选变量,建立AVF自然成熟预测模型(model1),绘制列线图,对model1进行内部验证并绘制校准图,以受试者工作特征曲线下面积(area under curve,AUC)及决策曲线评价模型效能。排除未做心脏三维斑点追踪成像的患者共104例,余下82例患者数据用以建立新预测模型,左室二维整体纵向应变(two-dimensional left ventricular global longitudinal strain,2DGLS)、左室三维整体纵向应变(three-dimensional left ventricular global longitudinal strain,3DGLS)、左室三维射血分数(three-dimensional left ventricular ejection fraction,3DEF)分别参与建立新模型,记为model2、model3、model4。通过AUC值、净重分类改善指数(net reclassification improvement index,NRI)及综合判别改善指数(integrated discrimination improvement index,IDI)与model1比较预测性能优劣。**结果** 左室二维射血分数(two-dimensional left ventricular ejection fraction,2DEF)(*OR*=1.133,95%*CI*:1.058~1.213)、术前头静脉中段距皮深度(*OR*=1.453,95%*CI*:1.068~1.978)、术前头静脉远段内径(*OR*=2.141,95%*CI*:1.120~4.091)、术前肱动脉充血后阻力指数(*OR*=0.004,95%*CI*:0.000~0.140)、术后肱动脉流量(*OR*=1.004,95%*CI*:1.002~1.007)是AVF自然成熟的独立预测因子,建立的预测模型(model1)的AUC值为0.869(95%*CI*:0.817~0.921)。校准图中模拟曲线和实际曲线具有较好拟合度,平均绝对误差0.017。决策曲线表明阈值概率为0.1~1.0,模型净收益优于全干预和无干预策略。各新模型与model1比较,AUC值、IDI差异无统计学意义,model4与model1比较,NRI值差异有统计学意义(*P*<0.05)。**结论** 2DGLS、3DGLS、3DEF与2DEF参与构建的AVF自然成熟的预测模型预测效能均较高,3DEF参与的模型的NRI优于2DEF参与的模型,表明其在特定阈值概率范围内可能具有更好的临床应用价值。

[**关键词**] 常规超声;自体动静脉内瘘;三维斑点追踪成像技术;预测模型;血液透析
[**中图法分类号**] R445.1;R459.5;R654.4 [**文献标志码**] A

Predictive value of conventional ultrasonography combined with three-dimensional speckle tracking imaging for maturation of autologous arteriovenous fistulas in hemodialysis patients

YUAN Yuan[1], LUO Peng[1], FENG Xue[2], TIAN Tian[2], REN Dewei[3], REN Jianli[1] [1]Department of Ultrasound, the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing; [2]Department of Ultrasound, [3]Department of Nephrology, Chongqing Traditional Chinese Medicine Hospital, Chongqing, China

[**Abstract**] **Objective** To develop and validate a predictive model for autologous arteriovenous fistula

[**基金项目**] 成都中医药大学"杏林学者"学科人才科研提升计划立项项目(YYZY2020067)
[**通信作者**] 任建丽,E-mail:renjianli@cqmu.edu.cn

2097-0927/Copyright © 2025,陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循CC BY许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
引用格式:袁媛,罗朋,封雪,等.常规超声及三维斑点追踪成像技术对血液透析患者自体动静脉内瘘成熟的预测价值[J].陆军军医大学学报,2025,47(11):1243-1252.DOI:10.16016/j.2097-0927.202501020.
Citation:YUAN Y,LUO P,FENG X,*et al*. Predictive value of conventional ultrasonography combined with three-dimensional speckle tracking imaging for maturation of autologous arteriovenous fistulas in hemodialysis patients[J]. J Army Med Univ,2025,47(11):1243-1252. DOI:10.16016/j.2097-0927.202501020.

(AVF) maturation in hemodialysis patients using conventional ultrasonography and three-dimensional speckle tracking imaging. **Methods** This case-control study enrolled 200 AVF patients from Chongqing Hospital of Traditional Chinese Medicine from July 2021 to June 2024. Clinical data, vascular ultrasound, and cardiac ultrasound parameters were systematically collected. After applying predefined inclusion criteria, 186 patients were stratified into 2 cohorts based on arteriovenous fistula (AVF) maturation status: the spontaneous maturation group (n=111) and the assisted maturation requirement group (n=75). Comparative analysis between the 2 cohorts was conducted using univariate and multivariate logistic regression for variable selection, leading to the construction of a predictive model (model1) for spontaneous AVF maturation. A nomogram was subsequently developed based on model1. Internal validation was performed through 1 000 bootstrap resamples with calibration curve analysis. Model discrimination was quantified by the area under the receiver operating characteristic curve (AUC), while clinical utility was assessed via decision curve analysis (DCA). After excluding 104 patients lacking three-dimensional speckle tracking echocardiography data, the remaining 82 subjects were included in novel predictive model development. Three strain parameters, two-dimensional global longitudinal strain (2DGLS), three-dimensional global longitudinal strain (3DGLS), and three-dimensional left ventricular ejection fraction (3DEF), were independently incorporated into multivariable logistic regression analyses to establish three distinct models (designated as model2, model3 and model4 respectively). Model comparisons employed AUC, net reclassification improvement (NRI), and integrated discrimination improvement (IDI). **Results** Independent predictors for model1 included: 2DEF (OR=1.133, 95%CI: 1.058~1.213), mid-cephalic vein depth (OR=1.453, 95%CI: 1.068~1.978), distal cephalic vein diameter (OR=2.141, 95%CI:1.120~4.091), post-occlusive brachial artery resistance index (OR=0.004, 95%CI: 0.000~0.140), and postoperative brachial flow (OR=1.004, 95% CI: 1.002~1.007). model1 demonstrated excellent discrimination (AUC=0.869, 95%CI: 0.817~0.921) and calibration (mean absolute error=0.017). DCA showed superior net benefit at 0.1~1.0 threshold probabilities. Compared with model1, non-significant improvements in AUC and IDI, while model4 achieved significant NRI improvements (P< 0.05). **Conclusion** The prediction performance of AVF natural maturity prediction models constructed with 2DGLS, 3DGLS, 3DEF, or 2DEF is relatively high; The NRI of the model involving 3DEF is better than that of the model involving 2DEF, indicating that it may have better clinical application value within a specific threshold probability range.

[**Key words**] conventional ultrasonography; arteriovenous fistula; three-dimensional speckle tracking imaging; predictive model; hemodialysis

Supported by the Xinglin Scholars Program for Discipline Talent Research Enhancement of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine (YYZY2020067). Corresponding author: REN Jianli, E-mail:renjianli@cqmu.edu.cn

自体动静脉内瘘(arteriovenous fistula, AVF)作为大部分血液透析患者首选的血管通路方式[1],其成熟质量直接影响透析充分性及患者生存质量。临床实践中,常按照传统的筛选方法以血管内径作为选择标准,例如,现行指南推荐静脉≥2.5 mm,动脉≥2.0 mm[2-4],然而仍有20%~40%的AVF因成熟失败而无法正常使用[5],美国肾脏数据系统(United States Renal Data System,USRDS)统计显示其失败率达38.9%[6],更值得注意的是,约21%的瘘管在建立后从未实现功能性成熟[7]。这一现状不仅造成反复手术的医疗负担,更提示单纯依赖血管形态学参数存在显著的预测局限性。

近年来,心脏功能与AVF成熟机制的关联逐渐受到关注。FARRINGTON等[8]建立的预测模型显示,左室二维射血分数(two-dimensional left ventricular ejection fraction,2DEF)联合动脉直径与血压参数可提高成熟预测效能,但其受限于2DEF固有的角度依赖性和心室形态简化假设[9]。而基于二维斑点追踪成像技术的左室整体纵向应变(two-dimensional left ventricular global longitudinal strain, 2DGLS)作为新指标,已在心衰、心肌缺血等疾病中展现出比2DEF更高的敏感性[10-11],但其在AVF成熟评估中的应用尚缺乏研究。

本研究拟分析患者临床、血管超声及超声心动图

特征,通过整合术前血管超声参数(动脉/静脉直径、血流速度等)、二维及三维斑点追踪成像技术获取的左室整体纵向应变参数及临床指标(血压、糖尿病史等),旨在探索构建包含心脏力学参数的多维度预测模型,揭示心脏收缩协调性与AVF自然成熟之间关系,弥补传统"血管中心"评估体系的不足,以寻找更敏感指标以期获得更高预测性能模型。

1 资料与方法

1.1 对象

本研究为病例对照研究,以方便选取法选取2021年7月至2024年6月在重庆市中医院肾病科就诊拟行AVF的患者。纳入标准:①年龄>18岁;②诊断为慢性肾功能衰竭[肾小球滤过率<15 mL/(min·1.73 m^2)],拟行AVF术。排除标准:①术前评估后各种原因未做手术者;②无法随访到AVF结局者;③数据缺失较多者;④患者成像条件差,难以获得清晰图像。200名患者的初始队列中,排除不符合标准的14例(其中3例未做手术,6例无法随访到AVF结局,5例数据缺失较多),186名患者被纳入研究,其中男性107例,女性79例,平均年龄58.4岁。

样本量合理性:基于构建预测模型的事件数规则,最小样本量约为预测变量个数的10倍,本研究主要分析模型共纳入5个预测变量,最小样本量为50例,实际事件发生数(自然成熟组)为111例;亚组分析模型中,每个模型纳入4个预测变量,最小样本量为40例,实际事件发生数(自然成熟组)为48例,基本满足要求。本研究经重庆医科大学附属第二医院伦理委员会[2024年研伦审第(38)号]和重庆市中医院伦理委员会[2025-YJS-HY-1]批准通过,豁免知情同意(回顾性研究)。

1.2 临床数据采集

所有病例行前臂自体桡动脉-头静脉内瘘术。基于文献回顾与临床共识[12-13],确定候选预测变量包括:性别、年龄、糖尿病史、高血压病史及术前血压(收缩压/舒张压)。数据通过医院电子病历系统提取,血压值为术前24 h内静息状态测量值。

1.3 超声检查方案

超声术前检查时间为术前1周内,术后检查时间为术后1周内,由重庆市中医院超声科具有>10年血管及心脏超声检查经验的医师完成数据采集。

1.3.1 设备与操作 采用GE Vivid E95彩色多普勒超声诊断仪,血管超声检查使用9L线阵探头(频率5.0~12.0 MHz),心脏超声检查使用4VC相控阵探头(频率1.5~4.6 MHz)。血管超声检查时,患者取仰卧位,双臂自然放松,将探头放置于患者前臂及上臂进行扫查,清楚地显示上肢血管。超声心动图检查时,患者取左侧卧位,探头置于胸前。

1.3.2 测量参数 血管超声参数包含肱动脉、桡动脉、头静脉的内径、流量、阻力指数等;常规超声心动图测量指标为2DEF,二维斑点追踪成像技术获取2DGLS,三维斑点追踪成像技术获取左室三维整体纵向应变(three-dimensional left ventricular global longitudinal strain,3DGLS)及左室三维射血分数(three-dimensional left ventricular ejection fraction,3DEF)。

1.3.3 功能试验 肱动脉反应性充血试验[14]:嘱患者拟手术侧握拳2 min后松开,分别测量松开前、后的肱动脉流速及松开后的肱动脉阻力指数;头静脉束臂试验[15]:于上臂中段扎止血带2 min,分别测量扎止血带前、后拟造瘘静脉内径。

1.4 结局定义及分组

参照中国血液透析用血管通路专家共识(第2版),AVF自然成熟定义为:造瘘后4~8周在无辅助情况下肱动脉自然流量>500 mL/min或成功进行1次透析[14]。根据AVF结局,将纳入的186例患者分为:自然成熟组(111例),即除AVF手术外未经辅助自然成熟;非自然成熟组(75例),包含经球囊扩张术辅助后成熟和成熟失败者。

1.5 主要分析模型

1.5.1 主要分析模型变量筛选与模型构建 对186例患者中自然成熟组与非自然成熟组的基线特征(性别、年龄、糖尿病史、高血压史、术前血压)及超声检查参数[血管内径、血流量、阻力指数(resistance index,RI)、2DEF]进行比较,差异具有统计学意义的变量(P<0.05)进行单因素分析,将单因素Logistic回归分析中P<0.05的变量纳入多因素Logistic回归分析,筛选独立预测因子,构建AVF自然成熟的预测模型,记为model1。绘制列线图,量化各预测因子对AVF自然成熟的影响权重。

1.5.2 主要分析模型的验证及评价 对model1用Bootstrap法进行内部验证,循环1 000次获得校准曲线,评估模型的预测准确性和可靠性。绘制模型受试者工作曲线(receiver operating characteristic,ROC),以曲线下面积(area under curve,AUC)评价模型预测性能。通过决策曲线分析(decision curve analysis,DCA)量化模型在不同阈值概率下的临床净获益。

1.6 亚组分析模型

1.6.1 亚组分析模型变量筛选与模型构建 排除186例患者中未做心脏三维斑点追踪成像的104例,将余下82例患者作为亚组进行分析,其中自然成熟组48例,非自然成熟组34例。将82例患者数据进行单因素及多因素Logistic回归分析筛选独立预测因子,并分别纳入2DGLS、3DGLS、3DEF构建模型,分别记为model2、model3、model4。

1.6.2 亚组分析模型评价 绘制ROC模型,以AUC评价模型预测性能。

1.6.3 模型比较 将model2、model3、model4分别与model1比较,计算ROC曲线AUC值差异显著性,计算净重分类改善指数(net reclassification improvement index,NRI)和综合判别改善指数(integrated discrimination improvement index,IDI),评估新模型对风险分层的提升作用。

1.7 统计学分析

采用SPSS 27.0软件进行统计学分析,呈正态分布的计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,方差齐性组间比较采用独立样本t检验,方差不齐组间比较采用*Welch's t*检验;不符合正态分布的计量资料用$M(P_{25},P_{75})$描述,组间比较用秩和(Mann-Whitney U)检验;计数资料采用例(%)表示,组间比较采用χ^2检验。方差膨胀系数(variance inflation factor,VIF)>10判断为强相关性。采用单因素及多因素Logistic回归分析筛选预测因子,建立预测模型。在R 4.4(http://www.r-project.org/)中采用rms包绘制列线图;用Bootstrap法重复取样1 000次对模型进行内部验证,绘制校准图;使用rmda包绘制决策曲线;采用nricens、predictABEL包计算模型之间的NRI及IDI;使用pROC包计算和比较受试者工作特征AUC值。P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 主要分析与亚组分析患者基线人口学特征及AVF结局构成比较

主要分析中的186例患者与亚组分析中的82例患者在年龄、性别、糖尿病史、高血压史等基线特征及AVF结局差异无统计学意义(表1),表明亚组分析的选择偏倚风险较低。

2.2 非自然成熟组与自然成熟组临床特征及超声指标比较

临床特征比较,2组性别差异无统计学意义(P=0.729),非自然成熟组年龄(P<0.001)、患糖尿病者比例高于自然成熟组(P<0.05),而术前舒张压低于自然成熟组(P<0.05);2组高血压病史比例均较高,但无明显差异(P=0.386)。2组术前收缩压无明显差异(P=0.569,表2)。提示AVF自然成熟与年龄、糖尿病史、术前舒张压的相关。

表1 主要分析与亚组分析的患者基线特征及AVF结局构成比较[例(%),$M(P_{25},P_{75})$]

变量	主要分析(n=186)	亚组分析(n=82)	Z/χ^2	P
结局(自然成熟)	111(59.6)	48(58.5)	0.031	0.861
年龄/岁	60.0(50.1,69.0)	61.0(51.2,69.8)	−0.571	0.568
男性	107(57.5)	53(64.6)	1.195	0.274
糖尿病史(是)	80(43.0)	40(48.7)	0.766	0.381
高血压史(是)	164(88.2)	77(93.9)	2.063	0.151

术前超声指标的比较中,桡动脉、头静脉近、中、远段内径,头静脉中段、远段深度等自然成熟组均高于非自然成熟组(P<0.05),2DEF自然成熟组亦高于非自然成熟组(P<0.001),而肱动脉充血后阻力指数自然成熟组则明显低于非自然成熟组(P<0.001)。术后指标中,自然成熟组肱动脉、桡动脉、头静脉内径均高于非自然成熟组,自然成熟组肱动脉流量亦高于非自然成熟组(P<0.001),而肱动脉阻力指数、桡动脉阻力指数、头静脉阻力指数自然成熟组均低于非自然成熟组(P均<0.05,表2)。表明血管内径、血管深度、心脏功能、血流量等与AVF自然成熟呈现正相关,而阻力指数与其呈负相关。

2.3 主要分析变量的回归分析

单因素Logistic回归分析,显示年龄、糖尿病史、术前舒张压、2DEF、术前头静脉中段及远段距皮深度、术前头静脉及桡动脉远段内径、术前肱动脉充血后阻力指数、术后肱动脉内径、流量、阻力指数、术后桡动脉内径及阻力指数、术后头静脉内径及阻力指数为AVF自然成熟的影响因素(P均<0.01,表3)。多因素Logistic回归分析,结果显示2DEF、术前头静脉中段距皮深度、术前头静脉远段内径、术前肱动脉充血后阻力指数、术后肱动脉流量为自体动静脉内瘘自然成熟的独立预测因子(P均<0.05,表3)。

2.4 主要分析模型

2.4.1 模型建立 2DEF、术前头静脉中段距皮深度、术前头静脉远段内径、术前肱动脉充血后阻力指数、术后肱动脉流量作为自变量,自体动静脉内瘘自然成熟作为因变量构建Logistic回归模型,记为model1。根据该模型绘制的列线图显示2DEF得分最高,其次是术后肱动脉流量、术前头静脉中段距皮深度、术前头静脉远段内径、术前肱动脉充血后阻力指数(图1),多因素分析中术前头静脉远段内径OR值最高,但在列线图中的得分偏小,原因可能是该指标取

表2 非自然成熟组与自然成熟组临床及超声特征比较[例(%),$M(P_{25},P_{75})$,$\bar{x}\pm s$]

指标	非自然成熟组(n=75)	自然成熟组(n=111)	$t/\chi^2/Z$	P
男性	42(56.0)	65(58.6)	0.120	0.729
年龄/岁	67.0(55.3,73.4)	55.3(45.4,66.5)	−4.068	<0.001
糖尿病史(是)	41(54.7)	39(35.1)	6.966	0.008
高血压史(是)	68(90.7)	96(86.5)	0.750	0.386
术前收缩压/mmHg	142.01±14.68	140.82±13.50	0.571	0.569
术前舒张压/mmHg	78.87±9.68	83.65±11.18	−3.017	0.003
2DEF/%	60(56,64)	65(60,69)	−4.188	<0.001
术前肱动脉内径/mm	4.0(3.6,4.5)	4.1(3.6,4.5)	−0.708	0.479
术前肱动脉流量/(mL/min)	89(63,119)	92.0(69.0,123.0)	−1.336	0.182
术前肱动脉充血前流速/(cm/s)	105(81,122)	96.0(80.0,110.0)	−1.692	0.091
术前肱动脉充血后流速/(cm/s)	142(120,164)	142.0(124.0,172.0)	−0.791	0.429
术前肱动脉充血后阻力指数	0.8(0.7,0.9)	0.7(0.6,0.8)	−5.038	<0.001
术前桡动脉近段内径/mm	2.3(1.9,2.6)	2.5(2.3,2.9)	−3.359	<0.001
术前桡动脉中段内径/mm	1.9(1.6,2.3)	2.1(1.9,2.5)	−3.545	<0.001
术前桡动脉远段内径/mm	1.7(1.5,2.2)	2.0(1.8,2.2)	−3.098	0.002
术前桡动脉远段流速/(cm/s)	73(60,87)	70.0(55.0,81.0)	−1.633	0.102
术前头静脉近段内径/mm	2.26±0.75	2.62±0.83	−2.987	0.003
术前头静脉近段束臂后内径/mm	2.96±0.84	3.39±0.89	−3.284	<0.001
术前头静脉近段扩张内径/mm	0.6(0.4,1.0)	0.6(0.5,1.0)	−1.099	0.272
术前头静脉近段距皮深度/mm	3.3(2.5,4.0)	3.3(2.7,4.3)	−1.013	0.311
术前头静脉中段内径/mm	1.96±0.63	2.34±0.74	−3.654	<0.001
术前头静脉中段束臂后内径/mm	2.53±0.75	2.96±0.79	−3.728	<0.001
术前头静脉中段扩张内径/mm	0.5(0.3,0.7)	0.6(0.4,0.8)	−1.174	0.240
术前头静脉中段距皮深度/mm	2.8(2.0,3.6)	3.2(2.5,4.4)	−2.915	0.004
术前头静脉远段内径/mm	1.3(1.1,1.7)	1.7(1.4,2.3)	−4.416	<0.001
术前头静脉远段束臂后内径/mm	1.8(1.4,2.2)	2.4(1.8,2.8)	−4.398	<0.001
术前头静脉远段扩张内径/mm	0.4(0.3,0.6)	0.4(0.3,0.6)	−0.839	0.401
术前头静脉远段距皮深度/mm	2.0(1.7,2.6)	2.3(1.8,2.8)	−2.348	0.019
术后肱动脉内径/mm	4.5(4.0,5.1)	5.0(4.5,5.3)	−3.474	<0.001
术后肱动脉流量/(mL/min)	390.0(277.0,474.0)	532.0(420.0,670.0)	−5.674	<0.001
术后肱动脉流速/(cm/s)	137.0(119.0,154.0)	143.0(123.0,164.0)	−1.424	0.154
术后肱动脉阻力指数	0.7(0.6,0.8)	0.6(0.5,0.6)	−5.793	<0.001
术后桡动脉内径/mm	2.67±0.60	3.08±0.62	−4.479	<0.001
术后桡动脉流速/(cm/s)	128.0(99.0,167.0)	144.0(106.0,195.0)	−1.415	0.157
术后桡动脉阻力指数	0.5(0.4,0.6)	0.4(0.4,0.5)	−4.292	<0.001
术后头静脉内径/mm	2.7(2.2,3.3)	3.2(2.8,3.7)	−4.436	<0.001
术后头静脉流速/(cm/s)	231.0(148.0,354.0)	252.0(172.0,305.0)	0.000	>0.999
术后头静脉阻力指数	0.52±0.13	0.45±0.11	3.586	<0.001
吻合口内径/mm	2.8(2.3,3.2)	2.8(2.4,3.3)	−0.942	0.346
吻合口流速/(cm/s)	380.0(314.0,455.0)	400.0(328.0,468.0)	−0.550	0.582
手术前后肱动脉流量差值/(mL/min)	308.0(187.0,410.0)	453.0(332.0,556.0)	−5.374	<0.001

值范围较窄所致。

2.4.2 模型准确性和可靠性 对model1用Bootstrap法进行内部验证,校准曲线显示,实际曲线与校正曲线具有较好的拟合度,平均绝对误差0.017,二者与理想曲线亦较接近(图2)。提示该预测模型具有较好的准确性和可靠性。

2.4.3 模型的预测性能及临床实用性 model1受试者工作曲线AUC值为0.869(95%*CI*:0.817~0.921),最大约登指数为0.587,敏感度及特异度为66.7%、92.0%(图3),表明该预测模型具有良好的预测性能。决策曲线分析表明,在阈值概率为0.1~1.0,模型的净收益优于全干预和无干预策略,且高于单个指标(图4)。说明该模型可为临床医生提供基于个体化风险的决策依据。

表3 单因素及多因素Logistic回归分析结果

影响因素	单因素分析			多因素分析		
	OR	95%*CI*	*P*	*OR*	95%*CI*	*P*
年龄	0.954	0.932~0.976	<0.001			0.158
术前舒张压	1.044	1.014~1.076	0.004			0.754
糖尿病史	2.226	1.223~4.052	0.009			0.455
2DEF	1.105	1.053~1.160	<0.001	1.133	1.058~1.213	<0.001
术前头静脉中段距皮深度	1.455	1.125~1.881	0.004	1.453	1.068~1.978	0.017
术前头静脉远段距皮深度	1.766	1.164~2.678	0.007			0.750
术前头静脉远段内径	2.981	1.723~5.159	<0.001	2.141	1.120~4.091	0.021
术前肱动脉充血后阻力指数	0.001	0.000~0.020	<0.001	0.004	0.000~0.140	0.002
术前桡动脉远段内径	2.981	1.723~5.159	<0.001			0.389
术后肱动脉内径	1.923	1.242~2.977	0.003			0.390
术后肱动脉流量	1.005	1.003~1.008	<0.001	1.004	1.002~1.007	0.002
术后肱动脉阻力指数	0.000	0.000~0.004	<0.001			0.095
术后桡动脉内径	3.115	1.801~5.387	<0.001			0.673
术后桡动脉阻力指数	0.005	0.000~0.077	<0.001			0.319
术后头静脉内径	2.561	1.659~3.952	<0.001			0.056
术后头静脉阻力指数	0.008	0.000~0.137	<0.001			0.722

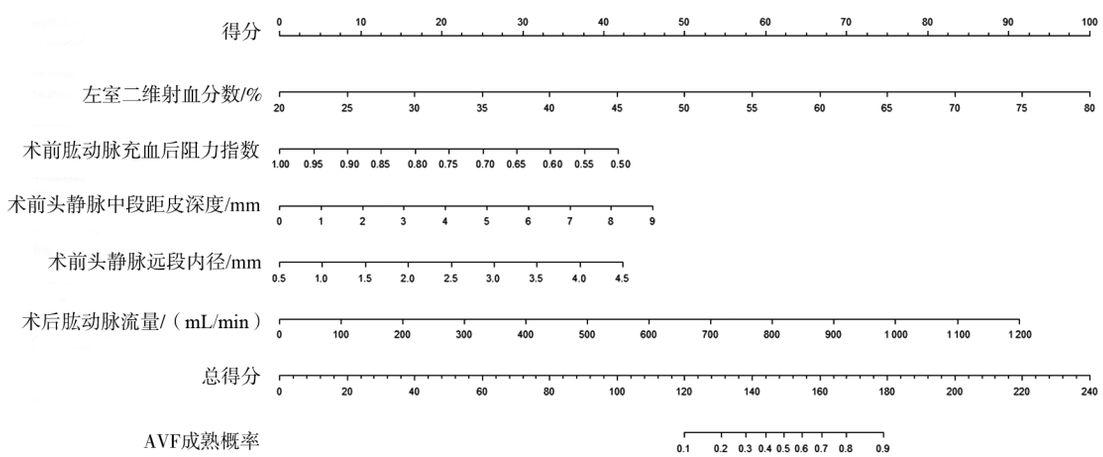


图1 主要分析模型的列线图

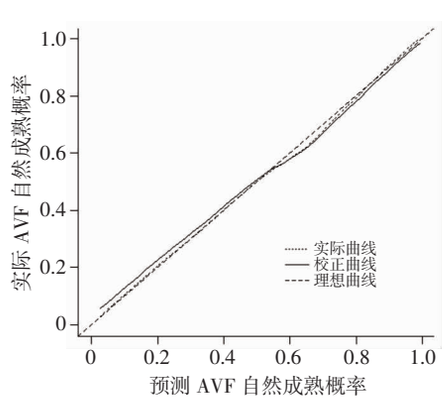


图2 主要分析模型的校准图

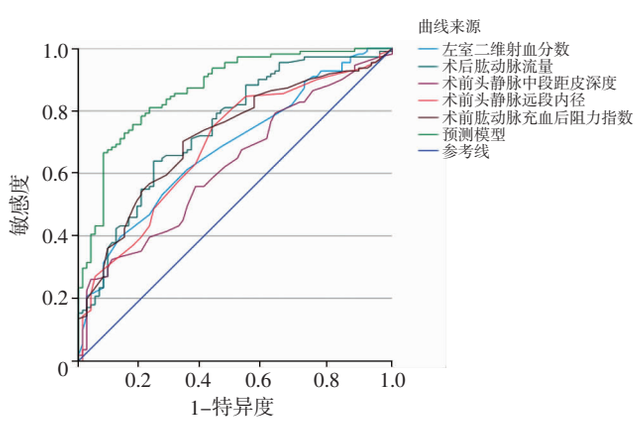


图3 主要分析模型的ROC曲线

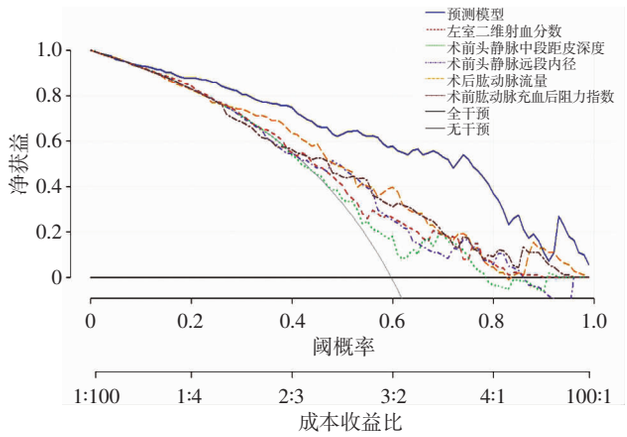


图4 主要分析模型的决策曲线

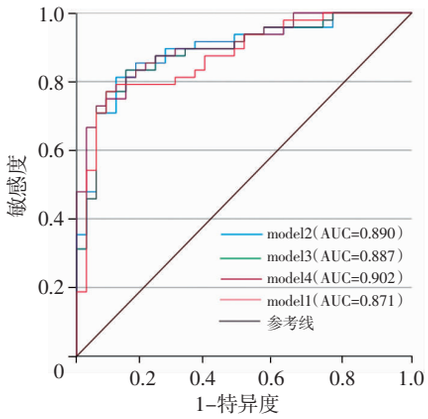


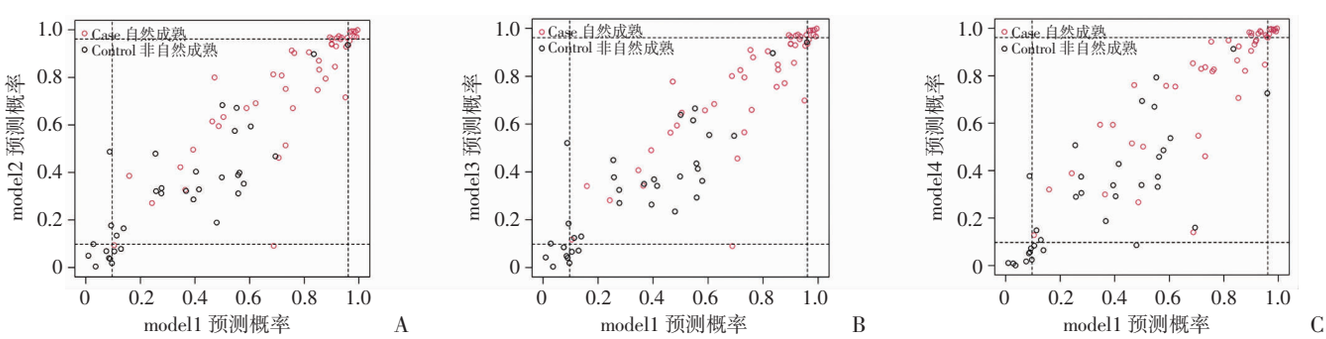
图5 亚组分析各模型的ROC曲线比较

2.5 亚组分析模型建立及预测性能评价

将82例患者数据进行单因素及多因素Logistic回归分析,结果表明术前肱动脉充血后阻力指数、术后肱动脉流量、术后头静脉内径为AVF自然成熟的独立预测因子。亚组分析模型model2、model3、model4与model1的ROC曲线AUC值均较高,分别为0.890(95%*CI*:0.819~0.961)、0.887(95%*CI*:0.814~0.959)、0.902(95%*CI*:0.838~0.966)、0.871(95%*CI*:0.793~0.948),见图5,提示亚组分析模型亦具有良好的预测性能。

2.6 各模型预测性能及分类准确性比较

model2、model3、model4分别与model1比较AUC值均无明显差异,model4与model1比较,NRI[0.204(95%*CI*:0.051~0.371)]取值为正值,且差异具有统计学意义(*P*<0.05),表明model4与model1相比在特定阈值范围(0.1~0.9)内提高分类准确性,IDI亦为正值[0.078(95%*CI*:0.005~0.156)],但未达统计学意义(*P*=0.506,图6,表4),可能反应model4对整体预测概率特别是高低风险人群的预测概率影响不明显,或受限于当前亚组样本量,不足以检测微小效应。



A:model2与model1比较的NRI分布图;B:model3与model1比较的NRI分布图;C:model4与model1比较的NRI分布图

图6 亚组分析中各模型Bootstrap法计算NRI的分布图

表4 亚组分析中各新模型与model1比较

模型	AUC		NRI		IDI	
	AUC(95%*CI*)	*P*	NRI(95%*CI*)	*P*	IDI(95%*CI*)	*P*
model2	0.890(0.819~0.961)	0.140	0.074(−0.165~0.194)	0.088	0.043(−0.026~0.113)	0.491
model3	0.887(0.814~0.959)	0.250	0.033(−0.143~0.213)	0.088	0.033(−0.032~0.100)	0.537
model4	0.902(0.838~0.966)	0.130	0.204(0.051~0.371)	0.029	0.078(0.005~0.156)	0.506

*P*值为各模型分别与model1比较

3 讨论

3.1 建立AVF成熟预测模型的意义

AVF是晚期肾脏病血液透析患者的“生命线”,但目前依然存在着一定的不成熟风险[6-7],临床需要尽早对AVF的成熟进行预测,以便早期对不能自然成熟的患者进行干预,众多学者致力找寻AVF成熟的影响因素[16-21],建立预测性能良好的预测模型[22-23],而所建立的模型以AUC为代表的预测性能参差不齐,大多在0.519~0.848。本研究建立的预测模型ROC曲线AUC值为0.869(95%*CI*:0.817~0.921),对AVF自然成熟有良好的预测性能。

3.2 2DEF与AVF成熟

以往文献主要关注临床特征和血管超声指标的预测价值,近年一些学者将目光转向心脏超声指标[24-25],但大多为相关性研究,较少形成预测模型。其中一项包含236名患者的回顾性研究显示2DEF是AVF成熟的独立预测因子[25],本研究亦提示2DEF为AVF自然成熟的独立预测因子,并进一步将其纳入构建预测模型,绘制了列线图将模型可视化,让临床医生能够更加直观的使用该预测模型进行临床决策。

3.3 三维斑点追踪成像技术参数与AVF成熟

2DGLS作为心功能评估中较2DEF更敏感的指标[26-27],部分患者2DEF可能还没发生改变,2DGLS已有表现,目前是研究热点,但其对AVF成熟的影响鲜少见有研究,本研究对2DGLS和3DGLS对AVF结局的影响进行了探索。在本研究亚组分析中,2DGLS、3DGLS、3DEF分别参与建立新预测模型,结果3个模型与主要分析模型AUC值相似,且均较高,表明2DGLS、3DGLS、3DEF亦可作为AVF自然成熟的预测因子,有助于后续研究预测变量的选择。

3DEF参与的模型与2DEF参与的模型比较,NRI具有统计学意义,而IDI无明显差异,说明前者相比后者在特定阈值范围内提高了分类准确性,但对整体预测概率特别是对高、低风险人群的预测概率影响不明显,NRI较IDI敏感,IDI可能需要更大样本量才能表现出有意义的改善,可作为后续深入研究的方向。

3.4 头静脉中段距皮深度与AVF成熟

本研究中多因素Logistic回归分析中显示头静脉中段距皮深度为自然成熟的独立正向预测因子(*OR*=1.453,95%*CI*:1.068~1.978),即自然成熟的AVF引流静脉更深,这与HAKIM等[28]的研究结果不同,该文献表明成熟的AVF具有更浅的引流静脉深度,文献中自然成熟组、辅助成熟组和未成熟组引流静脉深度中位数分别为5.8 mm、6.4 mm、6.3 mm,而本研究自然成熟组与非自然成熟组中位数分别为3.2 mm、2.8 mm,明显小于该文献,这样的差异可能跟研究人群有关,该文献主要研究对象为欧美人,而本研究全部为中国人,需要扩大样本量的研究,以确定是否存在一个阈值,使静脉深度在保护因素与风险因素之间转换。

本研究的不足在于:①纳入病例全部为前臂自体桡动脉-头静脉内瘘,可能存在选择偏倚;②未讨论插管病史对内瘘结局的影响;③成熟失败患者由于例数较少(仅3例),所以未单独分组。

综上所述,本研究以2DEF、术前头静脉中段距皮深度、术前头静脉远段内径、术前肱动脉充血后阻力指数、术后肱动脉流量建立的模型对AVF自然成熟有良好的预测效能,能为临床决策提供帮助。2DGLS、3DGLS、3DEF与2DEF参与构建的AVF自然成熟的预测模型预测效能均较高,3DEF参与的模型的NRI优于2DEF参与的模型,表明其在特定阈值概率范围内可能具有更好的临床应用价值。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献:

[1] 万梓鸣,赖其权,陈凌,等.瘤壁部分切除术治疗自体动静脉内瘘瘤样扩张的临床研究[J].第三军医大学学报,2018,40(06):532-536. DOI:10.16016/j.1000-5404.201710221.
WAN Z M, LAI Q Q, CHEN L, *et al*.Clinical study of Partial aneurysmectomy for salvage of aneurysmal dilatation of autogenous arteriovenous fistula[J].J Third Mil Med Univ, 2018, 40(06): 532-536. DOI: 10.16016/j.1000-5404.201710221.

[2] HARDUIN L O, BARROSO T A, GUERRA J B, *et al*. Guidelines on vascular access for hemodialysis from the Brazilian society of angiology and vascular surgery[J]. J Vasc Bras, 2023, 22: e20230052. DOI: 10.1590/1677-5449.202300522.

[3] SILVA M B Jr, HOBSON R W 2nd, PAPPAS P J, *et al*. A strategy for increasing use of autogenous hemodialysis access procedures: impact of preoperative noninvasive evaluation[J]. J Vasc Surg, 1998, 27(2): 302-307. DOI: 10.1016/s0741-5214(98)70360-x.

[4] ALLON M, LOCKHART M E, LILLY R Z, *et al*. Effect of Preoperative sonographic mapping on vascular access outcomes in hemodialysis patients[J]. Kidney Int, 2001, 60(5): 2013-2020. DOI: 10.1046/j.1523-1755.2001.00031.x.

[5] ZONNEBELD N, TORDOIR J H M, VAN LOON M M, *et al*. Pre-operative patient specific flow predictions to improve haemodialysis arteriovenous fistula maturation (shunt simulation study): a randomised controlled trial[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2020, 60(1): 98-106. DOI: 10.1016/j.ejvs.2020.03.005.

[6] HAŁADAJ R, WYSIADECKI G, DUDKIEWICZ Z, *et al*. The high origin of the radial artery (brachioradial artery): its anatomical variations, clinical significance, and contribution to the blood supply of the hand[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 1520929. DOI: 10.1155/2018/1520929.

[7] NGUYEN M, THANKAM F G, AGRAWAL D K. Sterile inflammation in the pathogenesis of maturation failure of arteriovenous fistula[J]. J Mol Med (Berl), 2021, 99(6): 729-741. DOI: 10.1007/s00109-021-02056-4.

[8] FARRINGTON C A, ROBBIN M L, LEE T, *et al*. Early predictors of arteriovenous fistula maturation: a novel perspective on an enduring problem[J]. J Am Soc Nephrol, 2020, 31(7): 1617-1627. DOI: 10.1681/asn.2019080848.

[9] TSCHÖPE C, SENNI M. Usefulness and clinical relevance of left ventricular global longitudinal systolic strain in patients with heart failure with preserved ejection fraction[J]. Heart Fail Rev, 2020, 25(1): 67-73. DOI: 10.1007/s10741-019-09853-7.

[10] PATEL J, RIKHI R, HUSSAIN M, *et al*. Global longitudinal strain is a better metric than left ventricular ejection fraction: lessons learned from cancer therapeutic-related cardiac dysfunction[J]. Curr Opin Cardiol, 2020, 35(2): 170-177. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000716.

[11] KOURIS N T, KOSTOPOULOS V S, PSARROU G A, *et al*. Left ventricular ejection fraction and global longitudinal strain variability between methodology and experience[J]. Echocardiography, 2021, 38(4): 582-589. DOI: 10.1111/echo.15025.

[12] WARNER E D, CORSI D R, JIMENEZ D, *et al*. Determinants of pulmonary hypertension in Patients with end-stage kidney disease and arteriovenous access[J]. Curr Probl Cardiol, 2024, 49(4): 102406. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2024.102406.

[13] FITZGIBBON J J, HEINDEL P, APPAH-SAMPONG A, *et al*. Temporal trends in hemodialysis access creation during the fistula first era[J]. J Vasc Surg, 2024, 79(6): 1483-1492.e3. DOI: 10.1016/j.jvs.2024.02.020.

[14] GUBENSEK J. The role of ultrasound examination in the assessment of suitability of calcified arteries for vascular access creation-mini review[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(16): 2660. DOI: 10.3390/diagnostics13162660.

[15] CHYTILOVA E, JEMCOV T, MALIK J, *et al*. Role of Doppler ultrasonography in the evaluation of hemodialysis arteriovenous access maturation and influencing factors[J]. J Vasc Access, 2021, 22(1_suppl): 42-55. DOI: 10.1177/1129729820965064.

[16] 中国医院协会血液净化中心分会血管通路工作组. 中国血液透析用血管通路专家共识(第2版)[J]. 中国血液净化, 2019, 18(6): 365-381. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2019.06.001.
Vascular Access Working Group of Blood Purification Center Branch of Chinese Hospital Association. Chinese expert consensus on vascular access for hemodialysis (2nd Edition)[J]. Chin J Blood Purif, 2019, 18(6): 365-381. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2019.06.001.

[17] ZHANG F, LI J L, YU J, *et al*. Risk factors for arteriovenous fistula dysfunction in hemodialysis Patients: a retrospective study[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 21325. DOI: 10.1038/s41598-023-48691-4.

[18] KALLER R, RUSSU E, ARBĂNA\U0219I E M, *et al*. Intimal CD31-Positive relative surfaces are associated with systemic inflammatory markers and maturation of arteriovenous fistula in dialysis patients[J]. J Clin Med, 2023, 12(13): 4419. DOI: 10.3390/jcm12134419.

[19] ENGIN M, AS A K. Triglyceride glucose index as a marker of primary patency rate of arteriovenous fistula in diabetic hemodialysis patients[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2024, 28(10): 3615-3620. DOI: 10.26355/eurrev_202405_36298.

[20] GIANNIKOURIS I E, SPILIOPOULOS S, GIANNAKOPOULOS T, *et al*. Evaluation of arteriovenous fistula maturation and early prediction of clinical eligibility, using ultrasound: The Fistula Maturation Evaluation (FAME) Study[J]. J Vasc Access, 2024: 11297298241255519. DOI: 10.1177/11297298241255519.

[21] DE WINTER E P, WILSCHUT D, PLASMANS K, *et al*. Intraoperative transit time flow measurement predicts maturation of radiocephalic arteriovenous fistulas[J]. J Vasc Surg, 2024, 80(1): 232-239. DOI: 10.1016/j.jvs.2024.02.028.

[22] TNG A R K, LEE K G, TAN R Y, *et al*. Validation of the failure to maturation equation and proposal for a novel scoring system for arteriovenous fistula maturation in multiethnic Asian haemodialysis patients [J]. J Vasc Access, 2020, 21 (2): 169-175. DOI: 10.1177/1129729819865463.

[23] 梁玉枫, 陈勇平, 涂淑珍, 等. 预测自体动静脉内瘘成熟的列线图模型的建立[J]. 中国血液净化, 2019, 18(2): 110-114. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2019.02.008.
LIANG Y F, CHEN Y P, TU S Z, *et al*. A nomogram to predict the maturity of arteriovenous fistulas for hemodialysis [J]. Chin J Blood Purif, 2019, 18(2): 110-114. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4091.2019.02.008.

[24] XIONG Y Q, YU Y, ZHANG C L, *et al*. The role of echocardiography in prognosis for dysfunction and abandonment of radiocephalic arteriovenous fistula in elderly Chinese patients on hemodialysis [J]. Semin Dial, 2020, 33(4): 309-315. DOI: 10.1111/sdi.12871.

[25] GAN W Y, SHAO D N, XU L, *et al*. Maturation and survival of arteriovenous fistula: the challenge starts from the preoperative assessment stage[J]. Semin Dial, 2022, 35(3): 228-235. DOI: 10.1111/sdi.13036.

[26] BRANN A, MILLER J, ESHRAGHIAN E, *et al*. Global longitudinal strain predicts clinical outcomes in patients with heart failure with preserved ejection fraction[J]. Eur J Heart Fail, 2023, 25(10): 1755-1765. DOI: 10.1002/ejhf.2947.

[27] DETTORI R, MILZI A, LUBBERICH R K, *et al*. Chronic kidney disease is related to imPaired left ventricular strain as assessed by cardiac magnetic resonance imaging in patients with ischemic cardiomyopathy [J]. Clin Res Cardiol, 2024, 113(11): 1544-1554. DOI: 10.1007/s00392-023-02346-6.

[28] HAKIM A J, BROOKE B S, BECKSTROM J L, *et al*. Rules of 6 criteria predict dialysis fistula maturation but not all rules are equal[J]. J Vasc Surg, 2022, 76(1): 232-238.e2. DOI: 10.1016/j.jvs.2022.02.018.

(**收稿**:2025-01-06;**修回**:2025-03-31)

(编辑 刘秋池)