



· 论 著 ·

基于超声和临床特征决策树模型预测乳腺癌分子亚型

施 维¹, 夏 威¹, 黄 敏², 常 才³, 王 宇³, 游小慧², 顾华芸², 董智芬², 郭建锋²

1. 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所医学影像技术研究室, 江苏 苏州 215163 ;

2. 南京医科大学附属苏州医院, 苏州市立医院超声科, 江苏 苏州 215001 ;

3. 复旦大学附属肿瘤医院超声科, 上海 200032

[摘要] 目的: 建立不同亚型浸润性乳腺癌的超声决策树预测模型, 并分析模型的临床价值。方法: 回顾并分析420例经病理学检查证实的浸润性乳腺癌患者, 其中管腔A (Luminal A, LA) 型患者137例、管腔B (Luminal B, LB) 型患者157例、人表皮生长因子受体2过表达 (human epidermal growth factor receptor 2 over-expression, HER2+) 型患者61例和三阴性乳腺癌 (triple-negative breast cancer, TNBC) 型患者65例。使用方差分析和Fisher精确概率检验统计分析患者的超声特征和临床特征, 将差异有统计学意义的特征纳入决策树模型以预测乳腺癌分子亚型。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线的曲线下面积 (area under curve, AUC) 评价模型的预测效果。结果: 对于4种乳腺癌分子亚型, 找到7种差异有统计学意义 ($P < 0.05$) 的临床和超声特征: 临床分期、肿瘤最大径、肿瘤内部回声变化、肿瘤后方回声变化、钙化形态、钙化部位、有无转移性淋巴结。LA、LB、HER2⁺和TNBC型决策树模型的训练集AUC分别为0.731、0.708、0.722和0.877。此外, 与高年资超声科医师相比, 决策树模型鉴别TNBC型的灵敏度 (81.0%) 较高。结论: 基于超声和临床特征构建的决策树模型可以准确地预测乳腺癌分子亚型。

[关键词] 乳腺癌; 分子亚型; 超声; 决策树

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2022.03.006

中图分类号: R737.9; R445.1 文献标志码: A 文章编号: 2096-6210(2022)03-0249-09

Prediction of molecular subtypes of breast cancer using decision tree model based on ultrasonic and clinical features SHI Wei¹, XIA Wei¹, HUANG Min², CHANG Cai³, WANG Yu³, YOU Xiaohui², GU Huayun², DONG Zhifen², GUO Jianfeng² (1. Department of Medical Imaging, Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Science, Suzhou 215163, Jiangsu Province, China; 2. Department of Ultrasound, Affiliated Suzhou Hospital of Nanjing Medical University, Suzhou Municipal Hospital, Suzhou 215001, Jiangsu Province, China; 3. Department of Ultrasound, Fudan University Shanghai Cancer Center, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: GUO Jianfeng E-mail: jfguo@126.com

[Abstract] **Objective:** To establish the ultrasonic decision tree model for predicting different subtypes of invasive breast cancer, and to analyze the clinical value of the model. **Methods:** A total of 420 invasive breast cancer patients were analyzed retrospectively, which were confirmed by pathology. All patients were divided into 4 molecular subtypes: Luminal A (LA) type ($n=137$), Luminal B (LB) type ($n=157$), human epidermal growth factor receptor 2 over-expression (HER2⁺) type ($n=61$) and triple-negative breast cancer (TNBC) type ($n=65$). The ultrasonic and clinical features of patients were evaluated by analysis of variance and Fisher exact probability test, and the statistically significant features were included in the decision tree model for molecular subtype identification of breast cancer. The corresponding area under the receiver operating characteristic (ROC) curves (AUC) were calculated to assess the performance of each decision tree. **Results:** Seven features, including clinical stage, maximum diameter, echo patterns, posterior acoustic features, calcification pattern, the position of calcification, and lymph node metastasis, were statistically significant

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2019B010152001); 江苏省卫计委“六个一”人才项目 (LGY2017009); 苏州市科技局项目 (SYS201767); 苏州市科技计划项目 (SYG201908)

通信作者: 郭建锋 E-mail: jfguo@126.com

differences ($P < 0.05$) among four molecular subtypes. The AUC of LA, LB, HER2⁺ and TNBC type decision tree models were 0.721, 0.708, 0.722, 0.877 respectively in training sets. Moreover, the sensitivity of the decision tree model (81.0%) for TNBC type was higher than that of the senior sonographer. **Conclusion:** The decision tree built by ultrasonic and clinical features has favorable value in the prediction of breast cancer molecular subtypes with high diagnostic accuracy.

[**Key words**] Breast cancer; Molecular subtype; Ultrasound; Decision tree

最新统计数据显示, 乳腺癌发病数高居世界第一, 是全球第五大癌症致死原因; 在中国, 乳腺癌发病数在所有癌症中位列第四^[1]。乳腺癌是一类具有高度异质性的肿瘤, 不同分子亚型乳腺癌的生物学行为、临床治疗效果和患者预后有明显差异。分子亚型是临床制订乳腺癌诊疗方案及评估患者预后的重要依据, 早期预测尤其是术前预测乳腺癌分子亚型对指导临床治疗及改善预后至关重要^[2]。St. Gallen国际乳腺癌会议根据免疫组织化学指标雌激素受体 (estrogen receptor, ER)、孕激素受体 (progesterone receptor, PR)、人表皮生长因子受体2 (human epidermal growth factor receptor 2, HER2)、肿瘤细胞Ki-67增殖指数以及荧光原位杂交 (fluorescence *in situ* hybridization, FISH) 检测结果, 将乳腺癌分为管腔A (Luminal A, LA) 型、管腔B (Luminal B, LB) 型、HER2过表达 (HER2 over-expression, HER2⁺) 型和三阴性乳腺癌 (triple-negative breast cancer, TNBC) 型^[3]。但是, 病理学诊断存在滞后、取样误差等问题。

超声因其安全和便捷的特点, 已经成为乳腺癌诊治过程中重要的影像学检查方法。已有研究^[4-5]表明, 乳腺癌超声声像图与分子分型之间存在相关性, 这些研究仅初步分析两者的相关性, 如何建立切实可行的乳腺癌分子亚型预测模型仍是目前研究的难点。决策树是数据挖掘和机器学习常用的多特征分类技术之一, 能综合分析特征之间复杂的关系, 结果容易解释, 而且稳健性强^[6]。本研究基于超声声像图和临床特征, 运用机器学习中的决策树算法, 建立乳腺癌分子亚型预测模型, 以期为乳腺癌个体化治疗提供更有价值的信息。

1 资料和方法

1.1 一般资料

回顾并分析2017年12月—2019年12月共547例患者的临床信息、病理学指标和超声声学特征等资料。纳入标准: ① 病理学检查确诊为浸润性乳腺癌; ② 有免疫组织化学和FISH检测结果; ③ 有完整的超声检查记录; ④ 有乳腺影像报告和数据系统 (Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS) 评分; ⑤ 检查后2周内行手术或活检。排除标准: ① 免疫组织化学或FISH检查结果缺失; ② 2周后行手术或活检; ③ 病理学类型为原位癌; ④ 接受新辅助化疗。最终入组420例患者, 其中LA型137例, LB型157例, HER2⁺型61例, TNBC型65例。

1.2 仪器与方法

采用德国Siemens公司的Acuson S2000、美国GE公司的Logiq E9、荷兰Philips公司的iU Elite、意大利Esaote公司的MyLab Twice、深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司 (迈瑞) 的Resona 7超声诊断仪, 使用频率 > 7.5 MHz的高频线阵探头。采集包括病灶最大径切面和相应正交切面的灰阶、彩色多普勒血流成像, 以及有代表性的恶性图像、腋窝淋巴结图像。由2名高年资 (> 8 年) 超声科医师回顾并分析患者的超声影像学资料, 记录各分子亚型的基础临床特征和超声影像学特征, 意见不同时, 经讨论后达成一致。

超声声学特征分析参照2013年版BI-RADS, 包括形态、方位、边缘、内部回声、后方回声改变、钙化形态和部位、继发改变 (导管、皮下水肿); 血流丰富程度评估采用Adler分级 (2、3级为丰富, 0、1级为不丰富)^[7]。

根据Ecanow等^[8]方法评价腋窝淋巴结，并分为有转移和无转移。

借助Scikit-learn 0.22.2^[9]工具构建4个决策树，并对乳腺癌分子亚型进行预测。4种分子亚型之间差异有统计学意义的临床和超声特征被纳入决策树建模分析，利用基尼系数对决策树的特征进行筛选和排序，决策树的最优参数通过对训练集进行5折交叉验证获得。使用曲线下面积（area under curve, AUC）作为模型预测效果的评估指标。

分别计算决策树模型与高年资超声科医师读片预测分子亚型的灵敏度，比较两者诊断的差异。超声科医师鉴别分子亚型的标准如下：LA型或LB型（形态不规则，毛刺，成角，后方回声衰减）、HER2⁺型（钙化，血流信号丰富，后方回声无衰减）、TNBC型（形态不规则，无毛刺成角，直径>30 mm，后方回声无衰减）。

1.3 统计学处理

采用R语言分析软件R Studio 4.0.3分析数据的统计学指标。计量资料使用方差分析检验，计数资料分析用Fisher精确概率检验， $P<0.05$ 为差异有统计学意义。选取来源于Philips和迈瑞的

287例数据作为训练集，来源于Siemens、GE和Esaote的共133例数据作为测试集（表1）。

表1 不同超声诊断仪的患者分布情况

数据划分	厂商	LA型	LB型	HER2 ⁺ 型	TNBC型
训练集 (n=287)	Philips	41	41	17	9
	迈瑞	50	68	26	35
测试集 (n=133)	Siemens	14	13	5	4
	GE	24	28	9	12
	Esaote	8	7	4	5

2 结果

2.1 不同分子亚型超声特征和临床特征分析

根据BI-RADS评价方法分析超声特征，结合临床信息共计15项特征（表2）。肿瘤最大径、肿瘤内部回声变化、肿瘤后方回声变化、钙化形态、有无转移性淋巴结、临床分期、钙化部位7种特征差异有统计学意义（ $P<0.05$ ）。将这7种特征纳入决策树模型建模，特征赋值说明见表3，共建立4个决策树，8条决策规则。

表2 超声特征和临床特征分布情况

项目	LA型 (n=137)	LB型 (n=157)	HER2 ⁺ 型 (n=61)	TNBC型 (n=65)	P值
临床信息					
年龄/岁 $\bar{x} \pm s$	57.9 ± 12.4	55.0 ± 12.8	57.1 ± 11.9	57.2 ± 12.6	0.527
月经情况					0.337
绝经	92	95	44	45	
未绝经	45	62	17	20	
临床分期					0.015
I	38	35	7	10	
II	88	100	38	44	
III	11	20	14	11	
IV	0	2	2	0	
形态学特征					
最大径/mm $\bar{x} \pm s$	23.6 ± 13.1	25.7 ± 12.6	29.4 ± 13.2	29.5 ± 16.2	<0.001
形状					0.167
规则	15	8	6	8	
不规则	122	149	55	57	
边缘					0.072
规整	15	9	6	11	
不规整	122	148	55	54	

续表

项目	LA型 (n=137)	LB型 (n=157)	HER2 ⁺ 型 (n=61)	TNBC型 (n=65)	P值
方位					0.083
平行	85	101	48	47	
非平行	52	56	13	18	
超声特征					
内部回声变化					0.010
等回声	3	0	0	2	
低回声	129	146	52	55	
弱回声	5	11	9	8	
后方回声变化					0.001
增强	20	14	1	16	
无变化	87	101	47	41	
衰减	30	42	13	8	
钙化形态					0.009
粗钙化	2	3	1	4	
微钙化	50	86	33	27	
无	85	68	27	34	
钙化部位					0.007
肿块外	0	2	2	0	
肿块内	51	87	32	31	
导管	1	0	0	0	
伴发导管异常					0.233
无	120	148	55	60	
有	17	9	6	5	
皮下组织水肿					0.764
无	133	152	58	64	
有	4	5	3	1	
血供丰富程度					0.063
不丰富	59	70	17	21	
丰富	78	87	44	44	
转移性淋巴结					0.007
否	102	98	34	32	
是	23	45	21	21	
可疑	12	14	6	12	

表3 超声特征及临床特征赋值

特征	赋值
临床分期	I期=1, II期=2, III期=3, IV期=4
内部回声	等回声=0, 低回声=1, 弱回声=2
后方回声变化	增强=0, 无变化=1, 衰减=2
钙化形态	无=0, 粗钙化=1, 微钙化=2
钙化部位	无=0, 肿块外=1, 肿块内=2, 导管=3
转移性淋巴结#	否=0, 是=1, 可疑=2

#: 1或2表示有淋巴结转移

2.2 LA型决策树

LA型决策树模型如图1所示, 首先根据肿瘤最大径是否超过17.5 mm分为两条路径。路径1: 最大径 ≤ 17.5 mm且肿瘤后方回声衰减, 则预测为LA型, 该路径正确判定7例患者, 1例错误。路径2: 最大径 > 20.5 mm且无淋巴结转移, 则预测为LA型该路径正确判定37例患者, 25例错误。不符合上述2条路径的归入非LA型。决策树模型在训练集和测试集上的受试者工作特征

(receiver operating characteristic, ROC) 曲线如图2所示, 模型在训练集和测试集上的AUC值分别为0.731和0.706。

2.3 LB型决策树

LB型决策树模型如图3所示。路径1: 如果患者肿瘤无钙化且肿瘤最大径大于10.5 mm, 则预测为LB型, 该路径正确判定9例患者, 5例错误。路径2: 如果患者肿瘤有微钙化或粗钙化且无淋巴结转移, 同时患者的肿瘤最大径 >

24.5 mm, 则预测为LB型, 该路径正确判定17例患者, 7例错误。路径3: 如果患者肿瘤有微钙化或粗钙化且有淋巴结转移, 同时患者的肿瘤最大径 ≤ 21.0 mm, 则预测为LB型, 该路径正确判定14例患者, 2例错误。决策树模型在训练集和测试集上的ROC曲线如图2 各分子亚型决策树模型在训练集和测试集上的ROC曲线所示。不符合以上3条路径的归入非LB型。模型在训练集上和测试集的AUC分别为0.708和0.626。

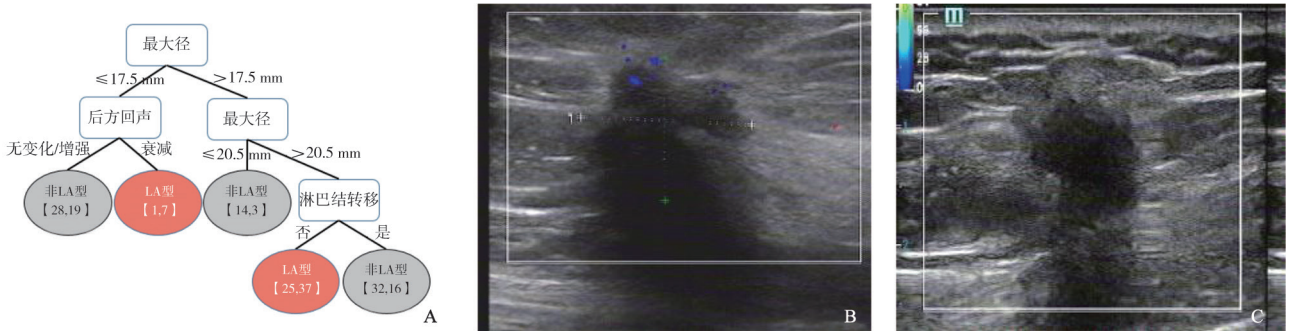


图1 决策树模型预测LA型的分类路径及示例

A: 叶子节点括号内左侧为非LA型例数, 括号内右侧为LA型例数。超声特征: 最大径1.4 cm (B) 和1.6 cm (C), 后方回声明显衰减。

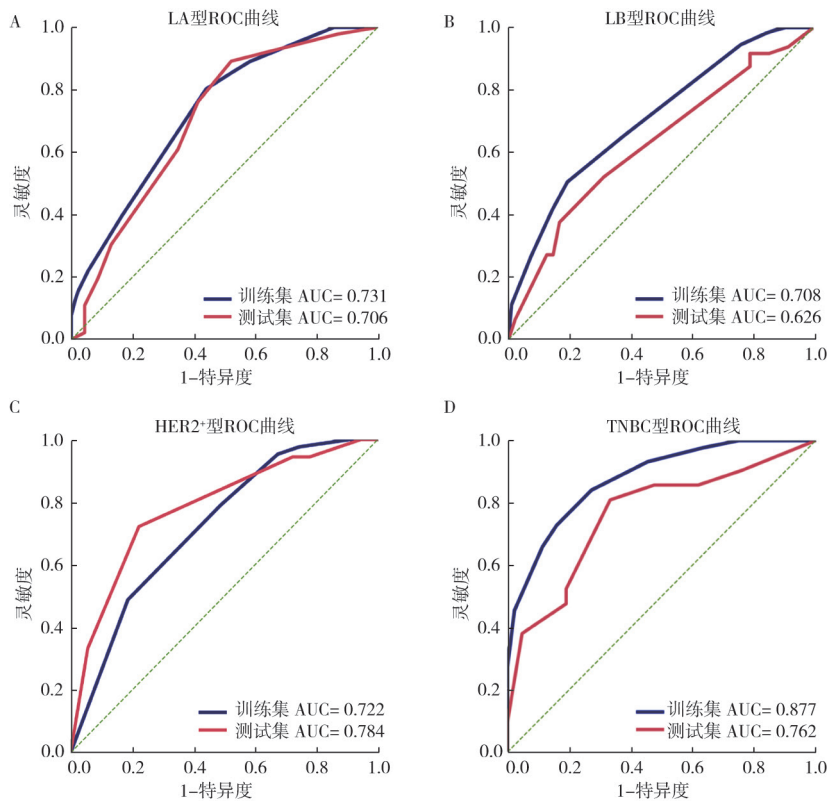


图2 各分子亚型决策树模型在训练集和测试集上的ROC曲线

A-D分别为LA型决策树、LB型决策树、HER2⁺型决策树、TNBC型决策树在训练集和测试集上的ROC曲线。

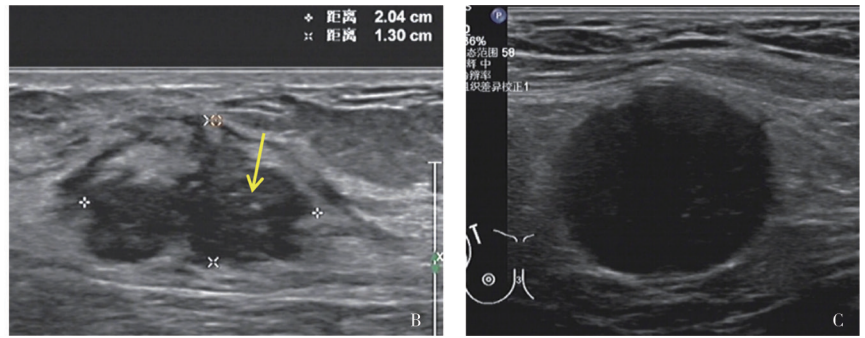
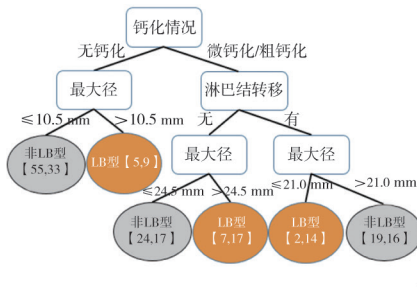


图3 决策树模型预测LB型的分类路径及示例

A: 叶子节点括号内左侧为非LB型例数, 括号内右侧为LB型例数。超声特征: 最大径2 cm, 微钙化(箭头所示, B), 腋下淋巴结转移(C)。

2.4 HER2⁺型决策树

HER2⁺型决策树模型如图4所示。首先根据病灶后方回声变化分为两条路径, 如果患者肿瘤后方回声为无变化或衰减且肿瘤最大径>20.5 mm, 同时患者的肿瘤为微钙化或粗钙化,

则预测为HER2⁺型。该路径正确判定21例患者, 8例错误。不符合该路径的归入非HER2⁺型。决策树模型在训练集和测试集上的ROC曲线如图2所示, 模型在训练集和测试集上的AUC分别为0.722和0.784。

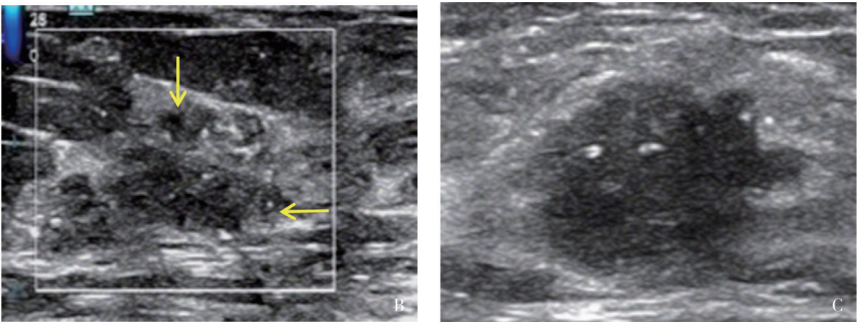
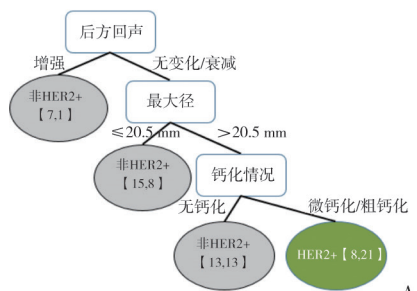


图4 决策树模型预测HER2⁺型的分类路径及示例

A: 叶子节点括号内左侧为非HER2⁺型例数, 括号内右侧为HER2⁺型例数。超声特征: 最大径2.1 cm, 后方回声无改变, 伴钙化(箭头所示, B); 最大径2.6 cm, 伴钙化(C)。

2.5 TNBC型决策树

TNBC型模型如图5A所示, 根据病灶后方回声是否增强分为两条路径。路径1: 如果患者肿瘤后方回声增强且肿瘤粗钙化或无钙化, 则预测为TNBC型。该路径正确判定12例患者, 0例错误。路径2: 如果患者肿瘤后方回声衰减或无变化且最大径>30.5 mm, 同时患者有淋巴结转移, 则预测为TNBC型。该路径正确判定8例患者, 1例错误。不符合两条路径的归入非TNBC型。决策树模型在训练集和测试集上的ROC曲线如图2所示, 模型在训练集和测试集上的AUC分

别为0.877和0.762。

2.6 对比决策树模型与超声科医师鉴别分子亚型

由于超声科医师难以从超声图像上区分LA型和LB型, 本研究将测试集中的LA型和LB型合并为Luminal型, 对比了决策树模型与超声科医师在合并测试集上鉴别分子亚型的灵敏度(表4)。结果显示, 决策树模型鉴别Luminal、HER2⁺和TNBC型的灵敏度均高于超声科医师。在鉴别TNBC型中, 决策树模型的灵敏度较高(81.0%)。

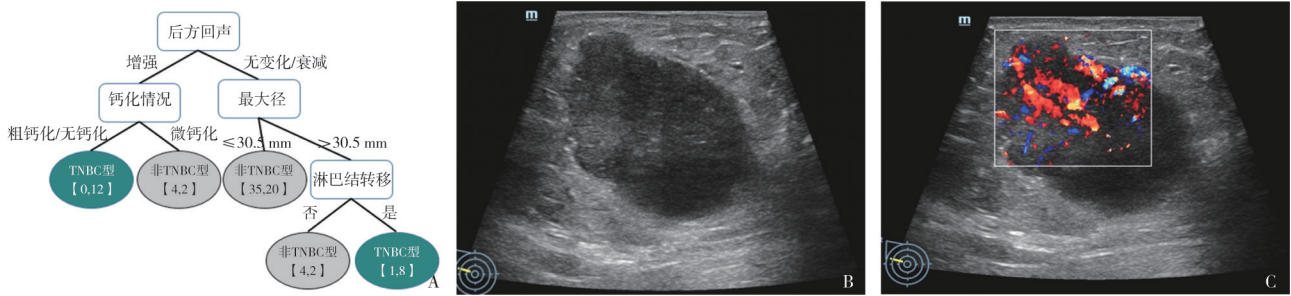


图5 决策树模型预测TNBC型的分类路径及示例

A: 叶子节点括号内左侧为非TNBC型例数, 括号内右侧为TNBC型例数。超声特征: 低回声, 近椭圆形, 后方回声增强, 无钙化 (B、C)。

表4 在合并测试集上对比决策树模型与超声科医师鉴别分子亚型的灵敏度

组别	灵敏度		
	Luminal型	HER2 ⁺ 型	TNBC型
超声科医师	43.5%	26.6%	28.6%
决策树模型	49.2%	33.3%	81.0%

3 讨 论

免疫组织化学以及FISH检测是判断乳腺癌分子亚型的主要方法, 但也有一定限制性: ① 由于设备、费用和医师原因, 部分医院不具备检测能力; ② 病理学检查结果的获取是有创的而且具有滞后性 (1~2周); ③ 乳腺癌的空间异质性导致活检取样误差^[10]。决策树模型作为预测乳腺癌分子亚型的新方法, 有望在一定程度上弥补病理学检查的不足, 为乳腺癌的个体化治疗提供更加全面的信息。

虽然基于超声图像分析乳腺癌分子亚型是一个相对较新的领域, 但已有证据支持超声表现和肿瘤生物学之间的关系。有研究^[4, 11]表明, 不同分子亚型的乳腺癌灰阶超声声像图存在一定的差异: HER2⁺容易出现微小钙化, TNBC后方回声增强, LA型多见毛刺、后方回声衰减等。有研究^[12-13]发现, 不同分子亚类型之间的剪切波速度值存在显著差异, 也有学者根据彩色多普勒血流成像分析不同亚型血管的分布情况。针对定量指标, 这些研究一般采用单因素方差分析, 比较年龄、肿瘤大小、Ki-67增殖指数等在不同亚

型之间的差异; 定性指标采用 χ^2 检验, 比较淋巴结转移、形态、钙化、边缘、内部回声、后方回声等在不同亚型之间的差异。这些评价方法相对较为简单, 未将定量和定性指标综合分析, 不足以据此进行亚型的预测。我们采用决策树模型, 综合定性和定量指标, 整合临床和超声声像图特征, 探索了乳腺癌不同亚型临床和超声特征的组合方式, 为乳腺癌分子亚型预测提供一种实用的决策树。

本研究发现, 肿瘤血流信号Adler分级、患者年龄、伴发导管改变、是否平行位生长在亚型之间差异无统计学意义, 与郭玉萍等^[4]的研究结果类似。有研究^[12-14]发现, LA型与LB型的声像图差异较小, 鉴别有一定的困难。本研究发现LA和LB型具有恶性肿瘤常见特点: 形态不规则、边界模糊、后方回声衰减; 这与病理学研究结果一致: 组织学分级低的乳腺癌生长缓慢 (如LA型)、容易伴有细胞外基质变化、胶原沉着或重组; 超声往往表现为毛刺和后方回声衰减^[15-16]。通过对比LA和LB型决策树, 综合钙化情况、肿瘤最大径和淋巴结转移情况可以区分两者: ① 肿瘤较小伴后方回声衰减, 肿瘤较大且无淋巴结转移, 提示LA, 反映该亚型生长缓慢、胶原沉着引起后方回声衰减、不容易发生淋巴结转移的特征; ② 出现钙化、肿瘤较小、有淋巴结转移提示为LB型, 反映该亚型肿瘤易发生缺血引起钙化以及相对容易发生淋巴结转移的特征。

HER2⁺与一些不良的预后指标有关, 如肿瘤较大、肿瘤分级高、腋窝淋巴结转移和缺乏激素受体。决策树模型中, 病灶后方回声无变化伴

钙化形成提示HER2⁺, 反映该亚型肿瘤生长快, 容易发生钙化的特征, 这与相关研究^[4, 13]结果类似。

TNBC具有侵袭性强、容易转移和复发、临床预后较差的特点, 在超声图像上形态较为规则容易被误诊为良性而延误治疗。因此, 准确检出TNBC具有重要临床价值。决策树模型中, 肿瘤后方回声增强且无微钙化, 预测TNBC的准确度为100.0% (12/12); 肿瘤后方回声无增强且最大径>30.5 mm, 同时有淋巴结转移, 预测TNBC的准确度为88.9% (8/9)。模型预测可对应病理学改变^[15-16]: TNBC组织学分级高、生长迅速, 癌细胞在病灶边缘呈挤压式生长, 形态较为规则; 淋巴细胞浸润明显, 肿瘤以癌细胞为主且较少发生纤维组织反应, 后方回声增强^[17]。

由于不同分子亚型浸润性乳腺癌的超声征象和临床表现较为复杂, 常规统计学方法不能很好地区分^[4-5, 18]。机器学习自动综合分析多维度信息并建立相应模型, 已应用于乳腺癌诊治(如腋窝淋巴结转移预测、疗效评价等)^[19]。决策树模型能提取特征之间更为复杂的关系, 具有可解释性好、离散型和连续型特征整合能力强等特点, 已应用于多种疾病的鉴别诊断^[20]。本研究建立了预测乳腺癌分子亚型的决策树模型, 模型在训练集和测试集中准确度较高, 尤其是在预测TNBC时表现优异(训练集AUC=0.877)。针对一个未知亚型的肿块, 我们从临床和超声特征中提取了其特征, 将其输入4个决策树模型中预测亚型(例1: 最大径32 mm, 低回声, 分叶状, 血流信号丰富, 后方回声增强, 无钙化, 只有TNBC型模型符合, 故预测为TNBC型。例2: 最大径25 mm, 低回声, 边缘不规整, 后方回声衰减, 微小钙化, 有淋巴结转移, 只有HER2⁺型模型符合, 故预测为HER2⁺型)。此外, 已有研究^[21]表明, 机器学习技术在临床上表现出比医师诊断更高的灵敏度。本研究发现决策树模型对3种分子亚型的鉴别灵敏度均高于超声科医师, 这与已有研究结果一致。

本研究的不足之处: ① 本研究结果来自单中心研究, 尚需更广大样本临床研究来验证; ② 模

型纳入指标为常规超声特征, 未纳入弹性成像、超声造影等特征; ③ 该模型在不同机器之间的诊断效能还需随机对照试验验证; ④ LB根据HER2检测结果分为LB (HER2⁻) 亚型和LB (HER2⁺) 亚型, 因LB (HER2⁺) 病例数较少, 本研究将两者合并分析; ⑤ 4个决策树模型之间相互独立, 未来可在模型融合方面进行探索。

综上所述, 乳腺癌分子分型是超声征象的基础, 两者有显著相关性。我们提出了基于超声和临床特征构建的决策树模型来预测乳腺癌分子亚型, 并获得了较高的准确度, 可为乳腺癌个体化治疗提供更多有价值的信息。

[参 考 文 献]

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] HORTOBAGYI G N. Toward individualized breast cancer therapy: translating biological concepts to the bedside [J]. *Oncologist*, 2012, 17(4): 577-584.
- [3] GOLDBIRSCHE A, WINER E P, COATES A S, et al. Personalizing the treatment of women with early breast cancer: highlights of the St. Gallen International Expert Consensus on the Primary Therapy of Early Breast Cancer 2013 [J]. *Ann Oncol*, 2013, 24(9): 2206-2223.
- [4] 郭玉萍, 裴书芳, 刘娟娟, 等. 不同分子亚型非特殊型浸润性乳腺癌超声特征 [J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(1): 82-85.
- [5] 贾晓红, 金正吉, 张晓晓, 等. 不同分子亚型乳腺癌超声及MRI特征 [J]. *中国医学影像技术*, 2013, 29(8): 1297-1300.
- [6] [土] ALPAYDIN E. 机器学习导论 [M]. 范明, 管红英, 牛常勇, 译. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [7] MERCADO C L. BI-RADS update [J]. *Radiol Clin N Am*, 2014, 52(3): 481-487.
- [8] ECANOW J S, ABE H, NEWSTEAD G M, et al. Axillary staging of breast cancer: what the radiologist should know [J]. *Radiographics*, 2013, 33(6): 1589-1612.
- [9] SWAMI A, JAIN R. Scikit-learn: machine learning in python [J]. *J Mach Learn Res*, 2013, 12(10): 2825-2830.
- [10] 段懿珊, 毛启新, 李连方, 等. 多灶性多中心性乳腺癌各癌灶的瘤间异质性及预后分析 [J]. *中华肿瘤杂志*, 2016, 38(11): 833-838.
- [11] 康佳, 吴桐, 张蕾, 等. 不同分子分型乳腺癌的多模态超声特征和临床病理对照研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2020, 29(4): 330-336.
- [12] LIU H, WAN J, XU G, et al. Conventional US and 2-D shear wave elastography of virtual touch tissue imaging quantification:

- correlation with immunohistochemical subtypes of breast cancer [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2019, 45(10): 2612–2622.
- [13] 陈慧琪, 郭顺华, 过新民. 乳腺癌超声征象与分子分型相关性分析 [J]. *中国超声医学杂志*, 2015, 31(6): 498–500.
- [14] WU T, SULTAN L R, TIAN J W, et al. Machine learning for diagnostic ultrasound of triple-negative breast cancer [J]. *Breast Cancer Res Treat*, 2019, 173(2): 365–373.
- [15] PARK H S, SHIN H J, SHIN K C, et al. Comparison of peritumoral stromal tissue stiffness obtained by shear wave elastography between benign and malignant breast lesions [J]. *Acta Radiol*, 2018, 59(10): 1168–1175.
- [16] SHIN H J, PARK J Y, SHIN K C, et al. Characterization of tumor and adjacent peritumoral stroma in patients with breast cancer using high-resolution diffusion-weighted imaging: correlation with pathologic biomarkers [J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(5): 1004–1011.
- [17] THIKE A A, CHEOK P Y, JARA-LAZARO A R, et al. Triple-negative breast cancer: clinicopathological characteristics and relationship with basal-like breast cancer [J]. *ModPathol*, 2010, 23(1): 123–133.
- [18] AU-YONG I T, EVANS A J, TANEJA S, et al. Sonographic correlations with the new molecular classification of invasive breast cancer [J]. *Eur Radiol*, 2009, 19(10): 2342–2348.
- [19] LEE S E, HAN K, KWAK J Y, et al. Radiomics of US texture features in differential diagnosis between triple-negative breast cancer and fibroadenoma [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 13546.
- [20] HUANG Q H, ZHANG F, LI X L. Machine learning in ultrasound computer-aided diagnostic systems: a survey [J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 5137904.
- [21] MORGAN M B, MATES J L. Applications of artificial intelligence in breast imaging [J]. *Radiol Clin N Am*, 2021, 59(1): 139–148.
- (收稿日期: 2022-01-29 修回日期: 2022-03-13)

《肿瘤影像学》2022年征订启事

《肿瘤影像学》自1992年创刊以来深受医学界欢迎, 1998年经中华人民共和国科学技术部、国家新闻出版署批准为国内外公开正式发行的期刊, 刊号 (ISSN 2096-6210, CN 31-2087/R)。杂志采用优质铜版纸印制, A4开本, 64页/期, 双月刊。被中国学术期刊综合评价数据库、中国核心期刊 (遴选) 数据库、中国期刊全文数据库等收录, 是中国科技核心期刊。主要报道医学影像领域中科研成果、临床应用、综述、病例报告、讲座及与理工结合的有关论文等。

《肿瘤影像学》坚持学术性与科学性, 信息量大, 具有临床实用价值。是医院图书馆、影像科室及高等医学院校收存和使用的学术刊物, 是临床医学影像专业医务人员晋升中、高级职称的重要论文发表园地。欢迎各医学院校、医学图书馆、影像科室及个人向当地邮政局订阅。

本刊双月月末出版, 邮发代号4-653, 定价每期15元, 每年共90元整。

单位全称: 《肿瘤影像学》编辑部

通信地址: 上海市东安路270号复旦大学附属肿瘤医院10号楼415室

邮 编: 200032

电 话: (021)64188274

E - m a i l : zlyxx@zhongliuyingxiangxue.com

网 址 : www.zhongliuyingxiangxue.com

《肿瘤影像学》编辑部