

超声影像组学评分联合常规超声图像特征鉴别诊断 甲状旁腺腺瘤与甲状旁腺增生的临床价值

马可欣 杨雨薇 吕发金 刘丽萍

摘要 目的 探讨超声影像组学评分(RS)联合常规超声图像特征鉴别诊断甲状旁腺腺瘤(PA)与甲状旁腺增生(PH)的临床应用价值。方法 选取在我院行手术治疗的甲状旁腺功能亢进症患者 133 例(181 个病灶),其中 PA 66 例(67 个病灶),PH 67 例(114 个病灶),所有病灶按 7:3 的比例随机分为训练集(126 个病灶)和验证集(55 个病灶),术前均行常规超声检查,基于灰阶超声图像勾画感兴趣区并提取影像组学特征。采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归筛选特征并构建影像组学模型,计算每个病灶的 RS;采用多因素 Logistic 回归分析筛选差异有统计学意义的常规超声图像特征并构建常规超声模型,进一步构建基于 RS 联合常规超声图像特征的列线图模型。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各模型对 PA 与 PH 的鉴别诊断效能;绘制校准曲线评估影像组学模型和列线图模型的校准度。结果 基于 LASSO 回归筛选出 8 个影像组学特征用于构建影像组学模型,训练集中 PA 和 PH 的 RS 分别为(0.64±0.86)分、(-0.17±0.63)分;验证集中 PA 和 PH 的 RS 分别为(0.59±0.74)分、(-0.08±0.65)分,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析显示,病灶最大径、外周线状高回声和极性供支血管征均为鉴别 PA 与 PH 的独立影响因素(均 $P < 0.05$),基于上述 3 个独立影响因素构建常规超声模型。在训练集和验证集中,影像组学模型鉴别诊断 PA 与 PH 的曲线下面积(AUC)分别为 0.764 和 0.750,常规超声模型的 AUC 分别为 0.812 和 0.838,列线图模型的 AUC 分别为 0.825 和 0.856;列线图模型的 AUC 均高于影像组学模型,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。校准曲线显示,影像组学模型和列线图模型的校准度均较高,与实际结果的一致性均较好。结论 RS 联合常规超声图像特征能准确鉴别诊断 PA 与 PH,具有较好的临床应用价值。

关键词 超声检查;影像组学;甲状旁腺腺瘤;甲状旁腺增生;鉴别诊断;列线图

[中图法分类号]R445.1;R736.2

[文献标识码]A

Clinical value of ultrasound radiomics score combined with features of conventional ultrasound imaging in the differential diagnosis of parathyroid adenoma and parathyroid hyperplasia

MA Kexin, YANG Yuwei, LV Fajin, LIU Liping

Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China

ABSTRACT Objective To explore the clinical value of ultrasound radiomics score (RS) combined with features of conventional ultrasound imaging in the differential diagnosis of parathyroid adenoma (PA) and parathyroid hyperplasia (PH). **Methods** A total 133 patients with hyperparathyroidism (181 lesions in total) who underwent surgery in our hospital were selected, including 66 cases of adenoma (67 lesions) and 67 cases of hyperplasia (114 lesions). A ratio of 7:3 was used to divide the lesions into training set (126 lesions) and validation set (55 lesions). All lesions were underwent conventional ultrasound examination. The region of interest (ROI) was delineated based on ultrasound images and the ultrasound radiomics features were extracted. The least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression was used to screen features and construct the radiomics model, the RS of each lesion was calculated. Multivariate Logistic regression was used to screen conventional ultrasound features with statistically significant differences and construct the conventional ultrasound model, and the nomogram model based on RS and features of conventional ultrasound imaging was further constructed. Receiver operating characteristic

(ROC) curve was drawn to analyze the differential diagnostic efficacy of each model. The calibration curve was drawn to evaluate the calibration between the radiomics model and the nomogram model. **Results** A total of 8 radiomics features were selected for constructing the radiomics model based on LASSO regression. The RS of PA and PH in training set were (0.64 ± 0.86) points and (-0.17 ± 0.63) points, while RS of PA and PH in validation set were (-0.59 ± 0.74) points and (-0.08 ± 0.65) points, respectively. The differences were statistically significant (both $P < 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that lesion maximum diameter, peripheral high-echo bright line and polar vascular sign were independent influencing factors for differential diagnosis of PA and PH (all $P < 0.05$). The conventional ultrasound model was constructed based on above 3 independent influencing factors. In the training set and validation set, the area under the curve (AUC) of the radiomics model in differentiating PA and PH were 0.764 and 0.750, respectively, the AUC of the conventional ultrasound model were 0.812 and 0.838, respectively, and the AUC of the nomogram model were 0.825 and 0.856, respectively. The AUC of the nomogram model were higher than those of the radiomics model in both the training set and validation set, and the differences were statistically significant (both $P < 0.05$). Calibration curve showed that both the radiomics model and the nomogram model had high calibration accuracy, and good consistency with the actual results. **Conclusion** RS combined with features of conventional ultrasound imaging can accurately differentiate PA and PH, which has a good clinical application value.

KEY WORDS Ultrasonography; Radiomics; Parathyroid adenoma; Parathyroid hyperplasia; Differential diagnosis; Nomogram

甲状旁腺功能亢进症(hyperparathyroidism, HPT)是由于各种原因导致甲状旁腺激素合成及分泌过多,引起机体钙、磷代谢异常,累及骨骼、泌尿等多系统病变的内分泌疾病。甲状旁腺腺瘤(parathyroid adenoma, PA)和甲状旁腺增生(parathyroid hyperplasia, PH)为HPT最常见的两种病理类型,PA约占80%~85%,以单腺体病变为主,少数可累及2个腺体;PH约占10%~15%,以多腺体病变为主,常同时累及4个腺体,两者首选治疗方式均为手术治疗^[1-2]。但PA和PH的病因、生长方式及预后均不同,手术方式也存在差异,为避免不必要的检查、提高手术成功率及减少术后并发症,术前准确诊断十分重要^[3]。超声是目前临床评估甲状旁腺的首选方法,但受仪器分辨率和超声医师水平的影响较大,其对病灶的识别和评估结果也存在差异^[4]。影像组学是一种新兴的精准医疗方法,其利用特征算法自动从医学影像图像中提取和分析病灶强度、形态、纹理等特征,用于开发临床应用模型以制定更好的临床决策^[5]。本研究旨在探讨超声影像组学评分(RS)联合常规超声图像特征鉴别诊断PA与PH的临床应用价值,以期临床制定治疗方案提供参考。

资料与方法

一、研究对象

选取2019年1月至2023年6月在我院行手术治疗的HPT患者133例(181个病灶),男41例,女92例,年龄19~86岁,平均 (49.54 ± 12.81) 岁;其中PA 66例(67个病灶),PH 67例(114个病灶)。所有病灶按7:3的比例随机分为训练集(126个病灶)和验证集(55个

病灶),训练集中PA 47个,PH 79个;验证集中PA 20个,PH 35个。纳入标准:①临床资料完整,均经病理证实;②均于术前行常规超声检查;③多发病灶者至少有1个目标病灶的超声图像显示清晰且无影响图像分析的标记。排除标准:①同一患者存在2种及以上甲状旁腺病理类型;②超声图像未见病灶或图像质量欠佳;③多发性内分泌腺瘤。本研究经我院医学伦理委员会批准(批准号:2021-580),为回顾性研究故免除患者知情同意。

二、仪器与方法

1. 常规超声检查及模型构建:使用东芝 Aplio 500 彩色多普勒超声诊断仪,线阵探头,频率5~14 MHz。患者取仰卧位,充分暴露颈前区,由同一具有10年以上工作经验的超声医师应用常规超声连续多切面扫描甲状旁腺解剖位置,发现可疑病灶后采集灰阶超声和CDFI图像,测量并记录病灶最大径。然后由两名不知晓病理结果的超声医师对病灶进行评估,内容包括:病灶形态、内部回声、内部结构、血流分级,以及有无钙化、外周线状高回声、残余甲状旁腺征、极性供支血管征。残余甲状旁腺征指中央病变区域甲状旁腺周围可见正常甲状旁腺组织残留形成的高回声边缘^[6];极性供支血管征指可见起源于甲状腺下动脉或上动脉的粗大滋养血管终止于甲状旁腺长轴一极,沿病灶边缘走行或进入病灶内部^[7-8];血流分级根据Adler半定量法^[9]分为0~Ⅲ级。当评估结果出现分歧时与另一具有20年以上工作经验的超声医师讨论,协商一致。基于训练集,将PA与PH差异有统计学意义的常规超声图像特征纳入多因素 Logistic 回归分

析,筛选鉴别诊断 PA 与 PH 的独立影响因素并构建常规超声模型。

2. 影像组学特征提取、筛选及模型构建:将训练集病灶最大径切面灰阶超声图像以 JPG 格式导入达尔文科研平台 (<http://192.168.114.61:8089/>,北京医准智能科技有限公司)。由同一具有 10 年以上工作经验的超声医师使用 Mask 工具沿病灶轮廓手动勾画感兴趣区 (ROI),ROI 包括整个病灶区域,再由另一具有 20 年以上工作经验的超声医师对病灶 ROI 进行检查确认,若意见不一致,则协商讨论达成一致后由上述 10 年以上工作经验的超声医师重新勾画。见图 1。平台自动提取 ROI 中的影像组学特征,然后按以下顺序选择组件进行特征预处理和特征筛选:①最大最小值归一化。将所有样本每个维度的特征线性归一至(0,1);②方差阈值筛选器。去除方差为 0 的特征;③最优特征筛选器。评估特征与 PA、PH 的线性相关性,筛选对分类重要的前 10% 的特征;④最小绝对收缩和选择算子 (least absolute shrinkage and selection operator, LASSO) 回归。压缩冗余特征的系数并使其回归系数为 0,然后筛选出系数非 0 的特征。将筛选出的特征和相应权重系数的乘积相加,构建影像组学模型,并据此计算每个病灶的 RS。

3. RS 联合常规超声图像特征模型的构建:将筛选出的常规超声图像特征与 RS 联合,应用多因素 Logistic 回归构建联合模型,并绘制列线图将模型可视化。

4. 临床资料获取:通过电子病历系统获取患者临床资料,包括年龄、性别、病灶数目、病理结果和血清

学指标(血清钙、血清甲状旁腺激素、血清 25-羟维生素 D)。

三、统计学处理

应用 SPSS 25.0 统计软件和达尔文科研平台 (<http://192.168.114.61:8089/>,内置 R 3.6.3 语言和 Python 3.6.9 算法),符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较分别采用独立样本 *t* 检验和 Mann-Whitney *U* 检验;计数资料以频数或率表示,组间比较采用 χ^2 检验。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各模型对训练集和验证集中 PA 与 PH 的鉴别诊断效能,曲线下面积(AUC)比较采用 Delong 检验。绘制校准曲线评估影像组学模型和列线图模型的校准度。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、PA 与 PH 临床资料比较

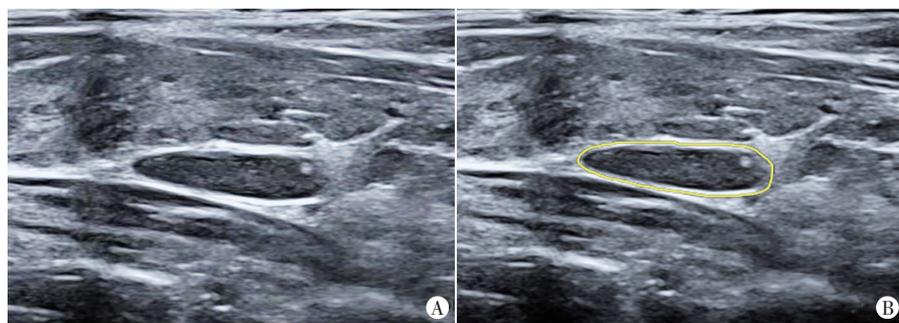
PA 与 PH 病灶数目、血清钙、血清甲状旁腺激素比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$),年龄、性别、血清 25-羟维生素 D 比较差异均无统计学意义。见表 1。

二、PA 与 PH 常规超声图像特征比较

训练集中,PA 与 PH 病灶最大径、内部回声、内部结构、血流分级,以及有无外周线状高回声、极性供支血管征比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);其余特征比较差异均无统计学意义。验证集中,PA 与 PH 病灶最大径、内部结构、血流分级,以及有无外周线状高回声、极性供支血管征及比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$);其余特征比较差异均无统计学意义。见表 2 和图 2,3。

三、常规超声模型构建

纳入单因素分析中差异有统计学意义的常规超声图像特征(病灶最大径、内部结构、血流分级、有无外周线状高回声、有无极性供支血管征)进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示病灶最大径、外周线状高回声、



A: 甲状旁腺病灶灰阶超声图;B: 根据病灶轮廓勾画 ROI

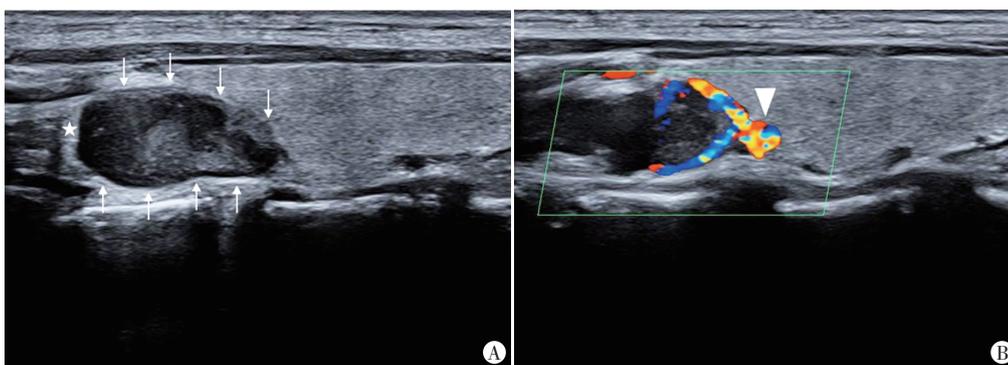
图 1 手动勾画甲状旁腺病灶 ROI 示意图

表 1 PA 与 PH 临床资料比较

| 病理结果 | 年龄(岁) | 男/女(例) | 病灶数目(例) | | 血清学指标 | | |
|----------------|-------------|--------|---------|----|-------------|-------------------------|---------------------|
| | | | 单发 | 多发 | 血清钙(mmol/L) | 血清甲状旁腺激素(pg/ml) | 血清 25-羟维生素 D(ng/ml) |
| PA(66) | 49.30±13.03 | 20/46 | 65 | 1 | 2.79±0.41 | 185.80(121.78, 358.15) | 14.08±4.77 |
| PH(67) | 49.78±12.69 | 21/46 | 30 | 37 | 2.56±0.25 | 520.20(142.30, 1616.00) | 15.02±5.35 |
| $t/\chi^2/Z$ 值 | 0.212 | 0.017 | 46.995 | | -3.855 | -3.065 | 1.067 |
| <i>P</i> 值 | 0.832 | 0.897 | <0.001 | | <0.001 | 0.002 | 0.288 |

表2 训练集和验证集中PA与PH常规超声图像特征比较

| 常规超声特征 | 训练集(126) | | | 验证集(55) | | |
|------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|-------|
| | PA(47) | PH(79) | P值 | PA(20) | PH(35) | P值 |
| 病灶最大径(mm) | 20.0(16.0,26.5) | 15.0(11.1,21.5) | <0.001 | 22.8(16.7,26.3) | 15.5(11.8,19.9) | 0.002 |
| 形态(个) | | | | | | |
| 类圆形/椭圆形 | 34 | 67 | 0.090 | 16 | 29 | 1.000 |
| 分叶状/不规则状 | 13 | 12 | | 4 | 6 | |
| 内部回声(个) | | | | | | |
| 非低回声 | 0 | 9 | 0.041 | 0 | 1 | 1.000 |
| 低回声 | 47 | 70 | | 20 | 34 | |
| 内部结构(个) | | | | | | |
| 实性 | 39 | 76 | 0.027 | 13 | 34 | 0.004 |
| 囊实性 | 8 | 3 | | 7 | 1 | |
| 钙化(个) | | | | | | |
| 无 | 46 | 73 | 0.372 | 20 | 31 | 0.303 |
| 有 | 1 | 6 | | 0 | 4 | |
| 外周线状高回声(个) | | | | | | |
| 无 | 4 | 29 | <0.001 | 2 | 17 | 0.004 |
| 有 | 43 | 50 | | 18 | 18 | |
| 残余甲状旁腺征(个) | | | | | | |
| 无 | 42 | 62 | 0.120 | 19 | 24 | 0.052 |
| 有 | 5 | 17 | | 1 | 11 | |
| 极性供支血管征(个) | | | | | | |
| 无 | 30 | 75 | <0.001 | 13 | 32 | 0.037 |
| 有 | 17 | 4 | | 7 | 3 | |
| 血流分级(个) | | | | | | |
| 0~I级 | 8 | 39 | <0.001 | 4 | 21 | 0.004 |
| II~III级 | 39 | 40 | | 16 | 14 | |



A: 常规超声示病灶呈低回声,形态呈椭圆形,内部结构实性,可见外周线状高回声(箭头示)和残余甲状旁腺征(星形示);B: CDFI示病灶见极性供支血管征(三角形示),血流分级Ⅲ级

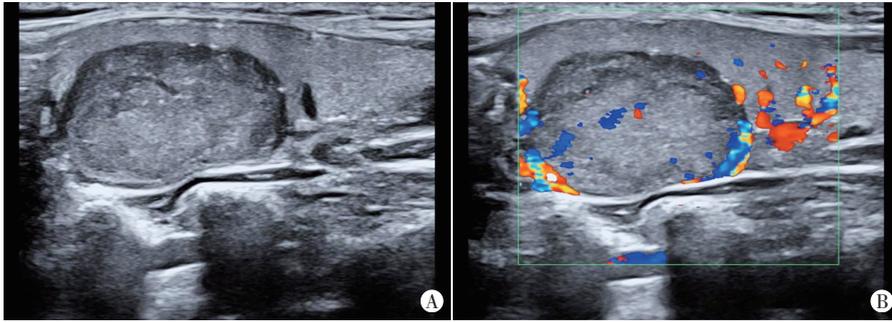
图2 PA患者(男,19岁)超声图

极性供支血管征均为鉴别诊断PA与PH的独立影响因素(均 $P<0.05$)。基于上述3个独立影响因素构建常规超声模型: $\text{Logit}(P)=-3.564+0.089\times\text{病灶最大径}+1.286\times\text{外周线状高回声}+2.128\times\text{极性供支血管征}$ 。见表3。

四、影像组学模型构建

基于训练集,共提取原始特征1125个,经特征预处理和特征筛选,最终获得8个影像组学特征(包

括6个纹理特征和2个一阶特征),构建影像组学模型为: $\text{RS}=-1.152\times\text{gradient_glszm_SmallAreaLowGrayLevelEmphasis}+1.141\times\text{logarithm_glszm_ClusterShade}+0.896\times\text{wavelet-LH_firstorder_Energy}+0.896\times\text{wavelet-LH_firstorder_TotalEnergy}-0.775\times\text{exponential_ngtdm_Coarseness}+0.664\times\text{wavelet-HH_glszm_GrayLevelNon-Uniformity}+0.543\times\text{square_glszm_GrayLevelNonUniformity}$



A:常规超声示病灶呈低回声,形态呈椭圆形,内部结构实性,有钙化;B:CDFI示病灶血流分级Ⅲ级
图3 PH患者(女,40岁)超声图

ty-0.317×lbp-2D_gldm_DependenceVariance-0.711。根据以上公式计算每个病灶的RS,训练集中PA和PH的RS分别为(0.64±0.86)分、(-0.17±0.63)分,验证集中PA和PH的RS分别为(0.59±0.74)分、(-0.08±0.65)分,差异均有统计学意义(均P<0.05)。

五、RS联合常规超声图像特征模型的构建

表3 常规超声图像特征的多因素 Logistic 回归分析

| 变量 | 回归系数 | 标准误 | Waldχ ² 值 | OR值及其95%可信区间 | P值 |
|---------|--------|-------|----------------------|---------------------|--------|
| 病灶最大径 | 0.089 | 0.032 | 7.572 | 1.093(1.026~1.165) | 0.006 |
| 外周线状高回声 | 1.286 | 0.618 | 4.324 | 3.618(1.077~12.160) | 0.038 |
| 极性供支血管征 | 2.128 | 0.645 | 10.884 | 8.400(2.372~29.745) | 0.001 |
| 常数项 | -3.564 | 0.783 | 20.746 | 0.028(-) | <0.001 |

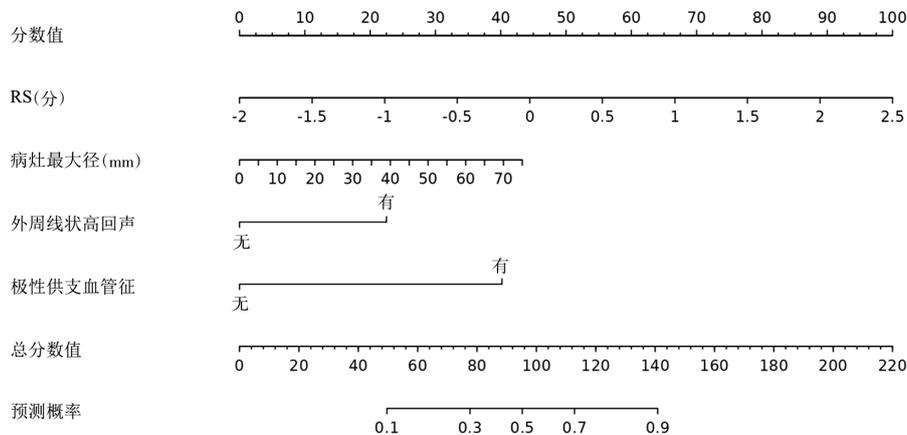


图4 RS联合常规超声图像特征构建的列线图模型

表4 各模型鉴别训练集和验证集中PA与PH的诊断效能比较

| 方法 | AUC及其95%可信区间 | P值 | 准确率(%) | 灵敏度(%) | 特异度(%) |
|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| 训练集 | | | | | |
| 影像组学模型 | 0.764(0.677~0.851) | <0.001 | 69.0 | 72.3 | 67.1 |
| 常规超声模型 | 0.812(0.735~0.890) | <0.001 | 75.4 | 83.0 | 70.9 |
| 列线图模型 | 0.825(0.749~0.901)* | <0.001 | 78.6 | 66.0 | 86.1 |
| 验证集 | | | | | |
| 影像组学模型 | 0.750(0.617~0.883) | 0.002 | 67.3 | 80.0 | 60.0 |
| 常规超声模型 | 0.838(0.722~0.954) | <0.001 | 80.0 | 90.0 | 74.3 |
| 列线图模型 | 0.856(0.755~0.956)* | <0.001 | 76.4 | 85.0 | 71.4 |

与同一数据集影像组学模型比较,*P<0.05。AUC:曲线下面积

纳入常规超声图像特征(病灶最大径、外周线状高回声和极性供支血管征)和RS构建联合模型:Logit(P)=-2.446+0.028×病灶最大径+1.083×外周线状高回声+1.935×极性供支血管征+1.07×RS,绘制的列线图见图4。

六、模型效能比较及验证

训练集中,影像组学模型、常规超声模型及列线图模型鉴别诊断PA与PH的AUC分别为0.764、0.812、0.825,列线图模型的AUC高于影像组学模型,差异有统计学意义(P<0.05),其余各模型AUC比较差异均无统计学意义。验证集中,影像组学模型、常规超声模型及列线图模型鉴别诊断PA与PH的AUC分别为0.750、0.838、0.856,列线图模型的AUC高于影像组学模型,差异有统计学意义(P<0.05),其余各模型AUC比较差异均无统计学意义。见表4和图5。校准曲线显示,影像组学模型和列线图模型的校准度均较高,与实际结果的一致性均较好。见图6。

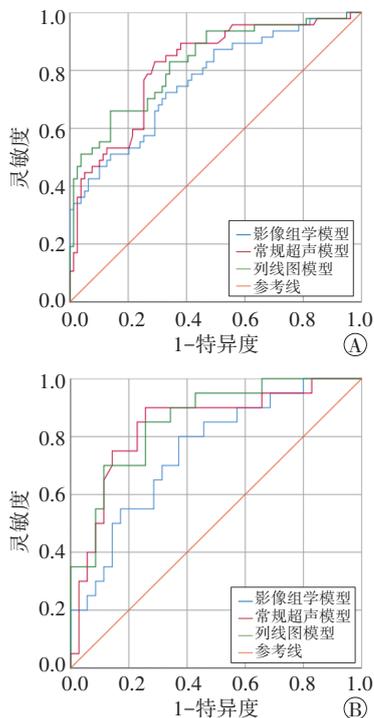


图5 各模型鉴别训练集(A)和验证集(B)中PA与PH的ROC曲线图

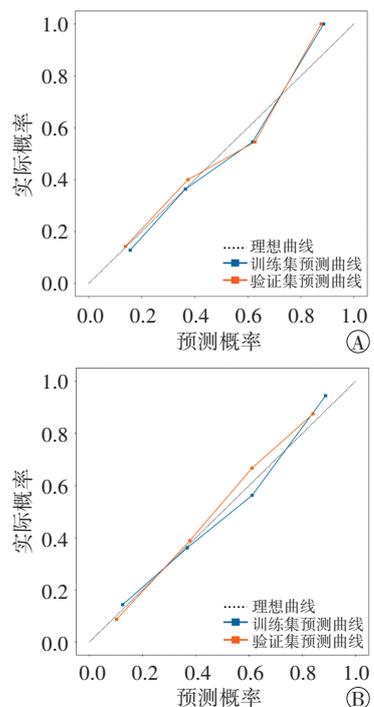


图6 影像组学模型(A)和列线图模型(B)鉴别训练集和验证集中PA与PH的校准曲线图

讨论

目前, HPT的定性诊断主要根据病史、临床表现及实验室检查结果^[1]。手术为HPT的首选治疗方法, PA主要行微创甲状旁腺切除术, PH主要行双侧颈部探查、甲状旁腺次全切术或甲状旁腺全切术+自体移

植术^[2-3]。因此, 术前准确鉴别两者对于HPT患者临床治疗方案的选择具有重要意义。本研究回顾性分析181个甲状旁腺病灶的常规超声图像特征, 并提取各病灶基于灰阶超声图像的影像组学特征, 构建RS联合常规超声图像特征的诊断模型, 旨在探讨其鉴别诊断PA与PH的临床应用价值。

超声具有无创、便捷、可重复性等优势, 但不同医师得出的诊断结果差异较大, 常规超声对PA与PH的鉴别诊断价值也尚存在争议, Fang等^[10]研究显示, PA与PH常规超声图像特征如病灶大小、形态、回声均匀性、囊性变、钙化等比较差异均无统计学意义; 而马金梅等^[11]研究显示, PA与PH常规超声图像特征如病灶大小、液化坏死、血流分级、有无外周线状高回声比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$), 本研究结果与之一致。本研究中PA内部结构呈囊实性占比在训练集和验证集中均高于PH(均 $P < 0.05$), 与Pavlovics等^[12]研究结果不同。分析原因可能为本研究纳入的PA病灶多数较大, 其间质内滋养血管代偿性扩张或内部血供相对不足, 更易出现出血或缺血坏死, 故超声表现为病灶内无回声囊性区域^[13]。本研究多因素Logistic回归分析显示, 病灶最大径、外周线状高回声、极性供支血管征均为鉴别诊断PA与PH的独立影响因素(均 $P < 0.05$), 从病理学角度分析原因为: ①PA以主细胞增殖为主, 间质内脂肪细胞少, 肿瘤细胞较密集; 而PH以主细胞、水样透明细胞、嗜酸性细胞的混合性增生为主, 间质内脂肪细胞相对较多, 主细胞较分散, 故PA的增殖能力更强、病灶最大径更大; ②PA多数包膜完整, 超声常表现为外周线状高回声; 而PH无包膜, 但当病灶较大时可压迫周边组织形成假包膜, 故较大的PH超声也可能表现为外周线状高回声; ③PA间质血窦丰富, 其血管分布密度更高, 超声更易表现为极性供支血管征。本研究依据上述独立影响因素构建常规超声模型, 其鉴别诊断PA与PH的AUC在训练集和验证集中分别为0.812、0.838, 表明常规超声对PA与PH有一定的鉴别诊断价值。

影像组学是通过非侵入性的方法评估影像图像并提取定量特征, 超声影像组学作为影像组学的一种, 目前已广泛应用于甲状腺、乳腺及肝脏等疾病的辅助诊断^[14]、转移预测^[15]、疗效评估^[16]及预后预测^[17]等方面, 较常规超声能更全面、客观地反映病灶内部信息, 但目前缺乏其在甲状旁腺疾病中的应用研究。本研究将影像组学应用于甲状旁腺疾病的鉴别诊断, 筛选出8个影像组学特征, 包括2个一阶特征和6个纹

理特征,这些特征可以量化超声图像的灰度大小、灰度级别均匀性及分布等,是病灶回声强度、内部结构及异质性的微观表现。本研究中RS的计算公式为8个影像组学特征与相应权重系数乘积后相加的总和,结果显示训练集和验证集中PA的RS均高于PH(均 $P<0.05$),表明提取的定量特征可反映两者在细胞病理结构上的不同,对疾病有较好的分类作用。本研究构建的影像组学模型鉴别诊断训练集和验证集中PA与PH的AUC分别为0.764、0.750,均低于常规超声模型(0.812、0.838),分析原因可能为本研究提取的影像组学特征仅来源于灰阶超声图像的单一层面,存在部分特征丢失。因此本研究进一步构建了RS联合常规超声图像特征的列线图模型,结果显示列线图模型鉴别诊断训练集中PA与PH的AUC高于影像组学模型(0.825 vs. 0.764),并在验证集中得以验证(0.856 vs. 0.750),差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);同时校准曲线显示影像组学模型和列线图模型的预测曲线贴近理想曲线,即2个模型的预测结果与实际结果的一致性均较好,与胡小玲和冉海涛^[15]研究结论相似,表明RS联合常规超声图像特征为鉴别诊断PA与PH提供了更准确的方法。分析原因可能为常规超声图像特征中病灶最大径和是否存在极性供血血管征弥补了影像组学模型在大小和血流分布特征方面的缺失。另外,本研究构建的列线图模型与常规超声模型鉴别诊断PA与PH的AUC比较差异虽无统计学意义,但列线图模型在一定程度上减少了观察者间的主观差异,并提供了额外的特征信息,具有更好的临床应用前景。

本研究的局限性:①样本量小,且为单中心研究,一定程度上降低了模型的普适性,后续将扩大样本量进行多中心研究;②仅选择病灶单一层面勾画ROI,可能导致部分特征丢失,后续研究可增加连续切面进行补充;③未结合患者临床特征进行模型构建,后续可仅纳入单发病灶,与临床特征一一对应进行研究;④本研究为回顾性研究,超声特征较单一,后续可纳入超声造影、超声弹性成像等相关特征或结合其他影像学检查进一步开展多模态研究。

综上所述,RS联合常规超声图像特征能在术前准确鉴别诊断PA与PH,为临床制定治疗方案提供参考,具有较好的应用价值。

参考文献

[1] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会,中华医学会内分泌学会代谢性骨病学组.原发性甲状旁腺功能亢进症诊疗指南[J].

- 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2014,7(3):187-198.
- [2] 贺青卿,田文.慢性肾脏病继发甲状旁腺功能亢进外科临床实践中国专家共识(2021版)[J].中国实用外科杂志,2021,41(8):841-848.
- [3] Wilhelm SM, Wang TS, Ruan DT, et al. The American Association of Endocrine Surgeons Guidelines for Definitive Management of Primary Hyperparathyroidism[J]. JAMA Surg, 2016, 151(10):959.
- [4] Centello R, Sesti F, Feola T, et al. The dark side of ultrasound imaging in parathyroid disease[J]. J Clin Med, 2023, 12(7):2487.
- [5] Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data[J]. Radiology, 2016, 278(2):563-577.
- [6] Xia C, Zhu Q, Li Z, et al. Study of the ultrasound appearance of the normal parathyroid using an intraoperative procedure[J]. J Ultrasound Med, 2019, 38(2):321-327.
- [7] Kuzminski SJ, Sosa JA, Hoang JK. Update in parathyroid imaging[J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2018, 26(1):151-166.
- [8] Russell MD, Orloff LA. Ultrasonography of the thyroid, parathyroids, and beyond[J]. HNO, 2022, 70(5):333-344.
- [9] Adler DD, Carson PL, Rubin JM, et al. Doppler ultrasound color flow imaging in the study of breast cancer: preliminary findings[J]. Ultrasound Med Biol, 1990, 16(6):553-559.
- [10] Fang C, Konstantatou E, Mulholland NJ, et al. A retrospective review of the role of B-mode and color Doppler ultrasonography in the investigation of primary hyperparathyroidism: features that differentiate benign from malignant lesions[J]. Ultrasound, 2018, 26(2):110-117.
- [11] 马金梅,刘文,曹春莉,等.常规超声与^{99m}Tc-MIBI显像在甲状腺增生与甲状腺腺瘤鉴别诊断中的价值[J].中国全科医学,2022,26(36):1-7.
- [12] Pavlovics S, Radzina M, Niciporuka R, et al. Contrast-enhanced ultrasound qualitative and quantitative characteristics of parathyroid gland lesions[J]. Medicina (Kaunas), 2021, 58(1):2.
- [13] Yazgan AK, Topaloğlu O, Çuhacı FN, et al. Mapping of parathyroid neoplasms based on grey scale ultrasound images and histopathological whole slide images[J]. Ann Diagn Pathol, 2020, 46(3):151492.
- [14] Li Q, Jiang T, Zhang C, et al. A nomogram based on clinical information, conventional ultrasound and radiomics improves prediction of malignant parotid gland lesions[J]. Cancer Lett, 2022, 527(4):107-114.
- [15] 胡小玲,冉海涛.超声影像组学评估甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移[J].中国超声医学杂志,2022,38(4):367-370.
- [16] Jiang M, Li CL, Luo XM, et al. Ultrasound-based deep learning radiomics in the assessment of pathological complete response to neoadjuvant chemotherapy in locally advanced breast cancer[J]. Eur J Cancer, 2021, 147(6):95-105.
- [17] Park VY, Han K, Lee E, et al. Association between radiomics signature and disease-free survival in conventional papillary thyroid carcinoma[J]. Sci Rep, 2019, 9(1):4501.

(收稿日期:2023-08-02)