

论 著

基于CT增强扫描联合直方图分析技术对判断甲状腺结节性质的价值研究*

杨孟忱¹ 付毅飞¹ 侯丹玮¹
郝跃文² 刘海洋^{1,*}1.商洛市中心医院医学影像科
(陕西 商洛 726000)

2.西安市儿童医院影像科 (陕西 西安 710043)

【摘要】目的 探讨基于CT增强扫描联合直方图分析技术构建判断甲状腺良恶性结节的预测模型，并评价各个模型的诊断效能。方法 收集154例符合纳入标准的甲状腺良恶性结节患者的临床及影像资料，其中良性结节80例，恶性结节74例；使用MaZda软件分别从CT平扫、动脉期、静脉期3个期相中勾画病灶最大层面作为感兴趣区(region of interest, ROI)并提取直方图参数。采用R语言将所有数据以7:3的比例随机抽样划分为训练集(n=108)和测试集(n=46)，将组间差异显著的变量依次纳入二元Logistic回归分析建立预测模型，采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评价各训练集模型价值并计算曲线下面积(area under curve, AUC)，之后预测测试集每个模型的预测概率，与实际值对比后计算测试集各模型的ROC及AUC。结果 在训练集中临床模型、平扫模型、动脉期模型、静脉期模型和联合模型的AUC分别为0.814、0.682、0.630、0.701、0.865；测试集中各个模型的AUC依次为0.722、0.676、0.619、0.655、0.745。结论 基于CT增强扫描联合直方图分析技术构建的预测模型对判断甲状腺结节性质的诊断效能较高，可提高术前诊断符合率。

【关键词】甲状腺结节；直方图；X线计算机；
体层摄影术；增强扫描

【中图分类号】R322.5+1；R445.3

【文献标识码】A

【基金项目】中国红十字会2020年度ICON科研
基金项目(XM_HR_ICON_2020_10_8)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.013

Research on the Value of CT Enhanced Scanning Combined with Histogram Analysis Technology in Judging the Nature of Thyroid Nodules*

YANG Meng-chen¹, FU Yi-fei¹, HOU Dan-wei¹, HAO Yue-wen², LIU Hai-yang^{1,*}.

1.Department of Radiology, Shangluo Central Hospital, Shangluo 726000, Shaanxi Province, China

2.Department of Imaging, Xi'an Children's Hospital, Xi'an 710003, Shaanxi Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the construction of predictive models for judging benign and malignant thyroid nodules based on enhanced CT scanning combined with histogram analysis, and to evaluate the diagnostic effectiveness of each model. **Methods** The clinical and imaging data of 154 patients with benign and malignant thyroid nodules were collected, including 80 benign nodules and 74 malignant nodules. By using MaZda software, the largest region of interest (ROI) was delineated from CT plain scan, arterial phase and venous phase. On this basis, the histogram parameters were extracted. All the data were randomly divided into training set (n=108) and test set (n=46) by 7:3 ratio with R language. The variables with significant differences between groups were included in binary Logistic regression analysis in turn to establish prediction models. The value of each training set model was evaluated by receiver operating characteristics (ROC) curve and the area under curve (AUC) was calculated. Then the prediction probability of each model in the test set was predicted. After comparison with the actual value, the ROC and AUC of each model in the test set were calculated. **Results** The AUC of the clinical model, plain scan model, arterial phase model, venous phase model and combined model in the training set were 0.814, 0.682, 0.630, 0.701 and 0.865, respectively. The AUC of each model in the test set was 0.722, 0.676, 0.619, 0.655 and 0.745, respectively. **Conclusion** the predictive model based on enhanced CT scanning combined with histogram analysis can not only effectively judge the nature of thyroid nodules, but also improve the coincidence rate of preoperative diagnosis.

Keywords: Thyroid Nodules; Histogram; Computed Radiography; Tomography; Enhancement Scanning

甲状腺结节是一种内分泌疾病且近年发病率上升，常在颅底、颈部或胸部CT检查中偶然发现，即使在甲状腺专项检查中其误诊率也高达40%~70%^[1-3]。目前甲状腺结节术前首选超声检查，它具有快速、无创等优点，但对气管后、胸骨处的病变存在局限性^[4]；CT增强扫描不仅具有较好的空间和软组织分辨率，而且能多期相观察病灶，使医师可以通过更多的信息判断病灶性质。虽然甲状腺细针穿刺活检为诊断金标准，但其为侵入性检查^[5]，因此亟需寻找一种准确高效的无创检查。直方图作为一种定量评估手段，可以通过软件对图像勾画ROI后计算多种参数达到对病变图像的定量评估效果^[6-7]，目前多期CT增强扫描联合直方图定量分析手段综合判断甲状腺结节性质的文献较少。本研究旨在探讨基于CT增强扫描联合直方图分析技术构建判断甲状腺结节性质的预测模型并评价其诊断效能，以期临床提供更多数据参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾分析2020年11月至2023年8月在我科行甲状腺行CT平扫+增强且符合纳入标准的154例甲状腺结节患者的临床资料及影像数据；其中甲状腺恶性结节74例(男14例，女60例)、平均年龄48.1±12.1岁，良性结节80例(男14例，女66例)、平均年龄51.7±10.3岁。

纳入标准：所有病例均经术后病理证实；病变最长径>5mm；检查前未经药物、细针穿刺、手术及放化疗等治疗。排除标准：图像质量欠佳，无法勾画ROI；甲状腺弥漫性肿大；病灶明显侵犯周围组织。收集临床资料及影像特征作为基本数据集，采用R studio软件将所有数据以7:3的比例随机抽样划分为训练集(n=108)和测试集(n=46)。

1.2 CT检查方法及测量标准 采用飞利浦公司 IQon-Spectral CT/Brialliance 64排螺旋CT及GE公司256排Revolution CT行甲状腺平扫+双期增强扫描；扫描矩阵 512×512，轴位薄层层厚0.9mm，扫描范围为颅底至主动脉弓层面，扫描前训练患者屏气动作并告知禁止吞咽。造影剂使用碘佛醇，用量2mg/kg，注射流速3.5mL/s，经肘正中静脉团注后25秒行动脉期扫描，38秒行静脉期扫描。对154例患者的3期序列分别进行CT值测量，测量时选取病变实性部分；病变最大径选取病变轴位图像最大层面。

1.3 CT征象分析 154例患者图像分别由影像科2名高年资主治医师(分别工作13年及18年以上)双盲阅片，产生分歧时由第3位经验丰富的主任医师(工作25年以上)进行最终决定。讨论内容：结节数目(单发/多发)、形状(规则/不规则)、边缘(清楚/不清楚)、强化程度(轻中度/明显)、强化方式(均匀/不均匀)、钙化囊变(有/无)、包膜完整(是/否)7项指标；病变最大径及平扫、动脉期、静脉期各期相CT值等计量资料采用2名主治医师测得

【第一作者】杨孟忱，男，主治医师。主要研究方向：腹部影像学的CT及MRI诊断。E-mail: yaymengchen@126.com

【通讯作者】刘海洋，男，主任医师，主要研究方向：全身各系统的影像诊断。E-mail: 1208253889@qq.com

的平均值。

1.4 直方图参数获取 将154例患者的平扫、动脉期、静脉期图像病变最大层面的图片导出(BMP格式), 载入MaZda软件后沿病灶边界手动勾画ROI, 完成后计算3个期相的直方图参数, 包括方差、偏度、平均值、峰度以及各期相可视化直方图(图1-2)。

1.5 统计学分析 采用R 4.3.2软件分析数据, 对数据集中的的计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示, 计数资料采用频率n(%)进行统计描述; 组间比较采用 χ^2 检验或秩和检验。采用Kolmogorov-Smirnov检验是否正态分布, 采用Levene检验方差齐性; 符合正态分布使用t检验(方差齐)或Welch t检验(方差不齐), 不符合正态分布使用Wilcoxon秩和检验。 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

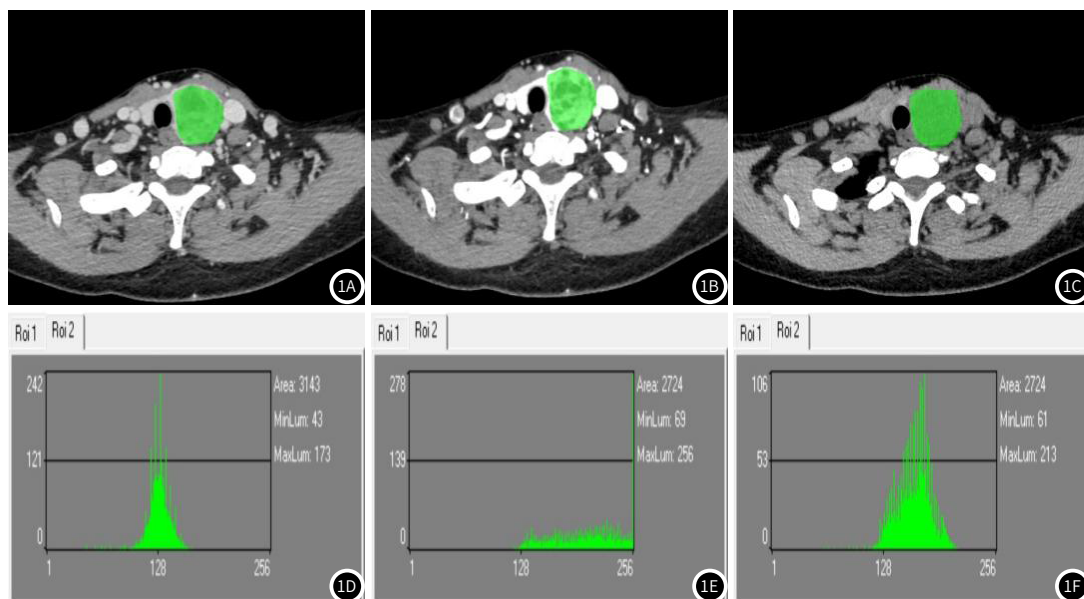


图1A-图1F 女, 43岁, 甲状腺滤泡状腺瘤。图1A、1B、1C分别为平扫、动脉期、静脉期病灶最大层面勾画ROI, 病变位于左叶, 内部囊变坏死; 图1D、1E、1F分别为平扫、动脉期、静脉期病变可视化直方图, x轴表示灰度值, y轴表示灰度值频率。

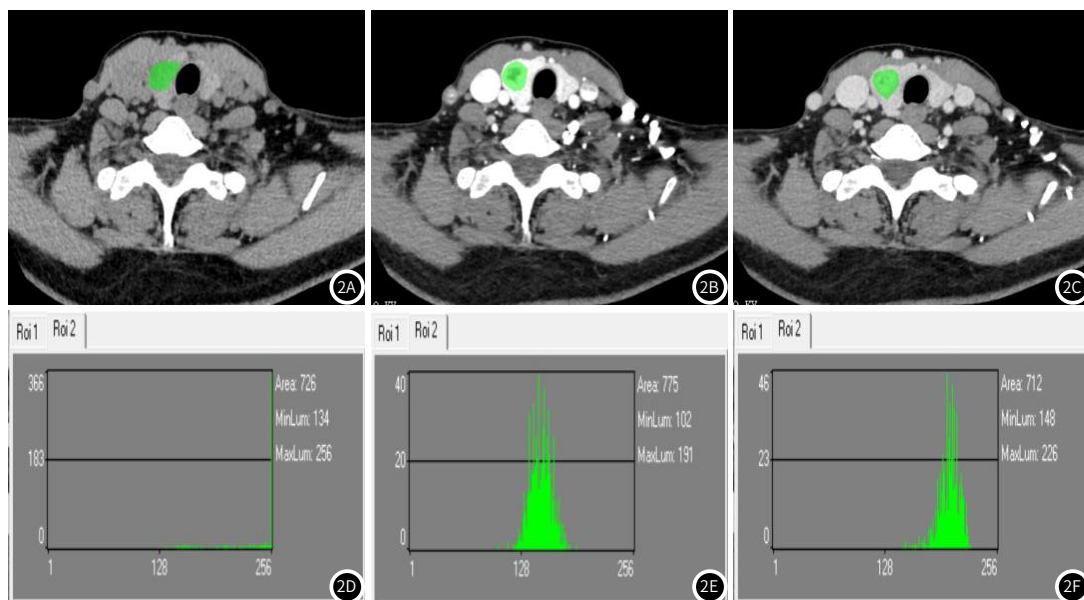


图2A-图2F 女, 48岁, 甲状腺乳头状癌。图2A、2B、2C分别为平扫、动脉期、静脉期病灶最大层面勾画ROI, 病变位于右叶; 图2D、2E、2F分别为平扫、动脉期、静脉期病变可视化直方图, x轴表示灰度值, y轴表示灰度值频率。

2 结果

2.1 基线资料统计分析 在训练集中甲状腺良、恶性结节的性别、形状、边缘、强化程度、强化方式、钙化囊变、平扫/动脉期/静脉期CT值均无统计学意义($P > 0.05$), 年龄、数目、包膜完整、病变最大径有统计学意义($P < 0.05$); 于测试集中, 性别、年龄、数目、形状、边缘、强化程度、钙化囊变、病变最大径及平扫/动脉期/静脉期CT值均无统计学意义($P > 0.05$), 强化方式、包膜完整有统计学意义($P < 0.05$)。综上在临床数据中, 仅包膜是否完整具有良恶性结节的鉴别意义(表1)。

2.2 直方图参数比较 直方图参数于训练集中平扫峰度、动脉

期方差、动脉期峰度、静脉期方差、静脉期峰度有统计学意义($P < 0.05$); 于测试集中仅动脉期峰度有统计学意义($P < 0.05$)。综合分析得出, 动脉期峰度在区分甲状腺良恶性结节上相较其他参数更为敏感, 即甲状腺良性结节的峰度值普遍大于恶性结节(表2)。

2.3 二元Logistic回归分析结果 将训练集临床资料中年龄、数目、包膜完整、病变最大径纳入Logistic 回归分析中, 结果显示包膜完整及病变最大径为独立影响因素(表3); 另外将训练集中平扫峰度、动脉期方差及峰度、静脉期方差及峰度依次纳入Logistic 回归分析, 最终得出训练集临床模型、平扫模型、动脉

期模型、静脉期模型及联合模型。

表1 患者临床资料比较

变量	训练集				测试集			
	良性结节(n=56)	恶性结节(n=52)	U/ χ^2	P值	良性结节(n=24)	恶性结节(n=22)	U/ χ^2	P值
性别			1.183	0.301				0.061*
(男/女)	12/44	7/45			2/22	7/15		
年龄	53.7±10.1	48.8±12.1	1110	0.032	47.2±9.4	46.1±12.0	240	0.604
数目			6.061	0.011			0.708	0.402
(单发/多发)	33/23	42/10			16/8	12/10		
形状			1.013	0.302			0.080	0.806
(规则/不规则)	28/28	21/31			11/13	11/11		
边缘			0.852	0.404			0.637	0.407
(清楚/不清楚)	34/22	27/25			16/8	17/5		
强化程度			1.983	0.204				0.402*
(轻中度/明显)	48/8	39/13			22/2	18/4		
强化方式			0.232	0.602			6.002	0.001
(均匀/不均匀)	18/38	19/33			14/10	5/17		
钙化囊变			0.941	0.305			0.478	0.503
(有/无)	30/26	23/29			10/14	7/15		
包膜完整(是/否)	32/24	11/41	14.501	0.001	22/2	5/17	22.50	0.001
病变最大径(cm)	23.2±14.6	15.8±8.4	1013	0.007	21.3±13.5	17.5±10.5	222	0.402
平扫CT值(HU)	63.6±25.7	57.3±28.9	1249	0.201	67.2±26.1	63.8±29.1	228	0.405
动脉期CT值(HU)	122.6±47.0	110.5±48.4	1235	0.201	117.3±42.2	115.2±42.1	251	0.806
静脉期CT值(HU)	118.1±42.4	110.2±36.1	1321	0.403	123.2±33.8	116.4±30.5	254	0.507

注：*为费希尔精确检验。

表2 患者直方图参数比较

变量	训练集				测试集			
	良性结节(n=56)	恶性结节(n=52)	t/U	P值	良性结节(n=24)	恶性结节(n=22)	t/U	P值
方差								
平扫期	519.9±505.8	667.7±725.5	1292	0.396	630.1±698.4	690.7±632.6	222	0.403
动脉期	1033.6±983.9	1279.9±1380.9	1901	0.007	1264.3±975.0	1367.6±818.0	229	0.494
静脉期	760.3±608.2	1003.7±939.7	1692	0.045	858.9±678.0	940.7±760.9	250	0.820
峰度								
平扫期	5.2±6.6	2.6±4.5	1848	0.009	4.4±9.7	2.3±3.8	282	0.657
动脉期	3.3±9.0	1.4±3.4	1705	0.044	2.0±2.7	1.3±3.6	534	0.043
静脉期	2.8±4.6	1.8±3.3	1797	0.031	2.1±3.3	2.6±6.9	317	0.227

表3 训练集临床资料多因素Logistic回归分析

变量	OR值(95%CI)	β值	Wald值	P值
年龄	0.983(0.934~1.023)	-0.024	0.918	0.338
数目(单发/多发)	0.492(0.161~1.426)	-0.711	1.682	0.194
包膜完整(是/否)	8.372(3.342~22.926)	2.125	19.035	<0.001
病变最大径	0.943(0.921~1.000)	-0.042	3.469	0.044
常量		-0.371	0.077	0.781

2.4 各模型诊断效能评估 模型均经Hosmer-lemeshow检验显示 P>0.05，表明各模型拟合良好。根据训练集与测试集各模型的预测概率绘制 ROC曲线(图3)，得出各模型的AUC值(95%CI)、特异度、敏感度、截断值及约登指数，其中联合模型效能最优(表4)。

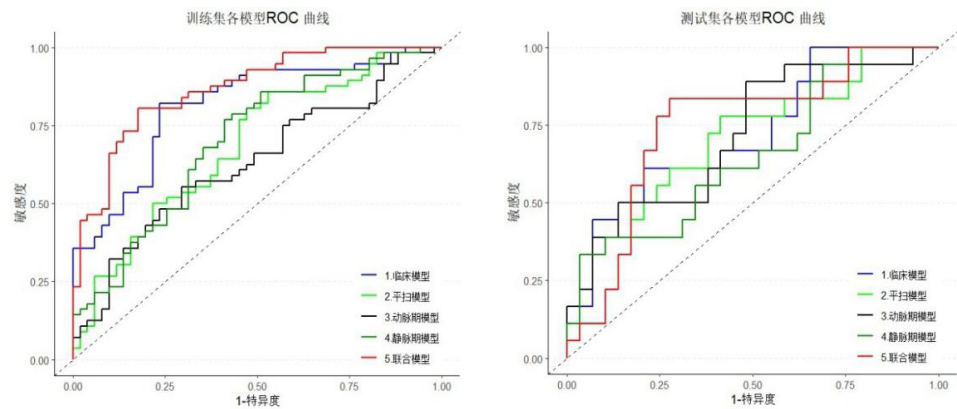


图3 训练集和测试集各预测模型的ROC曲线。

表4 各模型在训练集及测试集中的诊断效能

分组	截断值	约登指数	敏感度	特异度	AUC(95%CI)
训练集(n=108)					
临床模型	0.514	0.586	0.821	0.765	0.814(0.749~0.873)
平扫模型	0.487	0.333	0.804	0.529	0.682(0.627~0.739)
动脉期模型	0.544	0.259	0.554	0.706	0.630(0.608~0.655)
静脉期模型	0.503	0.356	0.768	0.589	0.701(0.661~0.772)
联合模型	0.536	0.627	0.804	0.824	0.865(0.794~0.907)
测试集(n=46)					
临床模型	0.408	0.404	0.611	0.794	0.722(0.682~0.763)
平扫模型	0.367	0.364	0.778	0.856	0.676(0.634~0.717)
动脉期模型	0.277	0.406	0.889	0.571	0.619(0.586~0.652)
静脉期模型	0.558	0.299	0.333	0.966	0.655(0.621~0.689)
联合模型	0.358	0.557	0.833	0.724	0.745(0.727~0.762)

3 讨论

甲状腺结节较为常见且有良恶性之分，其中恶性结节包含乳头状癌、髓样癌、未分化癌等，均具高度侵袭性^[8-10]；良性结节病理包含结节性甲状腺肿、囊肿、腺瘤等。TI-RADS分级常通过对甲状腺结节外观、回声、血流信号、是否钙化等征象进行分级，等级越高恶性的可能性越大^[11]。纵然甲状腺结节的检查方法及评价手段非常丰富，但在临床上的误诊率依然居高不下；有文献报道^[12]，良恶性结节在常规超声及超声造影上均有交叉重叠，部分良性结节可同时出现多个甲状腺癌的征象；而良恶性结节的处理方法完全不同，术前明确诊断极为重要；因此本研究在CT平扫+增强扫描的基础上引入直方图分析手段，通过量化数据联合传统资料建模来降低良恶性结节的误诊率。

本研究通过收集154例甲状腺结节的临床、影像及直方图参数资料，对比数据显示女性好发甲状腺结节(与结节性质无关)的概率远大于男性，病变包膜是否完整对于良恶性结节有着重要意义，这与文献报道一致^[13-15]；上述利用传统方法鉴别甲状腺结节性质的文献较多，而利用直方图分析技术进行综合鉴别的研究相对较少。直方图分析能够直观呈现病灶的定量信息，揭示肉眼难以察觉的微观改变；凭借其各项定量参数，可获取体现不同病变差异的客观数据，进而用于鉴别病灶性质^[16-17]。本研究中的峰度在训练集和测试集中均可突出恶性结节的不均质，这与Chandarana H等^[18]研究一致。微小钙化是公认的鉴别甲状腺良恶性结节的重要指标^[19]，本研究未纳入此变量是由于CT对于微钙化的观察不及超声，导致微小钙化CT检出率低^[20]，而本研究侧重点为直方图分析，故因其观察难度较高而未纳入此征象。

本研究存在以下三方面不足：(1)本研究样本量少且仅为内部测试，未进行外部验证；(2)本研究收集的数据时间跨度较大，3种机型难以保证图像测量时的准确度。(3)未纳入重要征象微小钙化。因此,为了验证结果,我们将会进行多中心、多参数和大样本的研究。

综上所述，CT多期增强扫描与直方图分析技术结合的联合模型在判别甲状腺结节性质方面效能较高，能够有效提升术前诊断的准确率，为临床确定后续治疗方案提供更丰富的数据支撑。

参考文献

[1] 纪捷,王昕,蒋雪艳,等. 甲状腺CT增强扫描中常规模式扫描和双能量扫描的图像质量与辐射剂量的比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(8): 39-41.

[2] 陶全,刘振霞,陈克敏,等. 纵横比在CT鉴别甲状腺结节良恶性中的价值[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(6): 897-900, 908.

[3] 张金梅,董江宁,吴瑶媛,等. 能谱CT定量参数联合纹理分析鉴别甲状腺良恶性结节的价值[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(7): 1069-1073.

[4] 张冬燕. CT能谱成像技术在甲状腺良恶性结节鉴别诊断中的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(7): 33-34.

[5] 董林娟,资欣月,李庆文,等. 基于CT影像组学列线图鉴别甲状腺乳头状癌与结节性甲状腺肿的价值[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(9): 1409-1416.

[6] Lubner MG, Smith AD, Sandrasegaran K, et al. CT texture analysis: definitions, applications, biologic correlates, and challenges[J]. Radiographics, 2017, 37(5): 1483-1503.

[7] 王婧轶,刘嘉媛,李小明. 直方图分析鉴别骨巨细胞瘤与动脉瘤样骨囊肿[J]. 放射学实践, 2022, 37(11): 1422-1427.

[8] 杨进军,卢天宇,班允清. CT影像组学联合机器学习模型术前预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(10): 1582-1585.

[9] 连连,杨志坚,杨波等. 槲皮素抑制Akt/mTOR相关糖酵解影响甲状腺癌TPC-1细胞侵袭迁移的研究[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2023, 30(11): 639-646, 661.

[10] 任乐朋,郑磊,宋喜亮. 超声引导下甲状腺细针穿刺活检对甲状腺微小乳头状癌的诊断价值[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(11): 32-33.

[11] 张帆,刘丹丹,刘颖,等. TI-RADS分级联合ARFI对甲状腺结节性质的诊断价值[J]. 西部医学, 2023, 35(6): 923-926, 931.

[12] 韦柳,凌冰,郑红雨,等. 常规超声联合超声造影对甲状腺结节的诊断价值及误诊分析[J]. 中国临床新医学, 2022, 15(11): 1051-1055.

[13] 汪保平,谢益强,潘银梅. MSCT在甲状腺乳头状癌术前诊断评估中应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(7): 35-37.

[14] 张海明,郑海格,李振宇,等. 结节性甲状腺肿与甲状腺乳头状癌CT征象的Logistic回归分析模型的建立及其预测价值[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(7): 1282-1286.

[15] 赵冬夏,黄钰,曹凌强. 射频消融治疗、手术切除治疗甲状腺结节的临床应用对比研究[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(8): 33-34.

[16] Duan C, Li N, Niu L, et al. CT texture analysis for the differentiation of papillary renal cell carcinoma subtypes[J]. Abdom Radiol (NY), 2020, 45(11): 3860-3868.

[17] 陈佳佳,郁义星,付志辉,等. CT特征联合灰度直方图在鉴别机化性肺炎和周围型肺癌中的价值[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(11): 1765-1769.

[18] Chandarana H, Rosenkrantz AB, Mussi TC, et al. Histogram analysis of whole-lesion enhancement in differentiating clear cell from papillary subtype of renal cell cancer[J]. Radiology, 2012, 265(3): 790-798.

[19] Zhang F, Qiao Y, Zhang H. Value of CT Features in the Diagnosis of Papillary Thyroid Tumors in Incidental Thyroid Nodules[J]. Int J Endocrinol, 2020, 2020: 9342317.

[20] 杨玉娣,成建明,姜宏宁,等. CT增强扫描鉴别甲状腺微小结节良、恶性价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2019, 25(1): 12-16.