

分类号：
学号：20212114145

密级
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



S-Detect 技术联合双模态超声预测甲状腺癌 淋巴结转移的预测价值

学位申请人	朱佩珊
指导教师	李军
申请学位类别	专业硕士
专业名称	超声医学
研究领域	腹部及浅表器官疾病的超声诊断
所在学院	医学院

中国·新疆·石河子
2024年5月

分类号：
学号：20212114145

密级
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



S-Detect 技术联合双模态超声预测甲状腺癌 淋巴结转移的预测价值

学位申请人	朱佩珊
指导教师	李军
申请学位类别	专业硕士
专业名称	超声医学
研究领域	腹部及浅表器官疾病的超声诊断
所在学院	医学院

中国·新疆·石河子
2024年5月

**The value of S-Detect technique combined with dual-modality
ultrasound in predicting lymph node metastasis in thyroid cancer**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Medicine

By

Zhu Peishan

(Imaging and Nuclear Medicine)

Dissertation Supervisor: Prof. Li Jun

May, 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：朱佩珊 时间：2024年5月8日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：朱佩珊 时间：2024年5月8日

导师签名：李军 时间：2024年5月8日

摘要

目的：探究 S-Detect 技术联合双模态超声（常规超声（US）、弹性成像技术（UE））对甲状腺乳头状癌（PTC）颈部中央区淋巴结转移（CLNM）的预测价值。

方法：前瞻性收集 2022 年 10 月至 2023 年 10 月于我院预行甲状腺结节切除术及预防性中央区淋巴结清扫的患者，根据术后病理结果纳入 PTC 患者 121 例，共 145 个结节，按病理结果将中央区淋巴结分为转移组和未转移组。按照 7:3 的比例随机分成训练组和验证组。本研究收集 S-Detect 识别结节特征（最大径、成分、回声强度、边缘、纵横比、微钙化）、常规超声特征及指标（包膜侵犯、边界、性别、年龄、糖尿病史、脂肪肝、结节性甲状腺肿、慢性淋巴细胞性甲状腺炎）以及弹性成像参数（应变率（SR）比值、超声弹性对比指数（ECI））。在训练组中，单因素分析分别筛选出 S-Detect、US 及 UE 特征参数与甲状腺乳头状癌颈中央区淋巴结转移有关的因素。使用多因素 Logistic 回归分析，分别构建 S-Detect、US、UE 三个单独预测模型以及 S-Detect + US + UE 的联合预测模型。通过比较模型之间受试者工作特征（ROC）曲线下面积（AUC）的差异，评估各 Logistic 模型对 PTC 颈部 CLNM 的预测效能，并选取预测效能最优的模型构建列线图。通过 AUC、校准曲线验证列线图模型的区分度及一致性，并使用决策曲线评估列线图模型的临床适用性。另外，本研究还通过相关性及单因素分析构建决策树（DT）、支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、K 近邻算法（KNN）、极端梯度提升（XGBoost）五个预测模型并使用 AUC 进行效能比较，同时使用 SHAP 图对 AUC 值最高的预测模型结果进行可视化。

结果：①训练组单因素分析结果显示：最大径、微钙化、性别、年龄、包膜侵犯、糖尿病史、SR 比值和 ECI 在 PTC 颈部中央区淋巴结转移与未转移间具有统计学差异（均 $P < 0.05$ ）。②训练组多因素分析结果显示：最大径（ $OR=4.332$ ）、微钙化（ $OR=6.431$ ）、性别（ $OR=3.131$ ）、包膜侵犯（ $OR=13.153$ ）、糖尿病史（ $OR=3.888$ ）、SR 比值（ $OR=1.710$ ）和 ECI（ $OR=1.816$ ）是预测 PTC 颈部 CLNM 的独立危险因素（均 $P < 0.05$ ）。③在训练组和验证组中，S-Detect 技术联合双模态超声（S-Detect + US + UE）预测模型的 AUC 值均高于 S-Detect、US 及 UE 单一预测模型（训练组：0.885 vs 0.765、0.761、0.727；验证组：0.808 vs 0.752、0.695、0.768，均 $P < 0.05$ ）。④使用列线图将 S-Detect 联合双模态超声预测模型可视化，该列线图模型在训练组中的 AUC、灵敏度、特异度、阳性预测值及阴性预测值分别为 0.885、95.5%、68.6%、85.1%、88.9%，在验证组中分别为 0.808、85.7%、56.3%、77.4%、69.2%。校准曲线、决策曲线分别显示模型一致性和临床应用性较好。⑤相关性和单因素分析结果显示：最大径、微钙化、性别、年龄、包膜侵犯、糖尿病史、SR 比值和 ECI 是 PTC 颈部 CLNM 的危险因素，最终，年龄、包膜侵犯、最大径、微钙化、SR 比值纳入模型。基于以上 5 个特征参数构建 DT、SVM、RF、KNN、XGBoost 五个预测模型并评价其效能，

结果显示：在训练组中，SVM、XGBoost、RF、KNN 模型的 AUC 均较好（AUC 分别为 0.819、0.851、0.890、0.819），DT 模型 AUC 较差（0.656）。

结论：S-Detect 技术联合双模态超声对甲状腺乳头状癌颈部中央区淋巴结转移具有较高的预测价值。

关键词：甲状腺乳头状癌；颈部中央区淋巴结；S-Detect 技术；常规超声；超声弹性成像技术

Abstract

Objective: To explore the predictive value of S-Detect technology combined with dual-modal ultrasound (conventional ultrasound (US), elastography (UE)) for central cervical lymph node metastasis (CLNM) in papillary thyroid carcinoma (PTC).

Methods: Patients who underwent preliminary thyroid nodule resection and prophylactic central lymph node dissection in our hospital from October 2022 to October 2023 were prospectively collected. Based on the postoperative pathological results, 121 PTC patients with a total of 145 nodules were included. The central lymph nodes were divided into metastasis group and non-metastasis group according to pathological results. They were randomly divided into a training group and a validation group in a ratio of 7:3. This study collects S-Detect identification nodule characteristics (maximum diameter, composition, echo intensity, edge, aspect ratio, microcalcification), conventional ultrasound characteristics and indicators (capsular invasion, border, gender, age, diabetes, fatty liver, nodularity goiter, chronic lymphocytic thyroiditis) and elastography parameters (strain rate (SR) ratio, ultrasound elastic contrast index (ECI)). In the training group, univariate analysis screened out the risk factors associated with S-Detect, US and UE features and parameters and lymph node metastasis in the central cervical region of papillary thyroid cancer. Through multi-factor logistic regression analysis, three separate prediction models of S-Detect, US, and UE and a joint prediction model of S-Detect + US + UE were constructed. By comparing differences in the area under the curve (AUC) of subjects' work characteristics (ROC) between models, the predictive performance of each logistic model for CLNM of PTC was evaluated, and the model with the best predictive performance was selected to construct a nomogram. The discrimination and consistency of the nomogram model were verified through AUC and calibration curves, and the clinical applicability of the nomogram model was evaluated using decision curves. In addition, this study also constructed five prediction models through correlation and single factor analysis: decision tree (DT), support vector machine (SVM), random forest (RF), K nearest neighbor algorithm (KNN), and extreme gradient boosting (XGBoost). Use AUC to perform performance comparisons and use SHAP plots to visualize the results of the predictive model with the highest AUC value.

Results: ① Univariate analysis results of the training group showed that there were statistical differences in maximum diameter, microcalcification, gender, age, capsular invasion, history of diabetes, SR ratio and ECI value between central cervical lymph node metastasis and non-metastasis of PTC (All $P < 0.05$). ② The multi-factor analysis results of the training group showed that maximum diameter ($OR=4.332$), microcalcification ($OR=6.431$), gender ($OR=3.131$), capsular invasion ($OR=13.153$), history of diabetes

($OR=3.888$), SR Ratio ($OR=1.710$) and ECI value ($OR=1.816$) are independent risk factors for predicting CLNM in PTC neck (all $P < 0.05$). ③ In both the training group and the validation group, the AUC values of the S-Detect technology combined with dual-modal ultrasound (S-Detect+ US + UE) prediction model are higher than those of the S-Detect, US and UE single prediction model (training group: 0.885 vs 0.765, 0.761, 0.727; validation group: 0.808 vs 0.752, 0.695, 0.768, all $P < 0.05$). ④ Use a nomogram to visualize the S-Detect combined dual-modal ultrasound prediction model. The AUC, sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value of the nomogram model in the training group are 0.885, 95.5%, 68.6%, 85.1% and 88.9% respectively. In the validation group were 0.808, 85.7%, 56.3%, 77.4%, and 69.2% respectively. The calibration curve and decision curve respectively showed good consistency and clinical applicability of the model. ⑤ The results of correlation and univariate analysis showed that maximum diameter, microcalcification, sex, age, pericardial invasion, diabetes, SR ratio, and ECI value were risk factors for CLNM of PTC, and finally, age, pericardial invasion, maximum diameter, microcalcification, and SR ratio were included in the model. Based on the above five characteristic parameters, five prediction models of DT, SVM, RF, KNN, and XGBoost were constructed and their performance was evaluated. The results showed that in the training group, the AUCs of the SVM, XGBoost, KNN and RF models were all better (AUCs were respectively 0.819, 0.851, 0.819, 0.890), and the DT model AUC is poor (0.656).

Conclusion: S-Detect technology combined with dual-modal ultrasound has a high predictive value for central cervical lymph node metastasis of papillary thyroid cancer.

Key words: papillary thyroid carcinoma; central cervical lymph node; S-Detect technology; ultrasound; ultrasonic elastography

目录

摘要	I
Abstract	III
目录	V
英文缩略词表	VII
绪论	1
资料与方法	6
1.1 研究对象	6
1.2 仪器与方法	6
1.2.1 超声特征记录	7
1.2.2 S-Detect 检查	7
1.2.3 超声弹性成像检查	8
1.3 统计学分析	9
结果	10
2.1 患者的基本资料	10
2.2 PTC 颈部 CLNM 影响因素的单因素分析	10
2.2.1 S-Detect 特征预测 PTC 颈部 CLNM 的单因素分析	10
2.2.2 US 特征预测 PTC 颈部 CLNM 的单因素分析	11
2.2.3 UE 参数预测 PTC 颈部 CLNM 的单因素分析	12
2.3 PTC 颈部 CLNM 预测模型的构建	13
2.3.1 S-Detect 特征预测 PTC 颈部 CLNM 的多因素分析	13
2.3.2 US 特征预测 PTC 颈部 CLNM 的多因素分析	14
2.3.3 UE 参数预测 PTC 患者 CLNM 的多因素分析	15
2.3.4 S-Detect + US + UE 预测模型的多因素分析	16
2.4 四个 Logistic 机器学习算法预测模型的性能比较	17
2.5 PTC 颈部 CLNM 发生风险的列线图预测模型的构建	19
2.6 评估 PTC 颈部 CLNM 发生风险列线图模型的验证	20
2.7 多分类器预测模型的构建及评价	22
2.8 RF 分类器预测模型结果可视化	24
讨论	25

3.1 PTC 颈部 CLNM 危险因素分析	25
3.1.1 PTC 颈部 CLNM 的 S-Detect 特征危险因素分析.....	25
3.1.2 PTC 颈部 CLNM 的 US 特征危险因素分析	26
3.1.3 PTC 颈部 CLNM 的 UE 参数危险因素分析	29
3.2 不同 Logistic 预测模型结果的对比分析	30
3.3 列线图模型的评价	30
3.4 多分类器之间的预测效能比较	31
3.5 本研究的局限性与不足之处	32
结论	33
综述	34
超声新技术在预测甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移中的应用进展	34
参考文献	40
致谢	50
作者简介	51
导师评阅表.....	52

英文缩略词表

英文缩写	英文全称	中文全称
TC	Thyroid cancer	甲状腺癌
PTC	Papillary thyroid carcinoma	甲状腺乳头状癌
LNM	Lymph node metastasis	淋巴结转移
CLNM	Central lymph node metastasis	中央区淋巴结转移
cN0	Clinical lymph node negative	临床淋巴结阴性
OLNM	Occult lymph node metastasis	隐匿性淋巴结转移
PCLND	prophylactic central lymph node dissection	预防性中央区淋巴结转移清扫
US	Ultrasound	常规超声
TI-RADS	Thyroid Imaging Reporting and Data System	甲状腺影像报告和数据系统
UE	Ultrasonic elastography	超声弹性成像
SWE	Shear wave elastography	剪切波弹性成像技术
SR	Strain rate	应变率
AUC	Area under the curve	曲线下面积
SE	Sensibility	敏感性
SP	Specificity	特异性
ECI	Elasticity contrast index	弹性对比指数
AI	Artificial intelligence	人工智能
ML	Machine learning	机器学习
DL	Deep learning	深度学习
CAD	Computer-aided diagnosis	计算机辅助诊断系统
LR	Logistic Regression	逻辑回归
DT	Decision Tree	决策树
RF	Random Forest	随机森林
SVM	Support Vector Machine	支持向量机

KNN	K Nearest Neighbors	K 近邻算法
XGBoost	eXtreme Gradient Boosting	极端梯度提升
SHAP	SHapley Additive exPlanation	沙普利加性解释
Mv-Flow	Microvascular Flow	微血管血流
VI	Vascular index	参数-血管指数
AIC	Akaike information criterion	赤池信息准则
PPV	Positive predictive value	阳性预测值
NPV	Negative predictive value	阴性预测值
CI	Confidence interval	置信区间
OR	Odds ratio	比值比
ROC	Receiver operating characteristic curve	受试者工作特征曲线
IR	Insulin resistance	胰岛素抵抗
NAFLD	Non-alcoholic fatty liver disease	非酒精性脂肪肝病
VEGF	Vascular endothelial growth factor	血管内皮生长因子
SE	Shear wave elastography	剪切波弹性成像
CEUS	Contrast enhanced ultrasound imaging	超声造影
DL	Deep learning	深度学习
CDFI	Color doppler flow imaging	彩色多普勒血流显像
SMI	Superb microvascular imaging	超微血流成像技术
SWV	Shear wave velocity	剪切波速度
VTQ	Virtual touch quantification	声触诊组织量化
CI	Confidence interval	置信区间

绪论

甲状腺癌（Thyroid cancer, TC）是一种恶性肿瘤，在头颈部的肿瘤发生中最为常见。根据最新癌症数据报告显示，2023年甲状腺肿瘤在女性所有恶性肿瘤新发病例中位列第8，其中新发病例31520/10万例，而男性新发病例为12500/10万^[1]。2022年，我国癌症中心发布全国肿瘤数据显示，TC在恶性肿瘤总发病率位列第7，在女性恶性肿瘤总发病率排名第3，而中国男性TC发病率全球最高^[2, 3]。另外，据2013年调查显示，我国的TC分布存在显著的地区差异，西藏自治区、江苏省和重庆市是我国TC发病率最低的3个地区，而青海省、新疆维吾尔自治区和福建省是发病率最高的3个地区^[4]。新疆地区的TC形式也不容乐观。从TC增长速率来说，呈明显上升趋势，在美国，从2004年开始TC发病率以男性每年5.5%、女性每年6.5%的速度呈明显持续增长趋势^[5]。在中国，2000年至2018年间，TC发病率以男性每年16.9%、女性每年15.7%的速度呈明显持续增长趋势^[3]。TC的高发病率和增长速度导致目前的诊治形势严峻，已成为全世界关注的公共卫生安全问题。

甲状腺乳头状癌（Papillary thyroid carcinoma, PTC）约占TC总数的90%，是TC最容易出现的一种病理类型^[6]，生长缓慢，恶性程度低，但极易发生颈部淋巴结转移（Lymph node metastasis, LNM），以中央区淋巴结转移（Central lymph node metastasis, CLNM）为甚。据研究表明，30%-80%的PTC患者在术后病理确诊时就发现存在LNM^[7]。另外，研究还发现超过30%的PTC患者在术前被诊断为临床淋巴结阴性（Clinical lymph node negative, cN0），但在术后病理上却发现已出现颈部LNM，此种情况被称为隐匿性淋巴结转移（Occult lymph node metastasis, OLNLM）^[8]。指南表明颈部LNM是PTC病人复发率增高和存活率降低的危险因素，再次治疗或生存机会的减少增加患者经济负担及心理负担，甚至还会造成患者出现终身性后遗症，如喉返神经损伤、甲状旁腺功能低下等^[9, 10]。目前，对要求行手术治疗，但对cN0-PTC患者来说，是否需要在甲状腺结节切除术时预先对中央区淋巴结进行切除（Prophylactic central lymph node dissection, PCLND）存在争议^[9-11]。

颈部可疑淋巴结的位置对于手术方式的选择具有重要作用。按解剖位置，将颈部淋巴结分为颈下及颌下、颈内静脉上、中、下组、颈后三角区、中央区、上纵隔淋巴结七个区域，中央区淋巴结是PTC转移的第一站。目前，对于颈部淋巴结的影像学检查，常用的方法有电子计算机断层扫描、磁共振成像和超声成像，前两者可以通过淋巴结体积的变化、血供的增加以及密度不均匀等影像学特征来判断颈部淋巴结状态，

但两种检查手段的费用相对较昂贵，且电子计算机断层扫描具有辐射，磁共振成像检查耗时长，禁忌症多，不是颈部淋巴结的常规推荐检查手段^[12, 13]。超声因简单省时、便宜无辐射等优点，已成为检查颈部淋巴结是否出现病变的首选影像学手段，但国内外多项研究报道显示，其检出率仅约 30%-50%，容易导致假阳性和假阴性结果的发生^[14, 15]，这可能是由于颈部中央区解剖位置所导致的。颈部中央区上界为舌骨，下界为胸骨上凹，两侧不超过颈动脉鞘内侧缘，位置较深且隐蔽，再加上胸锁乳突肌及锁骨的遮挡，使其检查效能受限。另外，当肿瘤细胞转移还未引起淋巴结形态发生改变、还未造成淋巴门结构消失或淋巴结受肿瘤细胞侵及但尚未出现异常杂乱血流分布时，常规超声难以判别，易出现假阴性结果^[16, 17]。目前，超声引导下穿刺活检是快速病理诊断淋巴结性质的重要手段，但易受患者凝血功能限制、取材规范化程度不均衡、费用高昂、有创伤性等因素限制，尚未成为评估淋巴结性质的常规手段^[18]。且有研究表明，超声引导下淋巴结穿刺活检具有一定的漏诊率^[19]。因此亟待探索一种在术前无创准确预测 cN0-PTC 颈部 CLNM 的方法，以期辅助临床制定更好的诊疗方法。

常规超声 (Ultrasound, US) 是检查甲状腺疾病的首选方法，可以实时动态观察患者甲状腺情况，以及在观察过程中及时获得患者的病史信息，可以综合性的评估患者甲状腺的整体情况。然而，甲状腺结节性质的评估至今仍缺乏统一的标准，各甲状腺超声报告质量参差不齐，可重复性差。为了实现甲状腺超声诊断的标准化，Horvath 等^[20]首次基于 US 特征建立了甲状腺影像报告和数据系统 (Thyroid Imaging Reporting and Data System, TI-RADS)，用于规范甲状腺结节的超声诊断标准。在临床实践中，多数医师认为甲状腺结节的可疑二维超声表现包括以下特征：实性结构、低回声或极低回声特征、边缘不规则、纵横比大于 1、以及可能存在微钙化。基于此，许多学者将研究焦点转向探究 PTC 原发结节特征与淋巴结转移之间的关系，希望能够进一步提高诊断颈部转移性淋巴结的效能。大量研究表明，以 PTC 的原发结节特征来预测颈部淋巴结状态的方法切实有效。Liu 等^[15]对 996 例 PTC 患者 CLNM 的危险因素分析结果表明，男性、年龄 ≤ 45 岁、肿瘤大小 $> 1\text{cm}$ 、甲状腺外扩及微钙化是 PTC 患者 CLNM 的独立危险因素，并且肿瘤直径越大，发生转移的几率也越高 (肿块直径 $\leq 0.5\text{cm}$ 、 $0.5-1.0\text{cm}$ 、 $1.0-2.0\text{cm}$ 及 $> 2.0\text{cm}$ 时，OR 分别=1.00、1.55、3.22、4.85，均 $P < 0.05$)。Ma 等^[21]纳入了 31 项研究，来自 7 个国家的 37355 例患者的 meta 分析结果显示，年龄 < 45 岁 (OR=1.57)、男性 (OR=1.79)、肿瘤直径 $> 1\text{cm}$ (OR=2.61)、多灶性 (OR=1.46)、双侧 (OR=1.52)、包膜侵犯 (OR=2.10) 等与 CLNM 明显相关 (均 $P < 0.05$)。然而，常淑娟等^[22]研究表明纵横比、微钙化、边缘与 CLNM 均无相关性；Liu 等^[23]对 3273 例患者的研究表明，多发病灶不是 CLNM 的危险因素。上述超声特征均为人工肉眼识别，与超声医师的经验水平具有重要关系，主观性比较强。但总得来

说, PTC 的原发肿块超声特征以及患者的临床特征在一定程度上可以预测颈部 CLNM 状态, 但是, 具体哪些二维超声特征参数及临床指标可以预测 CLNM 尚需进一步研究。另外, 我们还需要一种客观高效识别结节特征预测 PTC 颈部 CLNM 的方法。

超声弹性成像 (Ultrasonic Elastography, UE) 作为一种超声新技术进入研究者视野, 该技术结合了超声成像技术和组织力学的原理, 能够非侵入性的评估组织的硬度或弹性。UE 最早由 Ophir 等人在 1991 年提出, 其基本原理是利用探头沿轴向对组织施压, 因器官或组织的弹性不同, 使弹性模量值产生差异, 直观的显示出肿瘤的硬度差异, 能更生动地显示病变及鉴别病变性质^[24]。应变弹性成像技术、剪切波弹性成像技术 (Shear wave elastography, SWE) 两种弹性成像技术, 在如今临床上最为常用。应变弹性成像技术主要是通过评估外力作用下组织产生形变的程度, 计算应变率 (Strain rate, SR) 来反映组织的硬度差异^[25], 刘振华等^[26]在比较 PTC 患者颈部淋巴结转移组和未转移组的弹性应变率差异是否具有统计学意义的研究时发现, 转移组平均 SR 高于未转移组 ($P < 0.05$), 其预测颈部 LNM 灵敏度为 72.6%, 特异度为 80.4%, 曲线下面积 (Area under the curve, AUC) 为 0.862, SR 的最佳截断值=2.14 时, 预测能力最好, 敏感性 (Sensibility, SE) 为 87.4%, 特异性 (Specificity, SP) 为 83.5%。SWE 是由探头向组织发送短脉冲的高频声波, 这些声波在组织中会产生微小且短暂的剪切力, 从而出现剪切波, 通过测量剪切波在不同组织的速度, 从而可以间接反应组织的硬度或弹性, 当组织硬度越大, 剪切波速度越快。该技术可重复性高、对医师的依赖较小, 在临床中应用广泛。另外, 利用颈动脉搏动为压力源来检测感兴趣区域应变一致性的指标-超声弹性对比指数 (Elasticity contrast index, ECI) 在近年来也逐渐步入研究者视野, 常用于剪切波弹性成像。该指标主要是评估组织的弹性相对于周围组织的对比度, ECI 越高, 表明感兴趣区域与周围组织的弹性差异越大。李高峰等^[27]探讨 ECI 对 PTC 颈部 CLNM 的预测价值时对 282 例患者的 282 个病灶进行 Logistic 回归分析, 发现 ECI 测值是 PTC 颈部 CLNM 的独立危险因素, 且 ROC 曲线分析 ECI 测值最佳截断值为 3.45, AUC 为 0.805, SE 为 81.0%, SP 为 84.6%, 准确度为 80.9%。由此可见, 超声弹性成像技术在预测 PTC 患者 CLNM 方面具有重要作用。

人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 技术是近年来医学领域新兴的疾病诊断工具, 已成为超声领域的研究热点。AI 技术主要包含机器学习 (Machine learning, ML) 和深度学习 (Deep learning, DL) 两大类^[28]。2013 年, AI 的深度学习被《麻省理工科技评论》评为十大突破性技术之首。在这之后, 深度学习进入了飞速发展时代, 在医学领域发挥了举足轻重的作用, 特别是超声 AI 在甲状腺及其淋巴结方面的应用也越来越广泛。超声 S-Detect 技术是韩国三星公司利用计算机系统通过卷积神经网络对大量具有组织学病理结果的超声图像进行深度学习、训练而开发的一款 (Computer-aided diagnosis,

CAD) 软件, 是如今市场上成熟的 AI 诊断方法^[29]。该 CAD 系统采用韩国学者 Kwak 等^[30]提出的 TI-RADS 对甲状腺结节的性质进行特征评估, 结节超声恶性征象包括实性、低回声或极低回声、边缘不规则、微钙化、纵横比 >1 。目前, S-Detect 技术正在成为甲状腺结节超声评估最常用的 CAD 系统之一, 可帮助影像科医生识别良恶性结节, 还可以预测其淋巴结是否转移, 减少医生工作量, 优化超声临床工作流程^[31]。另外, 有研究表明人工智能技术在图像识别中具有优异的表现, 可以识别肉眼无法察觉的隐秘特征, 具有客观、省时、重复性强、知识经验水平一致的特点, 弥补了超声主观、重复性差、医师经验水平参差的缺点, 有效补充肉眼诊断的不足^[32]。郝艳红等^[33]通过使用 AI 量化的结节特征预测甲状腺癌颈部淋巴结转移的研究发现, AI 识别的微钙化 ($OR=2.723$)、结节大小 $\geq 1\text{cm}$ ($OR=3.214$) 是 PTC 发生颈部 CLNM 的独立危险因素, 该研究认为人工智能技术量化的超声特征可避免超声医师之间的判断主观性。另外, Lee 等^[34]探究基于 DL 的 CAD 系统对术前 TC 颈部 LNM 的价值研究时发现, 在 6 名学员中, 有 3 名学员在该 CAD 的帮助下提高了诊断特异性和准确性, 且该 CAD 的协助增加了所有学员诊断颈部 LNM 的信心, 总体诊断置信区间水平从 3.90 提高到了 4.30。这无疑表明, 人工智能技术对医师诊断及预测具有良好的辅助作用, 尤其是在提高信心方面具有重要作用。此外, 使用 S-Detect 技术识别的结节超声特征预测 PTC 颈部 CLNM 方面的研究报道较少, 其效能如何尚需进一步探讨。

目前大部分关于 PTC 颈部 CLNM 预测模型的评估采用的是传统的 Logistic 机器学习算法, 许多研究者试图从统计学方法出发, 希望找到更适合的统计学方法来预测 PTC 的颈部 CLNM。除了逻辑回归 (Logistic Regression, LR) 外, 其余常见的机器学习算法 (分类器) 有: 决策树 (Decision Tree, DT)、随机森林 (Random Forest, RF)、支持向量机 (Support Vector Machine, SVM)、K 近邻算法 (K-Nearest Neighbors, KNN)、极端梯度提升 (eXtreme Gradient Boosting, XGBoost) 等, 不同的算法具有不同的特点, 如: 决策树^[35]适用于处理结构化数据, 基于树形结构, 每一个节点代表一个特征, 每个分支代表该特征的不同取值, 每个叶子节点代表一种分类结果, 易于让人理解和解释。随机森林^[36]适用于二分类和多分类问题, 主要通过随机选择特征和样本来构建多个决策树, 并将多个决策树的结果进行投票来确定最终的分 类结果, 可以减少过拟合问题, 提高模型的泛化性。支持向量机^[36]适用于分类和回归分析, 是一种监督学习算法, 在大样本、小样本的分析中均能保持较高的准确性, 泛化能力强。K 近邻算法^[5]适用于小规模数据和快速分类, 主要是通过计算新样本与训练集中每个样本的距离来确定最近的 K 个邻居, 并根据邻居的类别进行分类, 简单易行。XGBoost^[37]也叫极致梯度提升树, 是一种集成学习算法, 可以减少之前树的预测残差, 提高模型的整体性能; 本研究在探讨了 Logistic 回归分析的预测效能后, 将进一步探讨