

· 临床研究 ·

光谱CT定量参数预测术前临床淋巴结阴性甲状腺乳头状癌患者中央区淋巴结转移的研究

柴婷婷^{1,2}, 周 燕¹, 苏国义¹, 斯 岩³, 沈美萍³, 吴飞云¹, 许晓泉^{1*}

¹南京医科大学第一附属医院放射科, 江苏 南京 210029; ²南京市中心医院放射科, 江苏 南京 210008; ³南京医科大学第一附属医院甲状腺外科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的: 探讨光谱CT定量参数对术前临床淋巴结阴性(cN0)甲状腺乳头状癌(papillary thyroid carcinoma, PTC)患者中央区淋巴结转移(central lymph node metastasis, CLNM)的预测效能。方法: 回顾性分析术前先行光谱CT检查并经手术病理证实的86例PTC患者的临床及影像资料, 比较CLNM组和非CLNM组间临床指标和光谱CT特征差异。应用受试者工作特性(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估临床特征、光谱CT特征和两者联合模型的预测效能, 并计算曲线下面积(area under the curve, AUC)、敏感度和特异度。结果: 临床特征方面, 性别、甲状腺球蛋白(thyroglobulin, Tg)和囊变在CLNM及非CLNM组间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。平扫光谱CT参数方面, CLNM组的平扫期CT值40 keV_{HU}、平扫期CT值70 keV_{HU}低于非CLNM组($P < 0.05$); 动脉期光谱CT参数方面, 除动脉期标准化有效原子序数(normalized Z_{eff} , NZ_{eff}), 其余参数在CLNM和非CLNM组间差异均具有统计学意义($P < 0.05$); 静脉期光谱CT参数方面, CLNM组的静脉期CT值70 keV_{HU}低于非CLNM组($P = 0.014$)。联合模型的预测效能最高(AUC为0.896, 灵敏度为86.7%, 特异度为80.4%), 其次为光谱CT参数模型(AUC为0.835, 灵敏度为73.3%, 特异度为85.7%), 最后为临床模型(AUC为0.591, 灵敏度为20.0%, 特异度为98.2%, $P < 0.05$)。结论: 基于病灶的光谱CT定量参数能提高对cN0 PTC患者CLNM的预测效能, 指导临床决策。

[关键词] 甲状腺乳头状癌; 淋巴结转移; 临床淋巴结阴性; 光谱CT

[中图分类号] R814.42

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2026)06-903-08

doi: 10.7655/NYDXBNSN260280

Study on quantitative parameters of spectral CT in predicting central lymph node metastasis in patients with preoperative clinical lymph node - negative papillary thyroid carcinoma

CHAI Tingting^{1,2}, ZHOU Yan¹, SU Guoyi¹, SI Yan³, SHEN Meiping³, WU Feiyun¹, XU Xiaoquan^{1*}

¹Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029; ²Department of Radiology, Nanjing Central Hospital, Nanjing 210008; ³Department of Thyroid Surgery, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

[Abstract] **Objective:** To evaluate the predictive efficacy of spectral CT quantitative parameters for central lymph node metastasis (CLNM) in preoperative clinical node-negative (cN0) papillary thyroid carcinoma (PTC) patients. **Methods:** Clinical and imaging data of 86 surgical pathologically confirmed PTC patients who underwent preoperative spectral CT imaging, were retrospectively collected. Differences in clinical and spectral CT features between the CLNM and non-CLNM groups were compared. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to assess the predictive performance of clinical features, spectral CT features, and a combined model, with area under the curve (AUC), sensitivity, and specificity calculated. **Results:** Among clinical indicators, sex, thyroglobulin (Tg) level, and cystic changes showed statistically significant differences between CLNM and non-CLNM groups (all $P < 0.05$). Among non-contrast (NC) spectral CT parameters, 40 keV_{HU} and 70 keV_{HU} values were significantly lower in CLNM group (all $P < 0.05$). Among arterial phase (AP) spectral CT parameters, all parameters except arterial normalized effective atomic number (NZ_{eff})

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(82471980)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: xuxq@njmu.edu.cn (ORCID: 0000-0001-5493-5256)

differed significantly between two groups (all $P < 0.05$). Among venous phase spectral CT parameters, 70 keV_{HU} value was significantly lower in CLNM group ($P=0.014$). Combined model demonstrated the highest predictive efficacy (AUC=0.896, sensitivity=86.7%, specificity=80.4%), followed by spectral CT quantitative parameter model (AUC=0.835, sensitivity=73.3%, specificity=85.7%), and clinical model (AUC=0.591, sensitivity=20.0%, specificity=98.2%; all $P < 0.05$). **Conclusion:** Spectral CT quantitative parameters based on lesion characteristics improve the preoperative prediction of CLNM in cN0 PTC patients, and aid in treatment plan.

[Key words] papillary thyroid carcinoma; lymph node metastasis; clinically node-negative; spectral CT

[J Nanjing Med Univ, 2026, 46(06): 903-910]

甲状腺癌,尤其是甲状腺乳头状癌(papillary thyroid carcinoma, PTC)发病率显著增加,颈部淋巴结转移(lymph node metastasis, LNM)风险较高^[1-2]。LNM是PTC局部复发和远处转移的重要影响因素^[3],其中中央区淋巴结转移(central lymph node metastasis, CLNM)是第一步^[4]。术前临床淋巴结阴性(clinically node-negative, cN0)PTC是指术前超声和CT均未提示存在LNM,目前对于cN0患者是否进行预防性中央区颈部淋巴结清扫(prophylactic central lymph node dissection, pCLND)仍存在争议。常规行pCLND可能会增加甲状旁腺功能减退和喉返神经损伤等风险。但cN0患者可能存在隐匿性CLNM,不进行pCLND可能会增加术后复发风险^[3]。因此,准确预测cN0患者是否存在CLNM对制定治疗决策、降低术后复发风险具有重要意义。

超声是术前评估PTC患者的首选影像学手段。既往部分学者尝试采用超声特征预测cN0患者是否存在颈部CLNM^[5]。CT在评估病灶与周围结构之间的关系或识别甲状腺癌的深部LNM方面具有一定的价值。双层探测器光谱CT能够在一次常规扫描中同步采集高、低能量信息,可以更加精准地反映组织的成分信息^[6]。既往研究表明光谱CT可以预测PTC患者初始复发风险以及颈部淋巴结转移^[7-8]。但目前采用光谱CT图像特征和定量参数预测cN0患者是否存在CLNM的研究尚不多见。因此,本研究的核心目的在于探讨光谱CT图像特征和定量参数对cN0 PTC患者CLNM状态的预测效能。

1 对象和方法

1.1 对象

回顾性搜集2021年1月—2025年1月于南京医科大学第一附属医院采用光谱CT进行术前评估的PTC患者的临床和影像学资料。纳入标准:①术后

病理证实为PTC;②接受中央区颈部淋巴结清扫(prophylactic central lymph node dissection, CLND)且病理资料完整;③术前超声及CT提示cN0;④无其他恶性肿瘤病史;⑤无头颈部手术史及放疗史;⑥图像质量满足诊断要求。最终纳入86例患者,男23例,女63例,年龄19~66岁,平均(42.0±12.2)岁。根据病理结果,将患者分为CLNM组[30例,其中,男12例,女18例,年龄25~66岁,平均(42.8±12.3)岁]和非CLNM组[56例,其中,男11例,女45例,年龄19~66岁,平均(41.6±12.2)岁]。本研究得到南京医科大学第一附属医院伦理委员会批准(2024-SRFA-168),患者均签署了知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 临床资料

搜集性别、年龄,术前末次促甲状腺激素(thyroid-stimulating hormone, TSH)、甲状腺过氧化物酶抗体(thyroid peroxidase antibody, TPOAb)、甲状腺球蛋白(thyroglobulin, Tg)、甲状腺球蛋白抗体(thyroglobulin antibody, TgAb)等临床指标。以术后病理作为PTC合并慢性淋巴细胞性甲状腺炎(chronic lymphocytic thyroiditis, CLT)和结节性甲状腺肿诊断的金标准。

1.2.2 CT扫描及后处理

采用光谱CT(IQon Spectral CT, Philips Healthcare公司,荷兰)对患者进行CT扫描,扫描范围从颅底至主动脉弓上缘。参数如下:管电压采用120 kVp,管电流通过自动化调制技术进行动态调整,将管电流控制在80~210 mAs,准直器宽度设置为64.000 mm×0.625 mm,球管旋转周期0.5 s,螺距参数1.1,层厚及层间距均设置为1.5 mm。对比剂选用碘普罗胺(拜耳公司,德国),碘浓度320 mg/mL,总用量75 mL。通过肘静脉以3.5 mL/s的流率进行注射,注射完毕后随即以50 mL生理盐水进行管路冲洗。图像采集时序设置为:在注射对比剂后25 s采

集动脉期图像, 50 s采集静脉期图像。完成原始图像采集后, 采用光谱重建算法生成全息光谱数据图像, 并基于专业后处理工作站(Version 10, Philips IntelliSpace Protal 公司, 荷兰)进行图像重建。获得碘密度图、虚拟单能量图(virtual monochromatic image, VMI)与有效原子序数(effective atomic number, Z_{eff})图。

1.2.3 CT图像特征分析

由2位分别具有5年及8年头颈部影像诊断经验的放射医师基于模拟常规120 kVp的CT图像采用双盲法评估原发灶CT图像特征。意见不一致时, 由另1位具有25年头颈影像诊断经验的放射医师进行最终判断。对于多发病灶, 选择最大病灶进行评估。纳入分析的原发灶CT图像特征包括: 位置(左叶、右叶、峡部; 上极、中极、下极; 腹侧、中部、背侧)、大小(最大短轴径)、是否合并钙化及囊变。

1.2.4 CT定量参数

上述2位放射科医师登录后处理工作站(Version 10, Philips IntelliSpace Protal 公司, 荷兰)对原发灶的光谱CT定量参数进行测定, 测定指标包括平扫期、动脉期与静脉期这3个时期的碘浓度(iodine concentration, IC)、标准化IC(normalized IC, NIC)、 Z_{eff} 、标准化 Z_{eff} (normalized Z_{eff} , NZ_{eff})、双能指数(dual energy index, DEI)、能谱曲线斜率(slope of energy spectrum curve, λ_{HU})、40 keV_{HU} CT值(40 keV_{HU})、70 keV_{HU} CT值(70 keV_{HU})。基于横断位CT图像、病灶最大层面, 勾画感兴趣区(region of interest, ROI)。ROI应涵盖整个病灶的实性区域, 并且尽量避开周边脂肪组织、囊变与钙化灶部位。另在原发灶同侧环状软骨水平颈内动脉内勾画圆形ROI(约5 mm²), 测量其光谱CT参数, 以备进行标准化计算, 计算公式如下: ① $NIC=IC_{\text{原发灶}}/IC_{\text{颈内动脉}}$; ② $NZ_{\text{eff}}=Z_{\text{eff原发灶}}/Z_{\text{eff颈内动脉}}$; ③ $\lambda_{\text{HU}}=(CT\text{值}_{40\text{keV}_{\text{HU}}}-CT\text{值}_{70\text{keV}_{\text{HU}}})/30^{[2]}$ 。将2位医师的测量平均值纳入后续统计分析。

1.3 统计学方法

采用SPSS26.0与MedCalc20.0进行统计分析。采取卡方检验或Fisher确切概率法比较定性数据间的差异。定量数据呈正态分布时, 描述形式为平均数±标准差($\bar{x} \pm s$), 采用独立样本 t 检验进行组间比较。当数据为偏态分布时, 描述形式为中位数(四分位数)[$M(P_{25}, P_{75})$], 采用Mann-Whitney U 秩和检验进行组间比较。采用组内相关系数(interclass correlation coefficients, ICC)评估不同观察者测量定

量参数的一致性。在模型构建方面, 首先通过单因素分析筛选具有统计学意义的变量。对于单因素分析提示 $P < 0.05$ 的参数, 继续进行二元Logistic回归分析, 经最大似然估计逐步法完成参数筛选, 分别用于构建临床预测模型、光谱CT参数模型和临床-影像联合预测模型。采用容差与方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)评估各模型的多重共线性。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)评估各模型的预测效能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床及病灶形态学特征比较

86例患者中, 30例(34.9%)存在CLNM。其中患者性别、Tg及囊变在两组间差异有统计学意义($P < 0.05$, 表1)。

2.2 光谱CT定量参数比较

平扫光谱CT参数中, CLNM组的平扫期CT值40 keV_{HU}、平扫期CT值70 keV_{HU}低于非CLNM组($P < 0.05$); 动脉期CT参数中, 除动脉期 NZ_{eff} , 其他参数在两组间差异均有统计学意义($P < 0.05$, 表2); 静脉期CT参数中, CLNM组的静脉期CT值70 keV_{HU}低于非CLNM组($P=0.014$)。2位医师测定光谱CT定量参数的ICC均 >0.75 (表3)。代表性CLNM与无CLNM的PTC患者光谱CT资料见图1。

2.3 模型构建及预测效能

Logistic回归分析显示, 在临床和病灶形态学特征中, 囊变是发生CLNM的独立危险因素(表4)。以此构建的临床模型预测CLNM的AUC为0.591, 灵敏度为20.0%, 特异度为98.2%(表5)。

在光谱CT定量参数中, 平扫期40 keV_{HU}、平扫期70 keV_{HU}、平扫期 NZ_{eff} 是独立预测因子(表4)。以此构建的光谱CT定量参数模型预测CLNM的AUC为0.835, 灵敏度为73.3%, 特异度为85.7%(表5)。

联合临床、形态学特征及光谱CT定量参数建立联合模型。联合模型由性别、囊变、平扫期40 keV_{HU}、平扫期70 keV_{HU}和平扫期 NZ_{eff} 组成。各参数的VIF均 <10 (表4)。联合模型预测CLNM的AUC为0.896, 灵敏度为86.7%, 特异度为80.4%(表5)。联合模型预测效能高于临床模型及光谱CT定量参数模型($Z=6.760, P < 0.001; Z=1.613, P=0.107$, 图2)。

表1 非CLNM组与CLNM组PTC患者临床和病灶形态学特征比较

Table 1 Comparison of clinical and lesion morphological characteristics between the non-CLNM and CLNM groups in PTC patients [n(%)]

Characteristics	Non-CLNM (n=56)	CLNM (n=30)	χ^2	P	Characteristics	Non-CLNM (n=56)	CLNM (n=30)	χ^2	P
Age			0.468	0.494	TPoAb			0.274	0.601
≤55 years	48(85.7)	24(80.0)			Normal	42(75.0)	24(80.0)		
>55 years	8(14.3)	6(20.0)			Abnormal	14(25.0)	6(20.0)		
Sex			4.132	0.042	Thyroid dysfunction			0.484	0.487
Male	11(19.6)	12(40.0)			No	21(37.5)	9(30.0)		
Female	45(80.4)	18(60.0)			Yes	35(62.5)	21(70.0)		
Braf mutation			1.772	0.183	Cystic			8.668	0.003
No	12(21.4)	3(10.0)			Absent	55(98.2)	24(80.0)		
Yes	44(78.6)	27(90.0)			Present	1(1.8)	6(20.0)		
Nodular goiter			0.147	0.701	Calcification			0.042	0.838
No	35(62.5)	20(66.7)			Absent	18(32.1)	9(30.0)		
Yes	21(37.5)	10(33.3)			Present	38(67.9)	21(70.0)		
CLT			0.532	0.466	Location 1			0.486	0.784
No	29(51.8)	18(60.0)			Left	28(50.0)	13(43.3)		
Yes	27(48.2)	12(40.0)			Right	27(48.2)	16(53.3)		
TSH			0.161	0.688	Isthmus	1(1.8)	1(3.3)		
Normal	45(80.4)	23(76.7)			Location 2			4.027	0.134
Abnormal	11(19.6)	7(23.3)			Upper	10(17.9)	11(36.7)		
Tg			4.546	0.033	Middle	30(53.6)	11(36.7)		
Normal	44(78.6)	17(56.7)			Lower	16(28.6)	8(26.7)		
Abnormal	12(21.4)	13(43.3)			Location 3			2.502	0.286
TgAb			0.296	0.586	Ventral	25(44.6)	15(50.0)		
Normal	34(60.7)	20(66.7)			Middle	8(14.3)	1(3.3)		
Abnormal	22(39.3)	10(33.3)			Dorsal	23(41.1)	14(46.7)		

3 讨论

超声和CT是术前评估PTC颈部淋巴结状态的重要手段,cN0 PTC是指术前超声和CT均未提示存在LN的PTC患者。既往文献提示,30%~65%的cN0 PTC患者会出现CLNM^[9]。本研究中34.9%的cN0 PTC患者出现CLNM,和既有研究结果相仿,提示cN0 PTC患者出现CLNM的概率并不低,值得深入探讨其发生因素。

既往研究表明,临床特性如性别、甲状腺功能等与PTC患者的预后相关^[2,10-11]。李宁等^[10]研究指出,cN0 PTC患者中,男性患者颈部LNM风险高于女性,表明性别因素对于PTC危险分层具有潜在的影响。与既往研究一致,在CLNM发生风险方面,男性cN0 PTC患者CLNM风险约是女性的1.83倍,可能与两性在雌激素水平、生活方式等方面的差异有

关^[11]。许泳康等^[2]发现随着Tg和TgAb增高,PTC患者更易出现颈部LN。本研究也证实了CLNM组更容易出现Tg值的异常。PTC病灶形态学特征(如病灶位置、钙化特性以及有无囊变等)也被证实与PTC的侵袭性有关^[12-13]。Zou等^[12]研究发现原发灶体积越大、合并钙化及囊变与LNM显著相关。与既往研究相似,本研究提示伴有囊变的PTC更容易发生CLNM,可能是由于发生CLNM的PTC生长过快,导致局部缺血缺氧发生坏死液化导致。但与既往研究不同的是,在病灶位置以及合并钙化方面,本研究中CLNM与非CLNM组间差异未达到统计学意义,笔者认为可能与病例组成有关,未来还需要更大样本量的研究来论证。

光谱CT相比传统CT除了可以反映图像的特征,还可表征组织成分并提供物质分解图谱^[14],从而为诊断提供更丰富的定量信息。Chen等^[15]研究

表2 非CLNM组与CLNM组PTC患者的光谱CT定量参数比较

Table 2 Comparison of spectral CT quantitative parameters between between the non-CLNM and CLNM groups in PTC patients

Quantitative parameter	Non-CLNM(n=56)	CLNM(n=30)	Z/t	P
NC IC[$M(P_{25}, P_{75})$]	0.558(0.305, 1.073)	0.610(0.243, 1.085)	-0.195	0.846
NC Z_{eff} [$M(P_{25}, P_{75})$]	7.643(7.486, 7.943)	7.515(7.343, 7.825)	-1.830	0.067
NC DEI[$M(P_{25}, P_{75})$]	0.020(0.010, 0.030)	0.010(0.010, 0.023)	-1.162	0.245
NC 40 keV _{HU} [$M(P_{25}, P_{75})$]	100.025(75.663, 140.850)	83.775(61.213, 112.313)	-2.057	0.040
NC 70 keV _{HU}	66.268 ± 16.406	53.322 ± 9.537	4.624	<0.001
NC NIC[$M(P_{25}, P_{75})$]	1.890(1.205, 2.903)	1.330(0.843, 3.488)	-0.902	0.367
NC NZ_{eff} [$M(P_{25}, P_{75})$]	1.030(1.010, 1.050)	1.005(0.980, 1.023)	-3.248	0.001
NC λ_{HU} [$M(P_{25}, P_{75})$]	1.230(0.658, 2.008)	0.925(0.508, 1.843)	-1.305	0.192
AP IC	2.619 ± 1.022	1.900 ± 0.936	2.877	0.005
AP Z_{eff} [$M(P_{25}, P_{75})$]	8.663(8.340, 8.938)	8.330(7.971, 8.618)	-2.700	0.007
AP DEI[$M(P_{25}, P_{75})$]	0.070(0.050, 0.080)	0.050(0.030, 0.063)	-2.508	0.012
AP 40 keV _{HU}	269.334 ± 94.831	211.735 ± 84.315	2.787	0.007
AP 70 keV _{HU}	112.136 ± 29.024	93.597 ± 28.228	2.850	0.006
AP NIC	0.318 ± 0.120	0.249 ± 0.112	2.604	0.011
AP NZ_{eff}	0.815 ± 0.499	0.796 ± 0.566	1.664	0.100
AP λ_{HU}	5.241 ± 2.408	3.939 ± 2.025	2.520	0.014
VP IC	3.499 ± 1.227	3.301 ± 1.163	0.724	0.471
VP Z_{eff} [$M(P_{25}, P_{75})$]	9.068(8.605, 9.269)	8.878(8.646, 9.321)	-0.353	0.724
VP DEI	0.081 ± 0.025	0.084 ± 0.029	0.485	0.629
VP 40 keV _{HU} [$M(P_{25}, P_{75})$]	344.925(295.600, 407.925)	326.725(264.975, 407.100)	-0.344	0.731
VP 70 keV _{HU} [$M(P_{25}, P_{75})$]	140.700(123.488, 151.838)	123.075(110.175, 140.075)	-2.655	0.008
VP NIC[$M(P_{25}, P_{75})$]	0.685(0.513, 0.910)	0.665(0.538, 0.833)	-0.820	0.412
VP NZ_{eff} [$M(P_{25}, P_{75})$]	0.940(0.893, 0.990)	0.935(0.910, 0.973)	-0.563	0.573
VP λ_{HU}	6.800 ± 2.474	6.988 ± 2.737	0.324	0.747

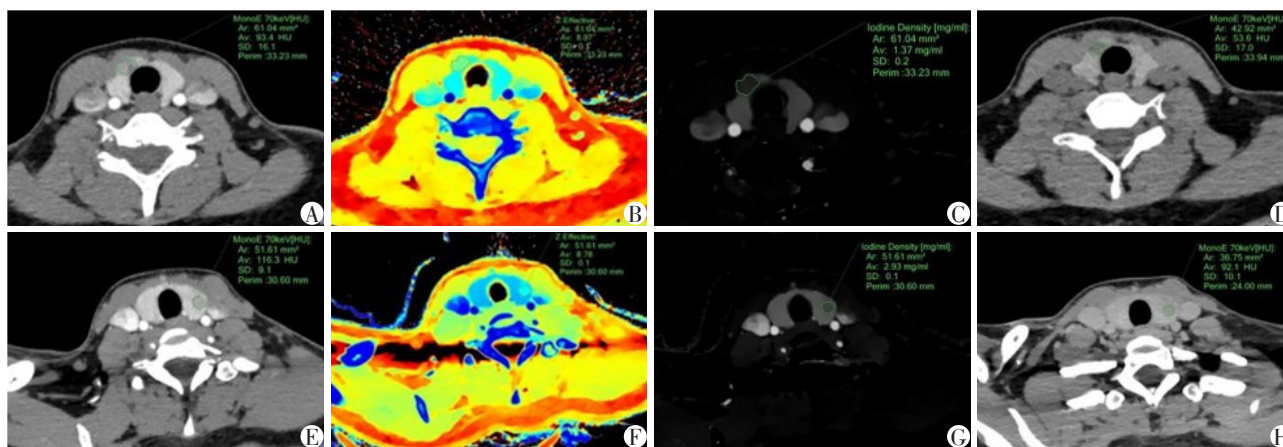
表3 2位医师测定的光谱CT定量参数一致性检验结果

Table 3 Consistency analysis of quantitative spectral CT parameters between two observers

Quantitative parameter	PTC IC	PTC Z_{eff}	ICA IC	ICA Z_{eff}	PTC40 keV _{HU}	PTC40 keV _{HU}
NC	0.899	0.850	0.949	0.936	0.783	0.806
AP	0.896	0.898	0.919	0.871	0.876	0.758
VP	0.870	0.932	0.983	0.953	0.875	0.843

发现, 基于双能量CT的PTC病灶动脉期IC、动脉期NIC、动脉期 λ_{HU} 等定量参数可以辅助预测cNO PTC患者CLNM数量。本研究基于光谱CT定量参数模型分析发现, 非CLNM组原发灶在多项参数上均显著高于CLNM组, 具体包括: 平扫期40 keV_{HU}、平扫期70 keV_{HU}、平扫期 Z_{eff} 、动脉期40 keV_{HU}、动脉期70 keV_{HU}、动脉期IC、动脉期NIC、动脉期 Z_{eff} 、动脉期DEI、动脉期 λ_{HU} 和静脉期70 keV_{HU}。究其原因, 可能是因为CLNM组病灶生长速度较快, 新生血管无法满足肿瘤生长需要, 导致肿瘤内局部区域缺血^[7], 故而导致其平扫期相关定量参数较低。另外, 由于病灶内

局部区域缺血, 使得外源性碘对比剂进入病灶减少, 进而导致其动静脉期相关定量参数的变化^[16]。值得一提的是, 尽管本研究提示的可能与CLNM相关的独立影响因素均为平扫CT参数, 但考虑到样本量和病例组成等因素, 不能简单地认为平扫CT参数比增强CT参数更有意义。未来基于更大样本量的研究将有利于验证和比较平扫与增强CT参数对CLNM的预测价值。本研究发现联合模型的预测效能优于单独的临床模型和定量参数模型。这提示在将来的临床实践和研究过程中, 为了提高对cNO PTC患者CLNM的预测效能, 不应当孤立地



A–D: A 29-year-old female patient with papillary thyroid carcinoma in the right lobe, pathologically confirmed with CLNM. E–H: A 25-year-old female patient with papillary thyroid carcinoma in the left lobe, pathologically confirmed without CLNM. Figures A and E are 70 keV images from the arterial phase; figures B and F are Zeff images from the arterial phase; figures C and G are iodine maps from the arterial phase; figures D and H are 70 keV images from the non-contrast phase. Quantitative measurements of the primary lesions in both patients revealed lower values in the CLNM group compared to the non-CLNM group: arterial phase 70 keV CT value(93.4 HU vs. 116.3 HU), arterial phase Zeff(8.07 vs. 8.78), arterial phase IC(1.31 mg/mL vs. 2.93 mg/mL), and non-contrast phase 70 keV CT value(53.6 HU vs. 92.1 HU).

图1 CLNM 和非CLNM 组甲状腺乳头状癌光谱CT 图像

Figure 1 Spectral CT images of papillary thyroid carcinoma in the CLNM group and non-CLNM group

表4 多因素逻辑回归及预测模型

Table 4 Multivariate logistic regression and predictive models

Model	Coefficient	SD	OR(95%CI)	P	Tolerance	VIF
Clinical model						
Cystic	2.621	1.107	13.750(1.569–120.502)	0.018	1.000	1.000
Quantitative parameter model						
NC 40 keV _{HU}	0.034	0.013	1.035(1.009–1.062)	0.009	0.262	3.822
NC 70 keV _{HU}	-0.158	0.044	0.854(0.783–0.930)	0.000	0.269	3.715
NC Z _{eff}	-15.273	6.854	0.000(0.000–0.159)	0.026	0.920	1.087
Combined model						
NC 40 keV _{HU}	0.039	0.016	1.040(1.007, 1.073)	0.015	0.255	3.926
NC 70 keV _{HU}	-0.203	0.055	0.816(0.733–0.909)	0.000	0.267	3.741
NC Z _{eff}	-21.632	7.634	0.000(0.000, 0.001)	0.005	0.915	1.093
Gender	1.845	0.847	6.326(1.202–33.284)	0.029	0.918	1.090
Cystic	3.676	1.677	39.479(1.477–1055.527)	0.028	0.891	1.122

表5 不同模型对cNO PTC患者CLNM的预测效能

Table 5 Predictive performance of different models for CLNM in cNO PTC patients

Model	AUC	Sensitivity(%)	Specificity(%)	PPV(%)	NPV(%)
Clinical model	0.591	20.0	98.2	50.3	92.5
Quantitative Parameter model	0.835	73.3	85.7	83.7	76.2
Combined model	0.896	86.7	80.4	81.6	85.8

分析常规特征以及CT定量参数,而应将两者结合分析。

本研究主要存在以下不足:①单中心、回顾性

研究,可能存在偏倚,且样本量不大;②采用手动勾画ROI的方法测量定量参数。综上,本研究结果显示光谱CT定量参数能有效提高对cNO PTC患者

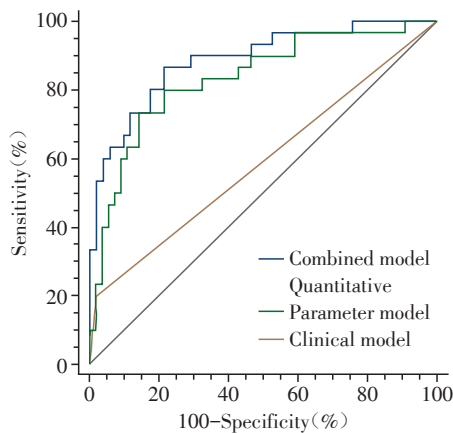


图2 临床特征、光谱CT及联合模型预测cN0 PTC患者CLNM的ROC曲线

Figure 2 ROC curves of clinical characteristics, spectral CT, and the combined model for predicting CLNM in patients with cN0 PTC

CLNM的预测效能,为精准诊疗奠定基础。

利益冲突声明:

所有作者声明无利益冲突。

Conflict of Interests:

All authors declare no conflict of interests.

作者贡献声明:

柴婷婷设计试验、分析数据、起草文章;周燕、苏国义、斯岩、沈美萍、吴飞云采集数据、分析/解释数据;许晓泉设计试验、对文章的知识性内容作批评性审阅。

Author's Contributions:

CHAI Tingting conceived and designed the experiments, analyzed the data, and drafted the manuscript; ZHOU Yan, SU Guoyi, SI Yan, SHEN Meiping, and WU Feiyu collected data, analyzed and interpreted data; XU Xiaoquan conceived and designed experiments, and critically reviewed the intellectual content of the article.

[参考文献]

[1] HUANG C W, CONG S Z, SHANG S Y, et al. Web-based ultrasonic nomogram predicts preoperative central lymph node metastasis of cN0 papillary thyroid microcarcinoma [J]. *Front Endocrinol*, 2021, 12: 734900

[2] 许泳康,周燕,耿嶝,等. 临床和双能CT特征对甲状腺乳头状癌侧颈区淋巴结转移的预测价值[J]. *临床放射学杂志*, 2024, 43(7): 1095-1100

XU Y K, ZHOU Y, GENG D, et al. Clinical and dual-energy CT features for predicting lateral cervical lymph node metastasis from papillary thyroid cancer[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2024, 43(7): 1095-1100

[3] LI Z, ZHONG Y, LV Y, et al. A CT based radiomics analysis to predict the cN0 status of thyroid papillary carcinoma: a two - center study [J]. *Cancer Imaging*, 2024, 24

(1): 62-62

[4] ZHAO W, SHEN S, KE T, et al. Clinical value of dual-energy CT for predicting occult metastasis in central neck lymph nodes of papillary thyroid carcinoma[J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(1): 16-25

[5] ZHANG L, LING Y, ZHAO Y, et al. A nomogram based on clinicopathological and ultrasound imaging characteristics for predicting cervical lymph node metastasis in cN0 unilateral papillary thyroid microcarcinoma [J]. *Frontiers in Surgery*, 2021, 8: 742328

[6] 中华放射学杂志双层探测器光谱CT临床应用协作组. 双层探测器光谱CT临床应用中国专家共识(第一版)[J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54(7): 635-643

Chinese Journal of Radiology Cooperative Group of Clinical Application of Dual-layer Spectral Detector CT. China expert consensus on clinical application of dual - layer spectral detector CT (First edition) [J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2020, 54(7): 635-643

[7] 周燕,许晓泉,许泳康,等. 双层探测器光谱CT多参数分析对甲状腺乳头状癌初始复发风险的预测价值[J]. *中华放射学杂志*, 2024, 58(2): 180-186

ZHOU Y, XU X Q, XU Y K, et al. Prediction of initial recurrence risk in papillary thyroid carcinoma based on the multi-parametric analysis from dual-layer detector spectral CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2024, 58(2): 180-186

[8] 袁迎芳,向栋国,邵红宇,等. 双层探测器光谱CT动脉增强分数对甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的预测价值[J]. *临床放射学杂志*, 2025, 44(12): 2245-2250

YUAN Y F, XIANG D G, SHAO H Y, et al. Predictive value of arterial enhancement fraction measured by dual-layer detector spectral CT for cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma [J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2025, 44(12): 2245-2250

[9] 王晨,李庆,师毅冰. 增强CT灰度共生矩阵预测cN0期甲状腺乳头状癌中央区淋巴结转移[J]. *中国医学影像学杂志*, 2024, 32(8): 787-791

WANG C, LI Q, SHI Y B. Enhanced CT gray-level co-occurrence matrix for predicting central lymph node metastasis in cN0 papillary thyroid carcinoma [J]. *Chinese Journal of Medical Imaging*, 2024, 32(8): 787-791

[10] 李宁,舒艳艳,韩志江. CT征象联合临床特征对cN0期单发甲状腺乳头状癌中央区淋巴结转移的预测价值[J]. *中国临床医学影像杂志*, 2016, 27(9): 616-619

LI N, SHU Y Y, HAN Z J. Predictive value of CT combined with clinical features in diagnosing central lymph node metastasis of papillary thyroid carcinoma in stage cN0 [J]. *Chinese Journal of Clinical Medicine Imaging*, 2016, 27(9): 616-619

- [11] ZHUO X, YU J, CHEN Z, et al. Dynamic nomogram for predicting lateral cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma[J]. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022, 166(3): 444-453
- [12] ZOU Y, ZHANG H, LI W, et al. Prediction of ipsilateral lateral cervical lymph node metastasis in papillary thyroid carcinoma: a combined dual-energy CT and thyroid function indicators study[J]. *BMC Cancer*, 2021, 21(1): 221-221
- [13] 邹颖, 刘继华, 孙芳, 等. 基于双能CT的列线图预测cN1期甲状腺乳头状癌颈侧区淋巴结转移的可行性研究[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(7): 716-722
ZOU Y, LIU J H, SUN F, et al. A feasibility study of predictive values of lateral cervical lymph node metastasis from cN1-stage papillary thyroid carcinoma based on dual-energy CT nomogram[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2021, 55(7): 716-722
- [14] 王皓, 杜昱升, 王友, 等. 基于光谱CT和影像组学特征的机器学习模型和列线图预测甲状腺结节良恶性[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2024, 44(7): 958-965
WANG H, DU Y S, WANG Y, et al. Machine learning models and nomograms based on spectral CT and radiomic features for predicting the benignancy and malignancy of thyroid nodules[J]. *Journal of Nanjing Medical University(Natural Sciences)*, 2024, 44(7): 958-965
- [15] CHEN W, LIN G, CHENG F, et al. Development and validation of a dual-energy ct-based model for predicting the number of central lymph node metastases in clinically node-negative papillary thyroid carcinoma[J]. *Acad Radiol*, 2024, 31(1): 142-156
- [16] XU X Q, ZHOU Y, SU G Y, et al. Iodine maps from dual-energy CT to predict extrathyroidal extension and recurrence in papillary thyroid cancer based on a radiomics approach[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2022, 43(5): 748-755
- (收稿: 2026-03-07; 修回: 2026-04-24; 录用: 2026-04-27)
(本文编辑: 唐震)



欢迎关注本刊微博、微信公众号!