

· 专家述评与论著 ·



**曹代荣**，主任医师、教授、博士研究生导师，福建医科大学附属第一医院影像科主任，福建医科大学医学影像技术学系主任，福建省医学会放射学分会主任委员，中华医学会放射学分会委员，中华医学会放射学分会磁共振学组副组长，中国卒中学会医学影像学分会委员，中华口腔医学会口腔颌面放射专业委员会常务委员，中国医师协会放射医师分会委员兼头颈专业委员会副主任委员，中国老年医学会放射学分会常务委员，中国医学装备协会磁共振应用专业委员会常务委员，中国研究型医院学会肿瘤影像诊断学专业委员会常务委员，中国医学影像技术研究会理事，中国医学影像技术研究会放射学分会委员，福建省口腔医学会常务理事，福建省口腔医学会口腔颌面放射专业委员会主任委员。

## 双能量CT成像在诊断甲状腺乳头状癌 颈部淋巴结转移中的临床应用价值

何慕真<sup>1</sup>，马明平<sup>1</sup>，林 阳<sup>2</sup>，曹代荣<sup>3</sup>

1. 福建医科大学省立临床学院，福建省立医院放射科，福建 福州 350000；
2. 西门子医疗系统有限公司，上海 201318；
3. 福建医科大学附属第一医院，福建 福州 350005

**【摘要】 背景与目的：**术前影像学检查指导甲状腺乳头状癌（papillary thyroid carcinoma, PTC）手术方式选择。该研究探讨双能量CT成像在术前诊断PTC颈部淋巴结转移中的临床应用价值。**方法：**前瞻性收集2016年8月—2017年5月55例临床可疑甲状腺癌拟手术治疗的患者，进行颈部双能量增强CT扫描及定量分析，并与常规CT征象对比。测量及计算短径 $\geq 5$  mm的淋巴结感兴趣区动脉期、静脉期标准化碘浓度（normalized iodine concentration, NIC）及能谱曲线斜率（ $\lambda_{HU}$ ）。对比分析经手术病理证实的转移组及未转移组淋巴结的常规CT表现和双能量CT中动脉期、静脉期NIC及 $\lambda_{HU}$ 差异是否有统计学意义。采用受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线分析NIC及 $\lambda_{HU}$ 的最佳诊断阈值，评价诊断效能。**结果：**以术后病理学检查结果为金标准，与术前CT准确配对淋巴结212枚，包括转移淋巴结124枚（58.5%）和未转移淋巴结88枚（41.5%）。通过常规CT形态学征象包括淋巴结短径（ $> 10$  mm）、明显强化、不均匀强化、淋巴结坏死（囊变）、淋巴结内钙化及侵犯周围组织等对PTC转移淋巴结进行诊断的灵敏度为4.0%~79.0%，特异度为63.6%~100.0%。PTC颈部淋巴结转移组和未转移组的动脉期NIC、静脉期NIC、动脉期 $\lambda_{HU}$ 及静脉期 $\lambda_{HU}$ 差异均有统计学意义（ $P < 0.001$ ）。其中动脉期NIC对PTC颈部转移淋巴结诊断效能最高，以25.8%为最佳诊断阈值，其灵敏度为90.3%，特异度为96.6%，曲线下面积（area under curve, AUC）为0.986。动脉期NIC及 $\lambda_{HU}$ 的诊断效能均高于静脉期（ $P < 0.001$ ）。**结论：**双能量CT成像的定量参数NIC及 $\lambda_{HU}$ 较常规CT形态学征象在诊断PTC颈部淋巴结转移中具有更高的准确性。

**【关键词】** 甲状腺乳头状癌；淋巴结；体层摄影术，X线计算机

DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2018.07.004

中图分类号: R736.1 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2018)07-0497-08

**Diagnostic value of dual-energy CT imaging for cervical lymph nodes metastasis in the patients with papillary thyroid cancer** HE Muzhen<sup>1</sup>, MA Mingping<sup>1</sup>, LIN Yang<sup>2</sup>, CAO Dairong<sup>3</sup> (1. Provincial Clinical College, Fujian Medical University, Department of Radiology, Fujian Provincial Hospital, Fuzhou 350000, Fujian Province, China; 2. Siemens Healthcare Ltd., Shanghai 201318, China; 3. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou 350005, Fujian Province, China)

Correspondence to: CAO Dairong E-mail: dairongcao@163.com

**[Abstract] Background and purpose:** Pre-operative imaging examination is especially critical to the guidance on the selection of surgical methods of papillary thyroid cancer. This study aimed to quantitatively assess the diagnostic value of dual-energy computed tomography (CT) imaging for cervical lymph nodes metastasis in patients with papillary thyroid cancer. **Methods:** This study was approved by the ethics committee, and all patients were provided with written informed consent. Fifty-five consecutive patients with suspected thyroid cancer were prospectively enrolled, and underwent enhanced dual-energy spectral CT scan from August 2016 to May 2017. The quantitative dual-energy CT imaging and qualitative conventional CT scanning data were analyzed and compared by different groups of radiologists. A region of interest was drawn in the cervical lymph nodes with a maximal short axial diameter of greater than or equal to 5 mm. The normalized iodine concentration (NIC) and the slope of the spectral Hounsfield unit curve ( $\lambda_{HU}$ ) during both arterial and venous phases were measured respectively from iodine overlay images and spectral curves. Two-sample *t* test was performed to compare quantitative parameters at dual-energy CT between the histopathologically proven benign and metastatic lymph nodes. Receiver operating characteristic (ROC) curves were generated for sensitivity and specificity analyses as well as evaluating the diagnostic value of dual-energy CT imaging and conventional CT features. **Results:** A total of 212 nodes were detected, including 88 benign and 124 metastatic lymph nodes which were successfully matched and labeled during surgery. By using the conventional CT features including node size, degree and pattern of enhancement, necrosis, as well as extranodal extension for detection of metastatic lymph nodes, sensitivity, specificity and accuracy were 4.0%-79.0%, 63.6%-100.0% and 43.9%-72.6%, respectively. Both arterial and venous phases NIC and  $\lambda_{HU}$  were significantly higher in metastatic than in benign lymph nodes (all  $P < 0.001$ ). The best quantitative parameter for detection of lymph nodes metastasis was arterial phase NIC with optimal threshold value of 25.8%. The sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value and negative predictive value were 90.3%, 96.6%, 92.9%, 97.4% and 87.6%, respectively. The area under curve (AUC) of arterial phase NIC and  $\lambda_{HU}$  were significantly higher than those of venous phases (all  $P < 0.001$ ). **Conclusion:** Compared with qualitative conventional CT features, quantitative parameters associated with NIC and  $\lambda_{HU}$  at dual-energy CT showed higher accuracy and better diagnostic performance for cervical lymph nodes metastasis in patients with papillary thyroid cancer.

**[Key words]** Papillary thyroid carcinoma; Lymph nodes; Tomography, X-ray computed

甲状腺乳头状癌 (papillary thyroid carcinoma, PTC) 是甲状腺癌最常见的病理类型, 发病率占甲状腺癌的80%~88%<sup>[1]</sup>。30%~90%的PTC在确诊时已伴有颈部淋巴结转移<sup>[2]</sup>。预防性淋巴结清扫术可以降低术后复发及转移率, 但中央区淋巴结清扫存在可能损伤甲状旁腺及喉返神经等风险<sup>[3]</sup>, 因此术前影像学检查对指导手术方式选择尤为关键。目前国内外学者主要研究超声、MRI及增强CT等辅助检查方式在诊断PTC颈部转移淋巴结中的应用, 对双能量CT成像诊断价值研究的相关报道罕见。本研究前瞻性收集55例临床可疑甲状腺癌拟收住院进行手术治疗的患者进行颈部双能量增强CT扫

描。以术后病理学检查结果为金标准, 探讨双能量CT成像对比常规CT在诊断PTC颈部淋巴结转移中的应用价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

以2016年8月—2017年5月55例临床可疑甲状腺癌拟手术治疗的患者为研究对象, 进行前瞻性队列研究。所有患者均由本人或家属签署知情同意书。入组标准: ①术前未经过治疗及穿刺活检; ②无其他恶性肿瘤病史; ③近4~8周末注射碘造影剂。

## 1.2 检查方法及图像后处理

55例患者术前采用德国Siemens SOMATOM Force双源CT进行扫描。患者取仰卧位，头-足位扫描，范围自颅底部至纵隔上部，嘱患者扫描期间不能进行吞咽动作。所有患者均进行常规CT平扫及动脉、实质期双能量扫描。常规CT平扫参数：参考管电压100 kVp，参考管电流120 mAs，转速1.0 s/r，螺距0.8。增强双能量扫描参数：球管管电压分别为80、Sn150 kVp，参考管电流分别为130、65 mAs，转速0.5 s/r，螺距0.6，视场（field of view, FOV）为150 mm×150 mm，准直参数128×0.6 mm，重建层厚、层间距均为1.5 mm。增强扫描采用对比剂碘佛醇85 mL，0.9%NaCl溶液15 mL，以3.0 mL/s流率经肘静脉注入，采用自动扫描触发软件(Bolus Tracking, 购自德国Siemens公司)触发扫描，监测点位于左侧颈总动脉，阈值达到100 HU时触发扫描动脉期，延迟30 s进行静脉期扫描。扫描完成后将数据传输至后处理工作站（syngo.via VB10）进行双能量图像数据分析，由线性融合（融合因子0.6）获得常规增强CT图像。

## 1.3 影像评估

术前由1名从事影像诊断7年的主治医师及1名从事影像诊断15年的副主任医师对扫描区颈部短径 $\geq 5$  mm的淋巴结进行标记。记录形态学征象及双能量CT图像数据，意见不一致时两人协商后确定。颈部淋巴结分区采用美国癌症联合委员会（American Joint Committee on Cancer, AJCC）制定的颈部淋巴结分区标准Ⅶ区法。如同一区内有多个淋巴结再对这些淋巴结进行标记，标记顺序：① 从下到上；② 从病灶同侧到病灶对侧；③ 从前到后；④ 从外侧到内侧。

### 1.3.1 形态学数据

在常规增强CT图像中结合MPR显示病灶的横断位、冠状位及矢状位，记录病灶的最大短径、形态、密度、钙化、坏死（囊变）、强化及有无侵犯周围组织情况。强化CT值=增强后病灶强化最明显处CT值-平扫CT值，轻度强化CT值 $\leq 20$  HU，中等强化CT值20~40 HU，明显强化CT值 $\geq 40$  HU。

### 1.3.2 双能量图像数据

感兴趣区（region of interest, ROI）选择置于病灶或组织中心或实性部分，面积2~8 mm<sup>2</sup>，增强期像选择病灶强化最明显区域，选择尽可能大的ROI以减少噪声；形状使用圆形或类圆形。大小、形状和位置尽可能在各期扫描的测定中保持一致，测量时避开钙化、坏死、血管及CT值变化较大的组织交界区。所有数据选取3个层面测量，每层测3次取平均值。

双能量图像分析的参数包括：

(1) 碘比率：采用标准化碘浓度（normalized iodine concentration, NIC）缩小个体血流动力学、循环及对比剂流率差异。测量碘浓度（iodine concentration, IC）包括动脉期及静脉期病灶内IC（IC<sub>病灶</sub>）、同时相颈动脉内IC（IC<sub>颈动脉</sub>）， $NIC=IC_{\text{病灶}}/IC_{\text{颈动脉}}$ 。

(2) 能谱曲线斜率（ $\lambda_{\text{HU}}$ ）： $\lambda_{\text{HU}}=(\text{HU}_{40\text{ keV}}-\text{HU}_{190\text{ keV}})/150\text{ keV}$ ，分别计算动脉期及静脉期病灶的 $\lambda_{\text{HU}}$ 。

## 1.4 手术及病理分析

甲状腺外科医师复阅术前颈部增强CT影像，术中对清扫各区域淋巴结进行标记。某些区域如有多个淋巴结无法与术前一一对应，则这些淋巴结将不纳入数据统计结果。对应者手术标本经4%甲醛溶液固定，石蜡包埋、切片，经H-E染色，由具有10年以上病理诊断经验的医师阅片诊断，并记录病灶位置、大小及病理类型。

## 1.5 统计学处理

以组织病理学结果为金标准，根据四格表计算CT形态学诊断标准及双能量CT定量参数的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值（positive predictive value, PPV）和阴性预测值（negative predictive value, NPV）。

采用SPSS 19.0软件，计数资料以百分率（%）表示，计量资料正态分布，以 $\bar{x}\pm s$ 表示。对2名阅片者评分结果进行一致性检验，Kappa值 $< 0.4$ 为一致性较差， $0.4 \leq \text{Kappa值} \leq 0.6$ 为一致性中等， $0.6 < \text{Kappa值} \leq 0.8$ 为一致性良好， $0.8 < \text{Kappa值} \leq 1.0$ 为一致性好。计数资料组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher确切概率法。计量资料组间采

用独立样本 $t$ 检验分析。采用MedCalc软件进行受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析,根据最大约登指数(最大约登指数=灵敏度+特异度-1)确定最佳诊断阈值,并计算曲线下面积(area under curve, AUC),分析各参数诊断效能,AUC小于0.7为诊断效能较低,0.7~0.9为中等,大于0.9为较高。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结 果

本组研究51例患者(共收集55例,排除1例甲状腺髓样癌、1例甲状腺滤泡癌及2例有明显金属假牙及运动伪影)。其中男性16例(31.4%),女性35例(68.6%),中位年龄46岁(11~72岁)。甲状腺病灶术后病理显示,5例为结节性甲状腺肿,46例为PTC,其中40例确诊存在淋巴结转移。手术确诊结节性甲状腺肿组颈部淋巴结未作病理切片检查,但是默认为其颈部淋巴结阴性而纳入未转移组进行统计。术前CT准确配对淋巴结212枚,包括转移淋巴结124枚

(58.5%)和未转移淋巴结88枚(41.5%),分为3组:①经手术病理切片诊断转移淋巴结124枚(58.5%);②手术病理切片诊断良性淋巴结66枚(31.1%);③结节性甲状腺肿病例组颈部淋巴结22枚(10.4%)(表1)。

辐射剂量: $E(\text{mSv})=k \times \text{DLP}$ ,  $k=0.0059^{[4]}$ 。常规CT平扫DLP(mGy)均值为 $262 \pm 18$ ,  $E(\text{mSv})=1.53 \pm 0.11$ 。能谱CT单期增强扫描DLP(mGy)均值为 $68 \pm 11$ ,  $E(\text{mSv})=0.40 \pm 0.06$ 。两组数值对比差异有统计学意义( $P<0.001$ )。

### 2.1 常规CT表现

转移组淋巴结短径范围为5.0~38.2 mm,平均值为 $(9.1 \pm 3.8)$  mm;未转移组短径范围为5.0~12.2 mm,平均值为 $(7.5 \pm 2.8)$  mm。以淋巴结短径( $>10$  mm)、明显强化、不均匀强化、淋巴结坏死(囊变)、淋巴结内钙化及侵犯周围组织作为转移淋巴结常规CT形态学诊断标准,各指标的灵敏度、特异度及准确度见表2。40例确诊的PTC颈部淋巴结转移患者中,常规CT诊断出淋巴结转移患者(至少发现1个转移性淋巴结)31例。

表1 转移组及未转移组淋巴结在颈部各区分布情况

Tab. 1 The distribution of lymph nodes in the metastasis group and non-metastasis group

| Lymph node level     | I  | II | III | IV | V  | VI | VII |
|----------------------|----|----|-----|----|----|----|-----|
| Metastasis group     | 0  | 11 | 21  | 24 | 20 | 41 | 7   |
| Non-metastasis group | 10 | 42 | 23  | 7  | 5  | 1  | 0   |
| Total                | 10 | 53 | 44  | 31 | 25 | 42 | 7   |

表2 PTC转移淋巴结常规CT形态学表现诊断效能

Tab. 2 The diagnostic effectiveness of conventional CT morphological manifestations for PCT patients with metastatic lymph nodes

| CT characteristic              | Number of case   |                      | P value  | Sensitivity/% | Specificity/% | Accuracy/% |
|--------------------------------|------------------|----------------------|----------|---------------|---------------|------------|
|                                | Metastasis group | Non-metastasis group |          |               |               |            |
| Short diameter $>10$ mm        | 56               | 25                   | $<0.05$  | 45.2          | 71.6          | 56.1       |
| Obvious enhancement            | 98               | 32                   | $<0.001$ | 79.0          | 63.6          | 72.6       |
| Inhomogeneous enhancement      | 35               | 2                    | $<0.001$ | 28.2          | 97.7          | 57.1       |
| Cystic degeneration/necrosis   | 18               | 0                    | $<0.001$ | 14.5          | 100.0         | 50.0       |
| Calcification                  | 20               | 0                    | $<0.001$ | 16.1          | 100.0         | 50.9       |
| Invasion to surrounding tissue | 5                | 0                    | 0.078    | 4.0           | 100.0         | 43.9       |

2.2 双能量CT图像定量分析

本组中212枚淋巴结均行动脉期、静脉期IC测定及能谱曲线分析(图1)。转移组与未转移动脉期及静脉期的NIC、 $\lambda_{HU}$ 差异均有统计学意义( $P<0.001$ ,表3)。动脉期及静脉期的NIC、 $\lambda_{HU}$ 各组的诊断效能见表4。以最大约登指数确定各组最佳诊断阈值(表4),并绘制各指标ROC曲线(图2、3)。动脉期NIC、动脉期 $\lambda_{HU}$ 和静脉期 $\lambda_{HU}$ 对PTC颈部转移淋巴结诊断效能较高,最佳诊断阈值分别为25.8%、1.139和1.362,其灵敏度分别为90.3%、87.9%和82.3%,特异

度分别为96.6%、98.9%和95.5%,AUC值分别为0.986、0.976和0.913。动脉期与静脉期NIC诊断PTC转移淋巴结ROC曲线对比,面积间差异为0.089,Z值=4.338,差异有统计学意义( $P<0.0001$ );动脉期与静脉期 $\lambda_{HU}$ 诊断ROC曲线对比,面积间差异为0.0625,Z值=3.057,差异有统计学意义( $P=0.0022$ ),动脉期NIC及 $\lambda_{HU}$ 的诊断效能均高于静脉期。40例确诊的PTC颈部淋巴结转移患者中,能谱CT诊断出淋巴结转移患者(至少发现1个转移性淋巴结)36例。

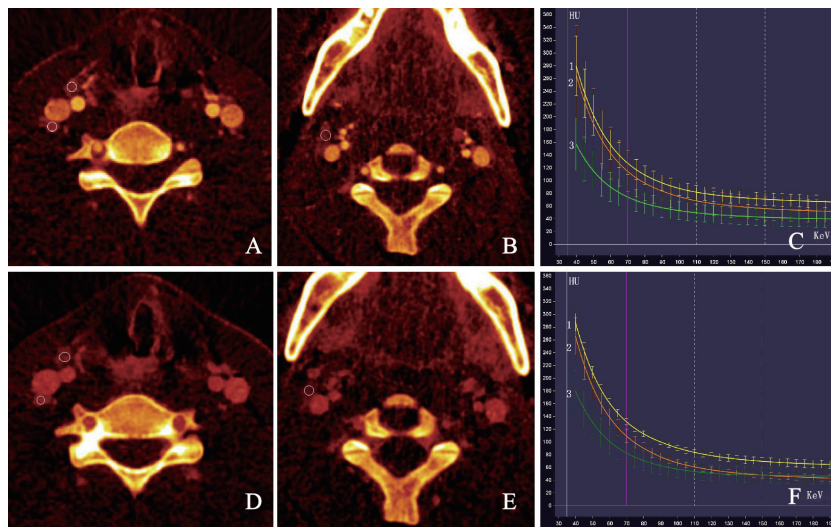


图1 1例患者的颈部淋巴结动脉期、静脉期碘浓度测定及能谱曲线分析

Fig. 1 Determination of iodine concentration and energy spectrum curve in arterial phase and venous phase of the cervical lymph nodes of one PTC patient

A and B show that the NIC values of two metastatic lymph nodes compared with one benign lymph node in the arterial phase are 36.1%, 32.1% and 16.3% respectively. D and E show that the NIC values of two metastatic lymph nodes compared with one benign lymph node in the venous phase are 56.6%, 42.6% and 35.1% respectively. C and F are the Hounsfield unit curve in the arterial phase and the venous phase respectively. The yellow and white lines stand for metastatic lymph nodes, while the green line represents benign lymph nodes. The Hounsfield unit curves of the white and yellow lines and the green line are significantly different. The  $\lambda_{HU}$  of two metastatic lymph nodes compared with one benign lymph node in the arterial phase are 1.46, 1.47 and 1.00 respectively, while the  $\lambda_{HU}$  of two metastatic lymph nodes compared with one benign lymph node in the venous phase are 1.57, 1.59 and 1.27, respectively

表3 PTC转移组与未转移组淋巴结动脉期、静脉期NIC、 $\lambda_{HU}$ 比较

Tab. 3 Comparisons of NIC values and  $\lambda_{HU}$  of lymph nodes between PCT metastasis group and non-metastasis group in the arterial and the venous phase

| Number of foci                         | Metastatic lymph nodes n=124 | Non-metastatic lymph nodes n=88 | t value | ( $\bar{x}\pm s$ ) |
|--|------------------------------|---------------------------------|---------|--------------------|
|  |                              |                                 |         | P value            |
| Dual-energy CT quantitative parameters |                              |                                 |         |                    |
| Arterial phase NIC                     | 41±11                        | 15±6                            | 21.9    | <0.001             |
| Venous phase NIC                       | 70±19                        | 42±14                           | 12.4    | <0.001             |
| Arterial phase $\lambda_{HU}$          | 2.00±0.70                    | 0.74±0.17                       | 18.9    | <0.001             |
| Venous phase $\lambda_{HU}$            | 1.80±0.60                    | 1.06±0.18                       | 14.1    | <0.001             |

表 4 各双能量CT定量参数(动脉期及静脉期NIC、 $\lambda_{HU}$ )诊断效能Tab. 4 The diagnostic effectiveness of each dual-energy CT quantitative parameter (NIC and  $\lambda_{HU}$ ) in the arterial phase and the venous phase)

| Parameter                 | Arterial phase NIC  | Venous phase NIC    | Arterial phase $\lambda_{HU}$ | Venous phase $\lambda_{HU}$ |
|---------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| AUC                       | 0.986 (0.960-0.997) | 0.897 (0.848-0.935) | 0.976 (0.945-0.992)           | 0.913 (0.867-0.947)         |
| Maximum Yuden index       | 0.869               | 0.666               | 0.868                         | 0.777                       |
| Best diagnostic threshold | 25.80               | 50.90               | 1.14                          | 1.36                        |
| Sensitivity/%             | 90.3                | 87.1                | 87.9                          | 82.3                        |
| Specificity/%             | 96.6                | 79.5                | 98.9                          | 95.5                        |
| Accuracy/%                | 92.9                | 84.0                | 92.5                          | 87.7                        |
| PPV/%                     | 97.4                | 85.7                | 99.1                          | 96.2                        |
| NPV/%                     | 87.6                | 81.4                | 85.3                          | 79.2                        |

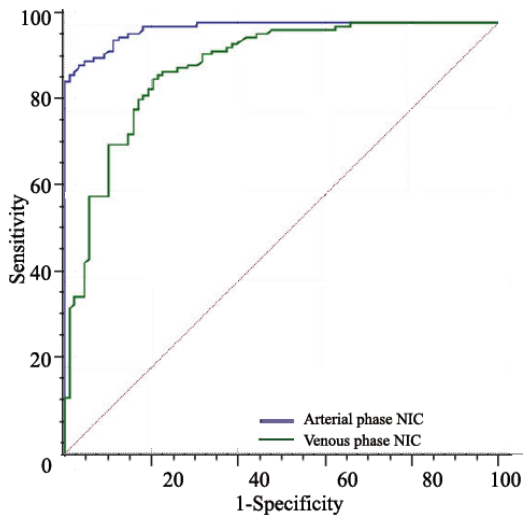
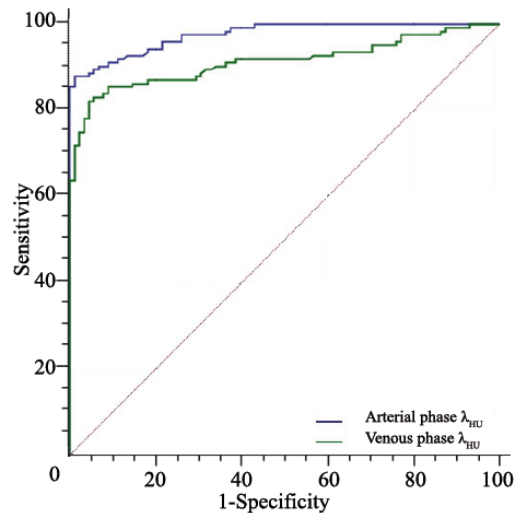


图 2 动脉期及静脉期NIC诊断转移淋巴结ROC曲线

Fig. 2 The ROC curves of NIC for the diagnosis of lymph node metastasis in the arterial phase and the venous phase

图 3 动脉期及静脉期 $\lambda_{HU}$ 诊断转移淋巴结ROC曲线Fig. 3 The ROC curves of  $\lambda_{HU}$  for the diagnosis of lymph node metastasis in the arterial and the venous phase

### 3 讨 论

根据美国甲状腺协会(American Thyroid Association, ATA)最新发布的2015年版《成人甲状腺结节与分化型甲状腺癌治疗指南》<sup>[5]</sup>, 术前明确是否颈部淋巴结转移对于临床确定手术方式并判断预后具有重要意义, 并将超声作为判断甲状腺癌颈部淋巴结转移的首选辅助检查。但是超声检查操作者经验及个人的主观性在一定程度上影响超声诊断的灵敏度及特异度。同时超声检查范围局限于较浅表淋巴结, 诊断甲状腺癌转移淋

巴结的特异度高(85.0%~97.4%), 而灵敏度较低(36.7%~61.0%)<sup>[6]</sup>, 对颈根部淋巴结(如颈部淋巴结VI、VII组)及上纵隔淋巴结的评价受限<sup>[7]</sup>。MRI有良好的软组织对比度和分辨率, 但对钙化的检出不敏感。且MRI检查时间较长, 对患者配合度要求较高, 图像质量容易受患者呼吸、吞咽动作影响。多层螺旋CT兼具有较高的密度分辨率及空间分辨率, 同时多种图像后处理技术可以直观显示病变的具体位置及与周围结构(气管、食管)的关系。CT作为进展型甲状腺癌常规辅助检查方式, 主要是用于显示低位或颈深部淋巴结<sup>[5]</sup>。双能量CT改变了常规CT诊断模

式，它通过两组高、低能量的X线与物质作用生成基物质图像、单能谱图像及物质能谱曲线等，从而为疾病的诊断和鉴别诊断提供更多定量指标和分析工具。

既往Meta分析显示，常规平扫及增强CT诊断PTC颈部淋巴结转移特异度高（87%），灵敏度较低（62%）<sup>[8]</sup>。以淋巴结短径大小作为判断淋巴结转移指标的灵敏度及特异度均较低，本组中95.3%中央区转移淋巴结短径均小于10 mm。淋巴结钙化对PTC颈部转移淋巴结的诊断已经得到很多学者支持，Ahuja等<sup>[9]</sup>报道，50%~69%的PTC颈部淋巴结转移可以出现钙化。淋巴结坏死是判断异常淋巴结的重要指标，PTC淋巴结囊变坏死可伴有特征性明显强化壁结节。本研究中，侵犯周围组织的征象在转移组与非转移组之间发生率差异无统计学意义，可能是本研究样本数较少，同时转移组与非转移组均无或少见周围软组织侵犯，导致统计结果有一定误差。本研究中出现淋巴结钙化、囊变、坏死及侵犯周围等征象诊断特异度较高（71.6%~100.0%），但灵敏度较低（4.0%~45.2%），与文献报道相符<sup>[8]</sup>。甲状腺癌转移淋巴结内血管再生、包膜血管代偿<sup>[10]</sup>，且兼具甲状腺癌吸碘特性，这些病理改变决定了转移淋巴结增强表现为相应的明显强化<sup>[11]</sup>。本研究中淋巴结明显强化对PTC转移淋巴结诊断具有较高灵敏度，与Kim等<sup>[6]</sup>的报道一致。而对于部分强化程度较低的淋巴结，尚不能单独依靠强化程度确定是否为PTC淋巴结转移。

双能量CT成像中，常将碘作为最基本的标准物质，得到碘基图像进行定量分析。CT对比剂主要成分是碘，增强后碘基图像及病灶IC测定就可以准确地反映病变组织对碘对比剂的摄取，即病变的血供情况<sup>[12]</sup>。甲状腺是含碘器官，部分研究显示，CT平扫及增强IC测定对鉴别甲状腺良、恶性结节具有较高的灵敏度及特异度<sup>[7, 13]</sup>。PTC颈部转移性淋巴结与甲状腺癌结节具有一样的组织学特征，表现为血供丰富及吸碘特性<sup>[14]</sup>。IC测定可以较CT增强值更准确地反映淋巴结内碘含量及血供改变。本组中动脉期

NIC诊断转移淋巴结效能较高，静脉期诊断效能中等。Park等<sup>[15]</sup>也认为动脉期CT较延迟期对诊断PTC侧颈部转移淋巴结具有更高的准确性。分析其原因，转移淋巴结内新生血管丰富，呈高速血流，增强早期即明显强化，摄碘率高，而未转移淋巴结早期强化不明显，摄碘率低，因此测量动脉期IC鉴别淋巴结性质具有较高的诊断效能。而静脉期转移淋巴结碘含量呈平台期改变，与部分未转移组的炎性反应性增生淋巴结内缓慢增加的IC接近，造成静脉期这一部分淋巴结IC差异无统计学意义。

另一方面，双能量CT扫描可以虚拟计算出物质在各个单能量下的CT值，据此可绘制出反映不同病变和人体组织对于X线衰减系数的特征性能谱曲线<sup>[16]</sup>，而能谱曲线的差异可用曲线斜率来定量评估<sup>[17]</sup>。转移淋巴结与未转移淋巴结内部结构及组织特性不同，能谱衰减曲线也不尽相同，通过能谱曲线斜率进行定量分析，可以为颈部淋巴结定性诊断提供新思路。本研究结果显示，动脉期及静脉期转移淋巴结能谱曲线起始段下降迅速，而未转移淋巴结能谱曲线起始段较平缓下降，能谱曲线形成显著差异，动脉期及静脉期相应的曲线斜率均具有较高的诊断效能，且动脉期的诊断效能高于静脉期。可能是由于静脉期部分炎性反应性增生淋巴结明显强化，能谱曲线起始段斜率较动脉期明显升高，与部分转移组能谱曲线重叠，造成一定的假阳性。

本研究仅选取了短径 $\geq 5$  mm的淋巴结入组研究。但实际随访过程中特别是部分短径 $< 5$  mm的中央区淋巴结同样是转移瘤，但考虑到减少部分容积效应伪影及提高ROI测量的准确性，摒弃了这一部分淋巴结，可能导致一定的假阴性。而且本组研究缺少与超声及MRI等多种影像学检查手段的诊断效能比较，后期研究将进一步对这方面进行探讨。

总之，常规CT表现包括淋巴结短径（ $> 10$  mm）、明显强化、不均匀强化、淋巴结坏死、淋巴结内钙化及侵犯周围组织等形态学特征对PTC颈部淋巴结定性诊断有一定价值，但特异度较高而灵敏度较低。双能量CT成像定量参数

NIC及 $\lambda_{\text{HU}}$ 较常规CT形态学特征对诊断PTC颈部淋巴结转移具有更高的准确性, 其中动脉期NIC、动脉期 $\lambda_{\text{HU}}$ 及静脉期 $\lambda_{\text{HU}}$ 对PTC颈部转移淋巴结诊断效能较高, 静脉期NIC值诊断效能中等, 且动脉期能谱参数诊断效能均高于静脉期相应参数。因此, PTC患者选择颈部动脉期单期双能量扫描, 在具有较高的诊断效能的同时有利于降低辐射剂量。同时, 本研究中单期双能量颈部扫描辐射量明显低于单期常规CT模式的颈部扫描(0.40 mSv vs 1.53 mSv), 更为安全。

#### [参 考 文 献]

- [1] HOANG J K, BRANSTETTER B F, GAFTON A R, et al. Imaging of thyroid carcinoma with CT and MRI: approaches to common scenarios [J]. *Cancer Imaging*, 2013, 13(1): 128–139.
- [2] HUGHES D T, HAYMART M R, MILLER B S, et al. The most commonly occurring papillary thyroid cancer in the United States is now a microcarcinoma in a patient older than 45 years [J]. *Thyroid*, 2011, 21(3): 231–236.
- [3] 张宗敏, 李正江, 唐平章, 等. 甲状腺乳头状癌外科治疗分析 [J]. *中华肿瘤杂志*, 2011, 33(10): 779–782.
- [4] MCCOLLOUGH C, CODY D, EDYVEAN S. The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT [J]. *Clin Transl Sci*, 2008, 8(4): 330–333.
- [5] HAUGEN B R, ALEXANDER E K, BIBLE K C, et al. 2015 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American Thyroid Association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer [J]. *Thyroid*, 2016, 26(1): 1–133.
- [6] KIM E, PARK J S, SON K R, et al. Preoperative diagnosis of cervical metastatic lymph nodes in papillary thyroid carcinoma: comparison of ultrasound, computed tomography, and combined ultrasound with computed tomography [J]. *Thyroid*, 2008, 18(4): 411–418.
- [7] LI H W, WU X W, LIU B, et al. Clinical values of gemstone spectral CT in diagnosing thyroid disease [J]. *J Xray Sci Technol*, 2015, 23(1): 45–56.
- [8] SUH C H, BAEK J H, CHOI Y J, et al. Performance of CT in the preoperative diagnosis of cervical lymph node metastasis in patients with papillary thyroid cancer: a systematic review and Meta-analysis [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(1): 154–161.
- [9] AHUJA A, YING M, KING W, et al. A practical approach to ultrasound of cervical lymph nodes [J]. *J Laryngol Otol*, 1997, 111(3): 245–256.
- [10] KLOOS R T, RINGEL M D, KNOPP M V, et al. Phase II trial of sorafenib in metastatic thyroid cancer [J]. *J Clin Oncol*, 2009, 27(10): 1675–1684.
- [11] LEE D W, JI Y B, SUNG E S, et al. Roles of ultrasonography and computed tomography in the surgical management of cervical lymph node metastases in papillary thyroid carcinoma [J]. *Eur J Surg Oncol*, 2013, 39(2): 191–196.
- [12] PELGRIM G J, VAN HAMERSVELT R W, WILLEMINK M J, et al. Accuracy of iodine quantification using dual energy CT in latest generation dual source and dual layer CT [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27(9): 3904–3912.
- [13] 陈泽谷, 吴 莉, 陆 琳, 等. 基于双源CT双能量碘图定量参数鉴别良恶性甲状腺结节 [J]. *中华放射学杂志*, 2015, 49(9): 646–650.
- [14] VOGL T J, SCHULZ B, BAUER R W, et al. Dual-energy CT applications in head and neck imaging [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199(5 Suppl): S34–S39.
- [15] PARK J E, LEE J H, RYU K H, et al. Improved diagnostic accuracy using arterial phase CT for lateral cervical lymph node metastasis from papillary thyroid cancer [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(4): 782–788.
- [16] REMY-JARDIN M, FAIVRE J B, PONTANA F, et al. Thoracic applications of dual energy [J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2014, 35(1): 64–73.
- [17] KANG M J, PARK C M, LEE C H, et al. Dual-energy CT: clinical applications in various pulmonary diseases [J]. *Radiographics*, 2010, 30(3): 685–698.

(收稿日期: 2018-05-20 修回日期: 2018-07-12)