

## 双能 CT 在喉鳞状细胞癌诊疗中的运用

沈文浩, 陈曦

南京医科大学附属第一临床医学院, 江苏 南京 210029

**摘要:** 喉鳞状细胞癌是喉恶性肿瘤中最常见的病理类型, 早期诊断困难, 整体预后较差。双能 CT 是近年来备受关注的 CT 成像的更先进的形式, 其利用两个能量 X 射线对组织进行成像, 结合不同能谱下组织的衰减信息, 实现对物质的区分, 在喉鳞状细胞癌的诊断、分期、疗效及预后预测等方面均展现出一定潜力。现总结双能 CT 在喉鳞状细胞癌诊疗中的研究进展。

**关键词:** 喉鳞状细胞癌; 双能 CT; 虚拟平扫图像; 虚拟单能级图像; 碘浓度图像

中图分类号: R739.65; R816.96

文献标志码: A

文章编号: 1673-3770(2025)05-0156-05

**引用格式:** 沈文浩, 陈曦. 双能 CT 在喉鳞状细胞癌诊疗中的运用[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2025, 39(5): 156-160. SHEN Wenhao, CHEN Xi. Application of dual-energy CT in the laryngeal squamous cell carcinoma[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2025, 39(5): 156-160.

### Application of dual-energy CT in the laryngeal squamous cell carcinoma

SHEN Wenhao, CHEN Xi

The First Clinical Medical College of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China

**Abstract:** Laryngeal squamous cell carcinoma is the most common pathologic type of laryngeal malignancy, with difficulty in early diagnosis and overall poor prognosis. Dual-energy CT, a more advanced form of CT imaging that has received significant attention in recent years, uses two different X-ray energies to image tissues. By combining attenuation information from tissues at different energy spectra, dual-energy CT can differentiate various materials. Dual-energy CT has shown considerable potential in diagnosing, staging, assessing the efficacy of treatment, and predicting the prognosis of laryngeal squamous cell carcinoma. The purpose of this paper is to summarize the progress of research on the use of dual-energy CT in diagnosing and treating laryngeal squamous cell carcinoma.

**Key words:** Laryngeal squamous cell carcinoma; Dual-energy CT; Virtual non-contrast imaging; Virtual monoenergetic imaging; Iodine concentration

喉鳞状细胞癌 (Laryngeal squamous cell carcinoma, LSCC) 是喉恶性肿瘤中最常见的病理类型, 约占喉癌的 90%<sup>[1]</sup>。除吸烟及饮酒等主要的危险因素, 声带白斑、乳头瘤等癌前病变同样也是肿瘤发生的危险因素<sup>[2]</sup>。5 年生存率仅为 60%, 超过 50% 的患者在就诊时已经处于疾病晚期<sup>[3]</sup>。由于其位置的特殊性, 根治性手术及同步放化疗等手段往往极大地影响患者的呼吸、吞咽、言语等功能。因此, 针对患者制定个体化的诊治策略极其重要。传统的单能量 CT (single-energy computed tomography, SECT) 基于不同组织在单能量 X 射线下的衰减系数, 产生具有对比度差异的形态学特征图像。由于质量及密度相似, 不同的物质 (如碘和钙) 在单能 X 射线衰减测量中无法区分, 进而影响 SECT 对不同病变的鉴别<sup>[4]</sup>。双能 CT (dual-energy CT, DECT)

是近年来备受关注的 CT 成像的更先进的形式。其利用两个能量 X 射线对组织进行成像, 结合不同能谱下组织的衰减信息, 实现对物质的区分, 为临床医生提供包括虚拟平扫图像 (virtual non-contrast imaging, VNC)、虚拟单能级图像 (virtual monoenergetic imaging, VMI)、碘浓度图像 (iodine concentration, IC) 等特异性数据集, 更全面的量化病变形态学及功能学等信息<sup>[5-6]</sup>。目前, 双能 CT 已逐步运用于喉鳞状细胞癌的诊断、分期、疗效及预后等方面。本研究将简述双能 CT 常用的能谱成像技术, 并概述其在喉鳞状细胞癌中的应用。

### 1 DECT 常用的能谱图像

双能 CT 其运用不同物质在两种能量 X 射线下不同的衰减特性进行成像。在后处理后, 能以物质

密度分布及虚拟单能量图像的形式生成组织特定信息(图 1)。

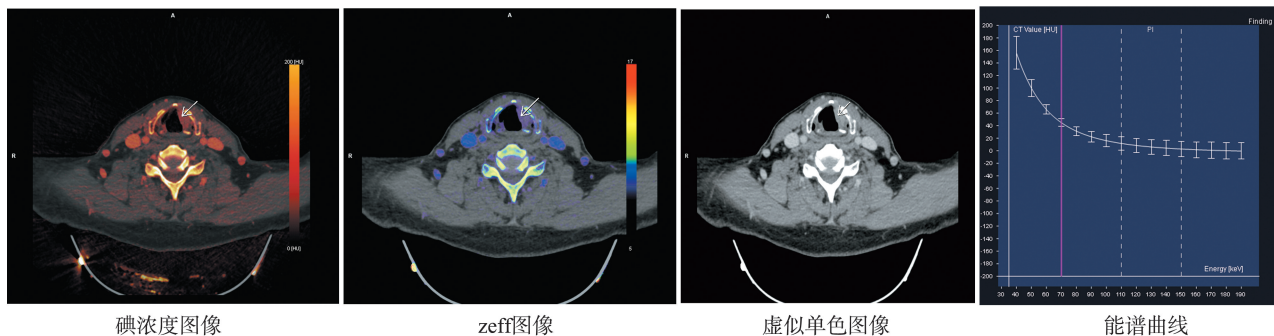


图 1 双能 CT 后处理能量图谱示例  
Figure 1 Example of dual-energy CT post-processing energy mapping

### 1.1 DECT 设备特点

目前,基于放射源技术的不同,可将常用 DECT 设备分为双源、瞬时 kV 切换、双旋转及双光束等,根据探测器的不同可分为双层探测器及光子技术系统等<sup>[4,7]</sup>。

### 1.2 DECT 常用能谱图像

**碘浓度图像:**通过检测和量化组织中碘浓度反映其摄碘能力,更直观的显示组织或病变的强化情况。在碘浓度图中,可通过勾画感兴趣区域(region of interest, ROI)定量测量碘浓度(iodine concentration, IC)。在实际运用中,标准化碘浓度(normalized iodine concentration, nIC)更为常用,其可减少因对比剂用量、流速和个体循环差异带来的影响,更加客观地反映病灶真实血供情况,计算公式为:  $nIC = IC \text{ 感兴趣区} / IC \text{ 参照}$ ,参照可以选用同层颈动脉<sup>[7-9]</sup>。

**虚拟平扫图像:**VNC 图像由抑制增强图像中碘对比剂的密度后获得,研究表明,VNC 图像相比真实平扫图像具有相当的图像质量<sup>[4]</sup>。

**虚拟单能量图像:**VMI 图像模拟了物质在单一能级 X 线下的衰减值的灰度图像<sup>[10]</sup>。

**能谱曲线:**能谱曲线是物质的 CT 值随 X 线能量变化而变化的曲线,代表组织 CT 值随 X 线能量变化的规律,不同组织间能谱曲线斜率( $\lambda HU$ )各异,有助于疾病的诊断、病理分型的判定<sup>[6]</sup>。

**有效原子序数图(Zeff 图):**Zeff 图表示混合物的各元素的复合原子序数,可用以分析感兴趣区域的物质成分<sup>[11]</sup>。

## 2 DECT 在喉鳞状细胞癌中的应用

### 2.1 DECT 在喉癌诊断及鉴别诊断中的运用

近年来,多项基于 DECT 的研究进一步提升了 LSCC 病灶的检测灵敏度与特异度。Wang 等<sup>[12]</sup>的

研究发现,来自于 DECT 的多个参数中,早期声门型喉鳞状细胞癌的 IC、NIC、Zeff、40~100 keV 斜率等值均显著高于喉慢性炎症及喉白斑。而传统 120-180 keV 单能量 CT 在区分这些病变方面没有明显差异。

Sananmuang 等<sup>[13]</sup>的研究发现以低能量(<70 keV)重建的 VMI 提高包括喉鳞状细胞癌在内的头颈部鳞状细胞癌的区别度。在结合减少金属伪影的重建算法时,在高能量下重建的 VMI 可有效减少颈部内外各种金属植入物和牙科材料造成的伪影<sup>[10]</sup>。这些优点,使得 DECT 在早期 LSCC 的形态学与功能学诊断中具有不可替代的优势。

### 2.2 DECT 评估喉鳞状细胞癌的病理分级

喉鳞状细胞癌的分化程度是影响患者预后的独立危险因素,通常低分化的患者,其复发率及转移率均高于高分化的患者<sup>[14-15]</sup>。因此,综合评价 HNSCC 的分化程度具有重要意义。

术前鉴别 HNSCC 分化程度的标准办法是活检<sup>[16]</sup>,然而由于活检部位及活检组织大小的偏差,其在准确鉴别分化程度上存在一定局限性。无论病理分级如何,LSCC 在传统单能量 CT 的特征都可能表现为密度不均、边缘不清、邻近结构浸润以及高、中或低度强化。Shen 等<sup>[17]</sup>探索头颈部鳞状细胞癌无创鉴别诊断方式,作者证明了 nIC、 $\lambda HU$ 、Zeff 对头颈部鳞状细胞癌病理分级的预测价值,并提出,在 40eV 能级下重建 VMI 图像效果最佳。这为 DECT 定量指标评估喉鳞状细胞癌病理分级提供了思路,Geng 等<sup>[18]</sup>在 DECT 能谱图像中勾画 ROC 进行定量测量,以寻找肿瘤分级、分期等病理学预后因素与 DECT 定量指标之间的相关性,结果表明,在动脉期碘浓度图像中获得的碘浓度及标准化碘浓度,其高值与喉鳞状细胞癌的中低分化显著相关。冯瑶杰等<sup>[19]</sup>在另一项对 92 例喉鳞状细胞癌患者的回顾性

研究中,发现动、静脉期 IC、NIC、Overlay 值(碘图 CT 值)及  $\lambda$ HU 均与肿瘤分化程度呈负相关,且以动脉期  $\lambda$ HU 鉴别低分化与中、高分化喉鳞癌的效能最高提示相较于传统的单能量 CT,DECT 定量指标提供了术前无创评估 LSCC 的分化程度的可能性,一定程度上减轻患者的损伤。其作用可能是量化组织中碘含量进而反映肿瘤的灌注。然而,目前的研究均聚焦于二维平面肿瘤的勾画,不能反映病灶整体的特性。

### 2.3 DECT 评估喉鳞状细胞癌分期

#### 2.3.1 DECT 有利由于喉鳞状细胞癌 T 分期评估

在喉恶性肿瘤患者中,甲状软骨的侵袭程度是 T3 和 T4a 分期的决定性因素,诊断甲状软骨浸润对制定临床治疗策略至关重要<sup>[20]</sup>。由于正常非骨化软骨的密度与强化的肿瘤组织相近,故常规 CT 对于喉软骨侵犯的鉴别存在一定的难度<sup>[21]</sup>。MRI 由于对比度分辨率更高,在评估声门旁间隙侵犯的方面具有更高的灵敏度,然而在 MRI 中软骨的炎症变化与肿瘤侵袭表现相似,且 MRI 受呼吸运动伪影的影响较大<sup>[22]</sup>。DECT 对于甲状软骨侵犯的评估具有许多优势。双能 CT 碘浓度图像可呈现肿瘤中碘的分布区域进而更清楚地显示肿瘤的边界,更精确地评估术前软骨的侵犯。而低能级能谱曲线斜率可通过增强病灶与背景间的细微衰减差异进一步提高显示肿瘤病灶的能力<sup>[23-26]</sup>。Kuno 等<sup>[27]</sup>对 55 例患者的研究表明,在喉软骨侵犯的诊断中,双能 CT 较 MRI 表现出更高的特异性。瞿姣等<sup>[28]</sup>根据碘浓度图勾画肿瘤边界并计算体积,发现基于碘浓度图像勾画的肿瘤体积是喉癌甲状软骨侵犯的独立危险因素。除了形态学表现,DECT 定量指标对于 LSCC 患者喉软骨侵犯同样具有诊断价值。李淑娟等<sup>[29]</sup>在对 60 例喉癌患者回顾性研究中发现,肿瘤组织、受侵软骨、正常软骨的能谱曲线斜率及碘浓度有统计学差异,肿瘤组织表现出更高的碘浓度及更大的能谱曲线斜率。但目前文献报道 VMI 显示 LSCC 癌灶的最佳期像及能级尚无统一标准,且在对软骨侵犯具体范围及部位的方面,缺少相应的研究报道,仍需进一步的探索。

#### 2.3.2 DECT 评估喉鳞状细胞癌颈部淋巴结转移

颈部淋巴结转移 (lymph nodes metastasis, LNM) 是影响喉鳞状细胞癌患者预后的独立危险因素之一。传统单能量 CT 主要集中于区域淋巴结的大小、形状、钙化、结外侵犯等方面评估 LNM,当淋巴结较小时,这些分析不足以做出诊断。有时,未显示可疑特征的淋巴结实际上却是转移性的<sup>[30]</sup>。通

过结合其他各种成像方法(核磁共振、PET—CT、内窥镜等)进行综合评估是目前最常用的诊断方法,然而,由于这些技术的局限性,患者通常会接受颈部淋巴结清扫术作为预防措施,结果导致患者接受了可能无益的侵入治疗<sup>[31]</sup>。

DECT 在显示淋巴结的形态学特征外,同时提供了多种定量指标,能够为颈部转移性淋巴结的诊断提供更多客观的评价方法。目前,由于喉鳞状细胞癌相对少见以及 DECT 尚未完全普及,在对喉鳞状细胞癌的颈部淋巴结转移的定性研究并不多。基于其他头颈部恶性肿瘤的研究,DECT 在颈部淋巴结转移的诊断中表现出良好的应用前景。Luo 等<sup>[32]</sup>在口腔鳞状细胞癌的颈部淋巴结转移研究中发现,碘浓度、标准化碘浓度、能谱曲线斜率等指标与转移淋巴结的微血管密度存在强相关性,其中,以标准化碘浓度诊断转移性淋巴结的效能最高。瞿姣等<sup>[33]</sup>纳入了 40 例喉癌患者的 90 枚淋巴结进行研究,结果显示,转移性淋巴结在动脉期碘浓度及能谱曲线斜率高于非转移性淋巴结。将动脉期碘浓度阈值设为 1.85 mg/mL 时,诊断喉癌颈部淋巴结转移的灵敏度较高,将能谱曲线斜率的临界值设为 2.15 时,在诊断喉癌颈部淋巴结转移时,表现出较为合适的特异性,碘浓度与能谱曲线斜率二者可相互补充。

### 2.4 DECT 评估疗效及预后

在评估化疗效果方面,对于接受新辅助化疗的下咽癌患者,Wei<sup>[34]</sup>等通过对比 TPF 疗程前后患者 DECT 标准化碘浓度的变化发现,标准化碘浓度的衰减率与病灶最大径的变化率有显著相关性。DECT 可以通过碘浓度图像的变化更直观地反映治疗前后病灶的变化,这与肿瘤灌注的减少相关,在对肿瘤疗效及预后的评估中相对于常规 CT 及 MR 等技术表现出更多的潜力<sup>[35]</sup>。

对于接受保喉手术的 LSCC 患者,局部复发的风险很高,文献报道的复发率在 30% ~ 66% 不等<sup>[36]</sup>。Zhang 等<sup>[37]</sup>在对 212 例接受保喉手术患者的回顾性分析中,探讨由 DECT 获得的定量参数作为辅助预测术后复发因素的可能性。其研究强调,治疗前的高标准化碘浓度是患者无复发生存期的重要预测因素。Bahig 等在一个小样本患者的研究中得到相似的结论,在影响保喉手术和辅助放疗后患者的复发中,治疗前碘浓度值越高,肿瘤复发风险越高<sup>[38]</sup>。

DECT 对于喉鳞状细胞癌的预后研究不仅局限于形态学及定量指标的评估。DECT 所带来的光学分析的优势,为微观层面的探索提供了可能。例如,已有研究表明 Ki-67 的表达与喉恶性肿瘤患者的生

存及预后相关, Ki-67 表达越高, LSCC 患者的生存期越短, 预后越差<sup>[39]</sup>。Wang 等<sup>[40]</sup>探索了术前 DECT 是否能为肿瘤 Ki-67 表达的提供预测, 他们在对 88 例患者的回顾性研究中显示, DECT 的定量指标 IC、NIC、Zeff、40-80eV 能级 VMI 的衰减值以及 λHU 都能预测肿瘤 Ki-67 的表达, 所有参数在高 Ki-67 表达的 LSCC 患者中都明显高于低 Ki-67 表达的患者, 因此这些参数有可能成为 LSCC 存活率和预后的预测指标。

然而目前 DECT 评估患者疗效及预后的研究仍较少, 在对具体术式治疗效果的评估及针对不同放化疗方案的效果评估方面有所缺失, 未来可结合 DECT 其他定量参数进行进一步的探索。

### 3 小结及展望

DECT 在喉鳞状细胞癌的分化、分期、淋巴结转移、疗效及预后评估等方面均已取得一定进展, 为肿瘤的精准诊断和危险分层提供了新思路, 但目前多为小样本、回顾性研究, 由于不同医疗中心扫描方案、对比剂剂量、扫描时相等差异, 不同研究得到的 IC、nIC 等阈值差异较大。目前尚无统一的最佳诊断期相及参数, 未来有待大样本、前瞻性研究反复验证并筛选出最可靠的预测指标。未来有望结合影像组学、人工智能等新技术, 为喉鳞状细胞癌的个体化精准医疗添砖加瓦。

### 参考文献:

[1] 陈曦, 陆兆屹. 早期声门型喉癌的治疗进展[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2024, 30(3): 1-8. doi: 10.11798/j.issn.1007-1520.202424042  
CHEN Xi, LU Zhaoyi. Progress in the treatment of early glottic cancer[J]. Chinese Journal of Otorhinolaryngology-Skull Base Surgery, 2024, 30(3): 1-8. doi:10.11798/j.issn.1007-1520.202424042

[2] Cavaliere M, Bisogno A, Scarpa A, et al. Biomarkers of laryngeal squamous cell carcinoma: a review[J]. Ann Diagn Pathol, 2021, 54: 151787. doi:10.1016/j.anndiag-path.2021.151787

[3] 冯剑, 周涵, 董伟达. 喉癌内镜诊断技术研究进展[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2019, 33(3): 129-133. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.1.2019.025  
FENG Jian, ZHOU Han, DONG Weida. Advances in endoscopic diagnosis of laryngeal cancer[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2019, 33(3): 129-133. doi:10.6040/j.issn.1673-3770.1.2019.025

[4] Chung R, Dane B, Yeh BM, et al. Dual-energy computed tomography: technological considerations[J]. Radiol

Clin North Am, 2023, 61(6): 945-961. doi:10.1016/j.rcl.2023.05.002

[5] 任小芳, 李倩, 宋祖华, 等. 双能 CT 在甲状腺癌的研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(3): 483-486. doi:10.13437/j.cnki.jcr.2024.03.030

[6] 温又佳, 李倩, 宋祖华, 等. 双能 CT 在胰腺癌中的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2023, 46(4): 453-456. doi:10.19300/j.2023.z20361  
WEN Youjia, LI Qian, SONG Zuhua, et al. Progress of dual-energy CT in imaging of pancreatic cancer[J]. International Journal of Medical Radiology, 2023, 46(4): 453-456. doi:10.19300/j.2023.z20361

[7] 施晓雷, 樊荣荣, 涂文婷, 等. 双能 CT 在胃肠道肿瘤中的研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(8): 1419-1422. doi:10.13437/j.cnki.jcr.2024.08.032

[8] Wang G, Fang Y, Wang Z, et al. Quantitative assessment of radiologically indeterminate local colonic wall thickening on iodine density images using dual-layer spectral detector CT[J]. Acad Radiol, 2021, 28(10): 1368-1374. doi:10.1016/j.acra.2020.06.012

[9] Martin SS, Trapp F, Wichmann JL, et al. Dual-energy CT in early acute pancreatitis: improved detection using iodine quantification[J]. Eur Radiol, 2019, 29(5): 2226-2232. doi:10.1007/s00330-018-5844-x

[10] Laukamp KR, Große Hokamp N, Alabar O, et al. Metal artifacts from sternal wires: evaluation of virtual monoenergetic images from spectral-detector CT for artifact reduction[J]. Clin Imaging, 2020, 60(2): 249-256. doi:10.1016/j.clinimag.2019.12.018

[11] Liu TY, Hong GB, Cai WL. A comparative study of effective atomic number calculations for dual-energy CT[J]. Med Phys, 2021, 48(10): 5908-5923. doi:10.1002/mp.15166

[12] Wang P, Tang Z, Xiao Z, et al. Dual-energy CT for differentiating early glottic squamous cell carcinoma from chronic inflammation and leucoplakia of vocal cord: comparison with simulated conventional 120 kVp CT[J]. Clin Radiol, 2021, 76(3): 238.e17-238.e24. doi:10.1016/j.crad.2020.11.118

[13] Sananmuang T, Agarwal M, Maleki F, et al. Dual energy computed tomography in head and neck imaging: pushing the envelope[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2020, 30(3): 311-323. doi:10.1016/j.nic.2020.04.003

[14] Zaroni DK, Patel SG, Shah JP. Changes in the 8th edition of the American joint committee on cancer (AJCC) staging of head and neck cancer: rationale and implications[J]. Curr Oncol Rep, 2019, 21(6): 52. doi:10.1007/s11912-019-0799-x

[15] Anderson EM, Luu M, Balzer BL, et al. Variations in the association of grade with survival across the head and neck cancer landscape[J]. Head Neck, 2021, 43(4): 1105-1115. doi:10.1002/hed.26566

- [16] 申宇鹏, 宋琦, 李晓明. 喉癌前病变的病因、分子机制和处理策略[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2019, 33(4): 25-30. doi:10.6040/j.issn.1673.3770.1.2019.029  
 SHEN Yupeng, SONG Qi, LI Xiaoming. Etiology, molecular mechanisms, and treatment strategies of precancerous laryngeal lesions[J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2019, 33(4): 25-30. doi:10.6040/j.issn.1673.3770.1.2019.029
- [17] Shen H, Huang Y, Yuan X, et al. Using quantitative parameters derived from pretreatment dual-energy computed tomography to predict histopathologic features in head and neck squamous cell carcinoma[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2022, 12(2): 1243-1256. doi:10.21037/qims-21-650
- [18] Geng D, Chen X, Zhao XG, et al. Laryngeal and hypopharyngeal squamous cell carcinoma: association between quantitative parameters derived from dual-energy CT and histopathological prognostic factors[J]. *Acta Radiol*, 2023, 64(7): 2268-2276. doi: 10.1177/02841851221095237
- [19] 冯瑶杰, 吕艳娥, 瞿姣, 等. 双能 CT 评估喉部鳞癌分化程度[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(7): 1002-1006. doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.07.009  
 FENG Yaojie, LYU Yan'e, QU Jiao, et al. Dual-energy CT for evaluation on differentiation degrees of laryngeal squamous cell carcinoma[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2021, 37(7): 1002-1006. doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.07.009
- [20] Glastonbury CM. Head and neck squamous cell cancer: approach to staging and surveillance[M]//*Diseases of the Brain, Head and Neck, Spine 2020–2023*. Cham: Springer International Publishing, 2020: 215-222. doi: 10.1007/978-3-030-38490-6\_17
- [21] Park CJ, Kim JH, Ahn SS, et al. Preoperative MRI evaluation of thyroid cartilage invasion in patients with laryngohypopharyngeal cancer: comparison of contrast-enhanced 2D spin-echo and 3D T1-weighted radial gradient recalled-echo techniques[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(9): 1690-1694. doi: 10.3174/ajnr.a7213
- [22] Qi M, Sha Y, Zhang D, et al. An MRI-based radiomics nomogram for detecting cervical esophagus invasion in hypopharyngeal squamous cell carcinoma[J]. *Cancer Imaging*, 2023, 23(1): 120. doi:10.1186/s40644-023-00642-y
- [23] Zheng T, Xiao Y, Yang F, et al. The value of dual-layer spectral detector CT in preoperative T staging of laryngeal and hypopharyngeal squamous cell carcinoma[J]. *Eur J Radiol*, 2024, 171: 111287. doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111287
- [24] Zopfs D, Lennartz S, Große Hokamp N, et al. Head and neck squamous cell carcinoma: evaluation of iodine overlay maps and low-energy virtual mono-energetic images acquired with spectral detector CT[J]. *Clin Radiol*, 2022, 77(6): 425-433. doi:10.1016/j.crad.2022.02.013
- [25] He C, Liu J, Hu S, et al. Improvement of image quality of laryngeal squamous cell carcinoma using noise-optimized virtual monoenergetic image and nonlinear blending image algorithms in dual-energy computed tomography[J]. *Head Neck*, 2021, 43(10): 3125-3131. doi:10.1002/hed.26812
- [26] 朱晓明, 郭冉, 刘云福, 等. 双能 CT 碘图术前评估喉癌及下咽癌 T 分期[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(8): 1173-1176. doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2020.08.012  
 ZHU Xiaoming, GUO Ran, LIU Yunfu, et al. Evaluation of T staging of laryngeal and hypopharyngeal neoplasms with dual-energy CT iodine images[J]. *Chinese Journal of Medical Imaging Technology*, 2020, 36(8): 1173-1176. doi:10.13929/j.issn.1003-3289.2020.08.012
- [27] Kuno H, Sakamaki K, Fujii S, et al. Comparison of MR imaging and dual-energy CT for the evaluation of cartilage invasion by laryngeal and hypopharyngeal squamous cell carcinoma[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2018, 39(3): 524-531. doi:10.3174/ajnr.a5530
- [28] 瞿姣, 冯瑶杰, 赵卫, 等. 喉癌甲状软骨侵犯危险因素及基于双能 CT 碘图喉癌体积分断甲状软骨侵犯[J]. 中国介入影像与治疗学, 2020, 17(11): 650-654. doi: 10.13929/j.issn.1672-8475.2020.11.003  
 QU Jiao, FENG Yaojie, ZHAO Wei, et al. Analysis of risk factors for thyroid cartilage invasion in laryngeal carcinoma and the value of tumor volume based on DECT derived iodine overlay image in diagnosing thyroid cartilage invasion[J]. *Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy*, 2020, 17(11): 650-654. doi: 10.13929/j.issn.1672-8475.2020.11.003
- [29] 李淑娟, 韩丹, 鲁仁财, 等. 双能量 CT 评估喉癌喉软骨侵犯的临床价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2018, 29(2): 87-91.  
 LI Shujuan, HAN Dan, LU Ren-cai, et al. The clinical value of dual-energy CT at evaluation of laryngeal cartilage invasion in laryngeal carcinoma[J]. *Journal of China Clinic Medical Imaging*, 2018, 29(2): 87-91.
- [30] Wu YY, Wei C, Wang CB, et al. Preoperative prediction of cervical nodal metastasis in papillary thyroid carcinoma: value of quantitative dual-energy CT parameters and qualitative morphologic features[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2021, 216(5): 1335-1343. doi: 10.2214/ajr.20.23516
- [31] Chien CY, Wang CP, Lee LY, et al. Indications for elective neck dissection in cT1N0M0 oral cavity cancer according to the AJCC eight edition: a nationwide study[J]. *Oral Oncol*, 2023, 140: 106366. doi: 10.1016/j.oraloncology.2023.106366