

双能 CT 在直肠癌的应用进展

范芮, 孙美玉

【摘要】 双能 CT 不仅可以提供组织器官及病变常规解剖结构信息,其后处理获得的虚拟平扫、单能量图像、基物质图、能谱曲线及有效原子序数等参数,为肿瘤疾病的诊断提供了新的研究方向。双能 CT 能够提供关于组织成分的定量信息,克服常规 CT 成像的局限性,在优化图像质量的同时,可对疾病进行定性及定量分析,其在直肠癌的诊断和全面评估方面有着巨大的潜力。本文就双能 CT 在直肠癌诊断、定位、术前分期、分级、疗效评估方面的应用进展进行综述。

【关键词】 双能 CT; 直肠癌; 能谱 CT; 定量分析

【中图分类号】 R814.42; R735.37 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)03-0346-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.03.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



影像学检查是评估直肠癌的重要手段,术前可以明确诊断、准确分型、辅助临床制定合适的治疗方案;术后随访中可以长期监测疗效、评估复发风险。直肠癌影像学检查包括超声内镜、MRI、PET/CT、CT 等。其中 MRI 软组织分辨力高,可区分肠壁的各层结构,直肠癌术前 T₁、T₂ 分期准确性高^[1],但其扫描范围小、扫描时间长,易产生伪影。对于体内有金属植入物、患有幽闭恐惧症及无法长时间制动患者检查受限,同时由于腹部小血管断面影响,在排除淋巴结是否有转移时存在一定的假阳性率。双能 CT 不仅可提供组织器官常规解剖结构信息,原始数据经过后处理,还可获得虚拟平扫、单能量、基物质图及线性或非线性融合图像^[2],为肿瘤疾病的诊断提供新的方向。单能量成像可以获得更好的图像质量、信噪比及对比噪声比^[3],碘基物质图通过定量碘浓度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。能谱曲线通过曲线斜率来定量评估人体内不同化学成分的组织^[4]。此外,还可利用有效原子序数进行物质检测及鉴别等^[5]。研究表明^[6-9],目前双能 CT 成像研究主要集中在实质脏器,如肝脏、肾脏、胰腺、甲状腺等,对消化道空腔脏器的研究较少,且主要集中在胃。随着双能 CT 多参数成像在直肠的应用,其在直肠癌检出、分期、分级、疗效评估等方面也体现出巨大的应用潜力,本文将对双能 CT 在直肠癌的应用进展进行综述。

双能 CT 对直肠癌的诊断

在对直肠部位进行检查时,肠腔内附壁的残留物

等可与病变混淆,给诊断带来难度。一般通过使用泻药、钡标记等方法来降低残留物对病变检出的干扰。Boellaard 等^[10]利用双能 CT 对 21 例体弱老年结直肠癌患者进行直肠癌病灶检出研究,发现在无肠道准备情况下,通过分析碘基物质图像及 140 keV 图像,可有效显示出结直肠癌病变,但同时发现在直肠癌检出中,肿瘤容易与肠道内残留物混淆。İlknur 等^[11]在无肠道准备情况下,对 50 例结直肠癌患者通过碘基物质图像及虚拟平扫(virtual non-contrast scanning, VNC)进行分析研究,发现在碘基物质图像上,肿瘤密度均匀,但 14% 得肠道残留物也可表现密度均匀,使两者鉴别困难。同时研究中发现 VNC 图像上肿瘤的大小与碘基物质图像上大小接近,平均密度为 28 HU,而肠壁残留物在 VNC 图像上则显示不清,平均密度为 -135.5 HU,明显低于肿瘤,在 VNC 图像上,以密度值 -1 HU 作为阈值,VNC 图像检测肿瘤的敏感度和特异度均为 100%。İlknur 等^[11]认为肿块与残留物的脂肪含量不同,碘基物质图像可以初步检测出结直肠癌,当残留物脂肪含量很少时,通过 VNC 图像可以更准确检出直肠癌。

王勇等^[12]对 85 例直肠癌患者双能 CT 成像进行图像质量与辐射剂量关系研究,通过动、静脉期 VNC 图像研究,发现动、静脉期 VNC 图像质量高于真实平扫图像,优质图像达 71.8%,并且在保证图像质量的条件下,动、静脉期 VNC 使辐射剂量较常规三期扫描降低约 34.8%。陈吉虎等^[13]对 73 例直肠癌患者双能 CT VNC 进行研究,通过动、静脉期 VNC 图像分析,发现在保证图像质量的同时,直肠癌动、静脉期 VNC 图像的有效辐射剂量较常规 120 keV 扫描时降低约 34.0%。王勇等^[12]和陈吉虎等^[13]的研究得出了相似的结论,即动、静脉期 VNC 在满足对直肠病变显示的

作者单位:116011 辽宁,大连医科大学附属第一医院放射科

作者简介:范芮(1991-),女,辽宁葫芦岛人,硕士研究生,住院医师,主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者:孙美玉, E-mail: sunmy828@126.com

同时,也降低了辐射剂量。但 VNC 图像在降低噪声的同时,对细微结构的显示尚存在不足。

双能 CT 对直肠癌的定位

外科将直肠分为上、中、下段,直肠上中段及下段的手术方式不同,腹膜反折是判定直肠癌病灶位于腹腔内外的重要标志,可以为术前评估提供有效参考,因而对腹膜反折的显示具有重要意义。田士峰等^[14]利用双能 CT 对 105 例直肠癌患者进行腹膜反折图像质量的研究,通过将混合能量和单能量图像对比分析,发现在单能量 50~80 keV 时,图像质量均高于混合能量图像,其中又以 60 keV 最佳,混合能量图像和 60 keV 图像对于腹膜反折位置关系的判断符合率分别为 80.95%、89.52%,分析认为 50~80 keV 单能量图像在兼顾了图像噪声的基础上,与邻近组织的对比度更清晰,可以更好的显示病灶与腹膜反折的关系,具有一定的临床价值。田士峰等^[15]利用双能 CT 最佳单能量成像对 33 例直肠癌患者的 CTA 图像质量进行研究,发现直肠血供复杂,直肠血供主要来源于肠系膜下动脉的直肠上动脉,其次是来源于髂内动脉的直肠下动脉和骶正中动脉^[16],直肠下动脉主要供应直肠下段。由于腹腔镜手术与传统手术 5 年生存率及复发率相近并且具有创伤小、恢复快等诸多优点,在直肠癌手术中应用越来越广泛,而准确把握直肠癌血供情况,为腹腔镜手术安全提供了保障。CTA 是一种无创性血管造影,可以提供肿瘤供血动脉的走行及分支等信息。混合能量 CTA 图像因血管壁钙化及血栓形成等因素影响,对管径较小的直肠动脉细小分支显示不佳,而 51~61 keV 单能量成像为显示直肠供血动脉的最佳单能量图像,直肠癌细小动脉可以更好显示,与周围组织的对比度也明显增高,进而可更好地观察直肠癌的供血情况。

双能 CT 对直肠癌的分期

美国国立综合癌症网(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)肿瘤学临床实践指南^[17]指出 TNM 分期对于直肠癌治疗方式的选择尤为重要。指南中指出直肠癌达到 T3~T4 期或出现区域淋巴结转移时均应在术前进行新辅助放化疗,而 T1~T2 期可直接进行手术治疗,由此可见区别 T2 和 T3 期尤为重要。由于浆膜层及外膜是否受侵是 T2、T3 分期的关键,常规 CT 检查如发现肠周脂肪间隙模糊、肠壁外缘不规整认为其受侵犯^[18],但炎症也可表现相应征象,导致过度分期。双能 CT 的多参数成像为其在 TNM 分期中的应用提供了更多依据。由于胃肠道的清洁及扩张状况对病灶的显示有重要作用,等渗甘露

醇不易吸收并可减少肠道充盈所需时间,是一种介于高低浓度对比剂之间的溶液,可良好显示肠壁。王传彬等^[19]通过等渗甘露醇胃肠道低张造影结合双能 CT 成像,对 90 例直肠癌患者进行术前 T 分期研究,对直肠癌对比噪声比最佳的 65 keV 单能量图像进行分析,发现其对直肠癌 T 分期的符合率达 83.0%,其中 T1~T2、T3、T4 期的符合率分别为 91.1%、83.3%、92.2%。由于双能 CT 单能量图像增加了病变与周围软组织的对比度,有助于观察浆膜面是否受侵犯,可以增加分期准确性。双能 CT 成像结合等渗甘露醇胃肠道低张造影对于临床诊断肠癌术前 T 分期是值得推荐的一种方式。

直肠癌转移性淋巴结的检测对于分期、治疗、预后和局部复发率有显著影响。良、恶性淋巴结微循环之间的差异主要表现为微血管的流动特征。Al-Najami 等^[20-21]搜集 17 位直肠癌患者的 197 个淋巴结,并对淋巴结进行体外双能 CT 扫描,研究发现碘基物质浓度、能谱曲线斜率、双能量指数(dual energy index, DEI)及有效原子序数(Z 值)与直肠癌 N 分期有关。研究发现恶性淋巴结的碘浓度、能谱曲线斜率、DEI、Z 值均高于良性淋巴结,当碘基物质浓度的阈值为 2.58 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时,其检测恶性淋巴结的敏感度为 86%、特异度为 92%、符合率为 89%;能谱曲线斜率阈值为 1.0×10^{-4} 时,其检测恶性淋巴结的敏感度为 96%、特异度为 87%、符合率为 90%。DEI 为测量 80 keV 和 140 keV 的 CT 值并计算得出 $\text{DEI} = (\text{HU}_{80} - \text{HU}_{140}) / (\text{HU}_{80} + \text{HU}_{140} + 2000)$ 。DEI 的阈值为 0.03 时,其检测恶性淋巴结的敏感度为 97%、特异度为 88%、符合率为 91%。Z 值的阈值为 7.58 时,其检测恶性淋巴结的敏感度为 100%、特异度为 90%、符合率为 93%。由此可见 Z 值的诊断符合率更高。Al-Najami 等^[21]还将双能 CT 与 MRI 对良恶性淋巴结诊断的准确性做了对比研究,结果表明双能 CT 虽然在 N 分期中不优于 MRI,但当针对不同的 N 等级时,双能 CT 对 N1 分期的准确性优于 MRI。王传彬等^[19]、刘金刚等^[22]和庞丽芳等^[23]利用双能 CT 研究发现不同肿瘤的转移性淋巴结的能谱曲线是不同的。当直肠癌淋巴结转移时,肿瘤细胞穿过淋巴管壁,随淋巴液被带到汇流区淋巴结,并且以此为中心生长出同样肿瘤,因转移性淋巴结与原发病灶具有同源性,所以其能谱曲线也具有相似性,能谱曲线在一定程度上可以从物质角度区分不同原因引起的淋巴结肿大。Al-Najami 等^[21]的研究还发现在转移性淋巴结中能谱曲线为上升陡峭型,而良性淋巴结能谱曲线表现为上升但不陡峭的形态。杨雪君等^[24]和张帆等^[25]研究表明炎症反应性增生淋巴结内的碘基物质浓度明显高于结直肠癌

转移性淋巴结,原因可能由于转移性淋巴结周围常形成血管,中心区血供少而坏死成分多使其碘浓度低于炎性增生性淋巴结^[26],也可能与转移性淋巴结微血管密度低于炎性增生性淋巴结有关。综上所述,双能 CT 中的部分参数,如碘基物质浓度、能谱曲线斜率、DEI 及 Z 值在转移性淋巴结均高于良性淋巴结,但碘浓度会受到淋巴结中坏死成分影响。能谱曲线可有效地对淋巴结进行同源分析,从而区别出转移性与良性淋巴结。

双能 CT 对直肠癌的分级定量评估

肿瘤级别越高,肿瘤细胞分化越差,预后越差,这也意味肿瘤更容易发生转移和更高的复发率^[27]。根据第四版世界卫生组织消化系统肿瘤分类^[28],腺癌主要根据腺体外观的程度进行分级,分为高分化、中分化、低分化三种类型。Gong 等^[29]、王传彬等^[30]及吉六舟等^[31]对直肠癌患者的研究表明未分化及低分化腺癌动、静脉期碘浓度、NIC、能谱曲线斜率均高于高、中分化腺癌,由于癌细胞将某些细胞信号通路激活从而触发了病理性血管生成,使得癌组织具有更大的血管活性,而双能 CT 中碘基物质浓度可以反映血管密度、肿瘤活性和侵袭性,从而可看出碘浓度越高,表明血管密度越大、血管活性越高、侵袭性越高。血管活性越高表明肿瘤恶性越高,分化程度越低,即碘浓度越高,分化程度越低,而双能 CT 碘基物质图可以敏感地检测到碘浓度的显著差异。同时,肿瘤的分化越差,瘤血管内皮细胞越不完整,血管通透性越高,故增强扫描后肿瘤血管对渗透表面积及血容量的调节能力差,出现造对比剂游离于肿瘤血管外间隙,所以碘浓度升高^[32]。石义志等^[33]对 45 例结直肠癌管状腺癌患者进行分化程度的研究发现中分化腺癌动脉期碘浓度、NIC、有效 Z 值、能谱曲线斜率绝对值均高于低分化腺癌,其结论与 Gong 等^[29]学者研究结果不一致,还需要进一步研究其原因。能谱 CT 对直肠癌新辅助治疗的疗效评估。

新辅助化放疗用于直肠癌术后患者,具有控制局部复发的作用,用于术前患者可改变其分期进而可进行根治手术。迄今,有关双能 CT 在直肠癌新辅助化放疗疗效评价的文献报道尚少。Al-Najami 等^[35]对 11 例直肠癌患者进行新辅助化疗后肿瘤消散情况进行研究,通过对比患者治疗前与新辅助治疗后 12 小时的双能 CT 成像,发现治疗后肿瘤区 Z 值、碘浓度、能谱曲线斜率和 DEI 较治疗前均有降低,原因可能示新辅助化放疗后对肿瘤细胞及血管内皮细胞造成了破坏,使其发生坏死、间质炎症、纤维化等改变,引起肿瘤血管数量减少,血管密度减低,摄碘能力减低,从而碘

浓度降低。双能 CT 各参数对于新辅助化疗的疗效评估均有价值,但 Z 值可以更好体现在经过新辅助化疗之后肿瘤是否完全消失。

综上所述,双能 CT 在直肠癌的应用越来越广泛,在直肠癌的诊断、定位、分期、分级、疗效评估方面均有应用,其中动、静脉期 VNC 图像提高图像质量的同时能更好的将直肠癌从肠道残留物中检出,提高了直肠癌的诊断符合率。单能量图像对于直肠癌细小动脉及腹膜反折的显示高于混合能量,提供了更多有意义的定位信息。碘基物质图像中静脉期碘浓度、NIC、有效 Z 值及能谱曲线在病理生理学方面提供了更加丰富、准确的信息,提高了直肠癌的诊断符合率。随着影像技术的发展,对双能 CT 的不断研究及探索,双能 CT 多参数成像将在更多方面为直肠癌的诊断和治疗等提供依据。

参考文献:

- [1] 王亚宁,时高峰,杜煜.比较 MSCT 与 MRI 在结直肠癌术前分期诊断中的价值[J].中国医学影像技术,2011,27(4):772-775.
- [2] 赵常红,刘挨师,郝粉娥.双能 CT 碘图腹部临床应用及进展[J].放射学实践,2018,33(1):88-91.
- [3] 沈云.宝石 CT 能谱成像原理及其扫描射线剂量[J].中国医疗设备,2012,27(9):13-16.
- [4] 佟晶,李松柏.甲状腺结节的能谱 CT 研究[J].放射学实践,2015,30(6):694-695.
- [5] 韩文艳.CT 能谱成像的基本原理与临床应用优势[J].中国医疗设备,2015,30(12):90-91.
- [6] 倪鸣飞,王丽君,董越,等.能谱 CT 成像鉴别诊断良恶性甲状腺结节[J].中国医学影像技术,2012,28(9):1642-1645.
- [7] 吕培杰.CT 能谱成像在小肝癌检测中的应用价值[J].放射学实践,2011,26(3):321-324.
- [8] 陈丽红,薛蕴菁,段青,等.CT 能谱成像定量评估胃癌分化程度[J].中国医学影像技术,2013,29(2):225-229.
- [9] McCollough CH, Leng S, Yu L, et al. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and Clinical applications[J]. Radiology, 2015, 276(3): 637-653.
- [10] Boellaard TN, Henneman OD, Streekstra GJ, et al. The feasibility of colorectal cancer detection using dual-energy computed tomography with iodine mapping[J]. Clin Radiol, 2013, 68(8): 799-806.
- [11] Özdeniz İ, İdilman İS, Köklü S, et al. Dual-energy CT characteristics of colon and rectal cancer allows differentiation from stool by dual-source CT[J]. Diagn Interv Radiol, 2017, 23(4): 251-256.
- [12] 王勇,雷静,韩丹,等.双源 CT 双能量虚拟平扫在结直肠病变的应用[J].中国医学影像学杂志,2014,22(10):768-771.
- [13] 陈吉虎,武志峰,鄂林宁,等.双源 CT 双能量成像判断结肠癌浆膜受侵的价值[J].中国临床医学影像杂志,2016,27(10):725-728.
- [14] 田士峰,刘爱连,汪禾青,等.单源双能 CT 单能量图像显示直肠癌腹膜返折的价值[J].中国临床医学影像杂志,2016,27(9): 644-648.
- [15] 田士峰,刘爱连,陈安良,等.单源双能 CT 最佳单能量成像技术

在检查直肠癌供血动脉中的应用价值[J]. 中华消化外科杂志, 2015,14(9):741-745.

[16] 汪庆明,傅传刚,孟荣贵,等. 直肠下动脉与直肠系膜关系的解剖学观察[J]. 中国实用外科杂志,2011,31(1):72-75.

[17] 邵仟仟,林国乐. 2017. V1 版《NCCN 结直肠癌诊治指南》更新解读[J]. 中国全科医学,2017,20(6):635-638.

[18] 欧阳芬,朱新进,廖秋玲,等. 影像学技术在结直肠癌诊断及术分期中的研究进展[J]. 实用医学杂志,2016,32(14):2412-2414.

[19] 王传彬,程涛. 能谱 CT 等渗甘露醇胃肠低张造影诊断直肠癌分期[J]. 中国医学影像学杂志,2015,23(11):839-843.

[20] Al-Najami I,Beets-Tan RG,Madsen G,et al. Dual-energy CT of rectal cancer specimens: a CT-based method for mesorectal lymph node characterization[J]. Dis Colon Rectum,2016,59(7):640-647.

[21] Al-Najami I,Lahaye MJ,Beets-Tan RGH,et al. Dual-energy CT can detect malignant lymph nodes in rectal cancer[J]. Eur J Radiol,2017,90:81-88.

[22] 刘金刚,刘亚,李丽新,等. CT 能谱成像在诊断肿瘤淋巴结转移和肿瘤性质中的作用[J]. 中华放射学杂志,2011,45(8):731-735.

[23] 庞丽芳,张欢,宋立涛,等. 宝石 CT 能谱成像在胃癌诊断中的初步应用研究[J]. 外科理论与实践,2011,16(3):244-247.

[24] 杨雪君,赵卫,郑凌琳,等. 双能量 CT 对结直肠癌区域淋巴结性质判定的临床研究[J]. 放射学实践,2016,31(10):957-960.

[25] 张帆,张隐笛,郑冬,等. 双源 CT 鉴别诊断炎症性肠病反应性增生淋巴结与结直肠癌转移性淋巴结[J]. 中国医学影像学杂志,2017,25(9):662-665.

[26] 邵琦,陈丽羽,周玲燕,等. 颈部转移性淋巴结超声造影时间-强度曲线分析[J]. 肿瘤学杂志,2016,22(1):33-38.

[27] Diculescu M,Iacob R,Iacob S,et al. The importance of histopathological and clinical variables in predicting the evolution of colon cancer[J]. Rom J Gastroenterol,2002,11(3):183-189.

[28] Stewart GJ. World health classification of tumours pathology and genetics:tumours of the digestive system[J]. Lancet Oncology, 2001,2(7):454-455.

[29] Gong HX,Zhang KB,Wu LM,et al. Dual energy spectral CT imaging for colorectal cancer grading:a preliminary study[J]. PLoS One,2016,11(2):e0147756.

[30] 王传彬,韦树华,张萍,等. 能谱 CT 术前定量评估直肠腺癌分化程度的应用价值[J]. 实用放射学杂志,2017,33(3):451-454.

[31] 吉六舟,孙国运,李红英,等. 不同能谱 CT 特征参数评估直肠腺癌分化程度的价值评价[J]. 中国医学装备,2018(5):40-44.

[32] Iannaccone R,Laghi A,Passariello R. Multislice CT angiography of mesenteric vessels[J]. Abdom Imaging,2004,29(2):146-152.

[33] 石义志,杨明慧,邱晓明,等. 宝石能谱 CT 成像对结直肠管状腺癌分化程度评估的应用价值[J]. 临床放射学杂志,2017,36(9):1283-1287.

[34] Huang MT,Chen ZX,Wei B,et al. Preoperative growth inhibition of human gastric adenocarcinoma treated with a combination of celecoxib and octreotide[J]. Acta Pharmacol Sin, 2007, 28(11):1842-1850.

[35] Al-Najami I,Drue HC,Steele R,et al. Dual energy CT-a possible new method to assess regression of rectal cancers after neoadjuvant treatment[J]. J Surg Oncol,2017,116(8):984-988.

(收稿日期:2018-03-23 修回日期:2018-07-31)

下期要目

体表少见软组织良性肿块样病变的 CT 和 MRI 诊断	磁共振动态增强联合扩散加权成像对乳腺良恶性病变的
IVIM-DWI 在女性附件病变中的应用价值研究	诊断价值
木村病 MRI 征象分析	冠状动脉 CTA 个体化对比剂注射方案实现图像质量
儿童髂骨病变的影像学分析	均一化的可行性研究
原发性胸膜-肺滑膜肉瘤的 CT 表现	原发性三叉神经痛患者三叉神经微观结构改变与神经脑桥
高度近视静息态脑功能网络的拓扑结构改变研究	夹角相关性研究
偏头痛与 MRI 脑小血管病总负荷的相关性研究	冻结步态帕金森病患者脑部结构 fMRI:基于体素的
	形态学分析