

薛婷, 冯峰. 结直肠癌能谱 CT 的研究进展[J]. CT 理论与应用研究, 2020, 29(6): 751-758. DOI:10.15953/j.1004-4140.2020.29.06.14.
XUE T, FENG F. Research progress of energy spectrum CT of colorectal cancer[J]. CT Theory and Applications, 2020, 29(6): 751-758. DOI:10.15953/j.1004-4140.2020.29.06.14. (in Chinese).

结直肠癌能谱 CT 的研究进展

薛婷, 冯峰✉

(南通大学附属肿瘤医院影像科, 江苏 南通 226361)

摘要: 结直肠癌是最常见的消化道恶性肿瘤之一, 早期诊断至关重要, 双源能谱 CT 利用材料表征和材料分解从周围环境中描绘病变并区分其良恶性, 有望弥补常规影像技术的缺陷, 进一步提高结直肠癌的检测能力和诊断精度。本文就双源能谱 CT 在结直肠癌领域的研究进展进行综述。

关键词: 结直肠癌; 能谱 CT; 临床应用

DOI:10.15953/j.1004-4140.2020.29.06.14 中图分类号: R 814.42 文献标志码: A

结直肠癌作为一种常见的消化道恶性肿瘤之一, 根据国家癌症中心发布的最新数据, 中国结直肠癌发病数占全球 24.3%, 死亡数占全球 22.9%, 并呈逐年上升趋势^[1]。由于临床表现不典型, 多数结直肠癌患者在初诊时已经发展为局部晚期或晚期, 导致治愈率和生存率较低^[2]。

因此, 早期诊断和治疗对提高病人的治愈率和生存率至关重要。能谱 CT 利用多参数成像实现物质成分分析、鉴别、定量, 为结直肠癌患者提供额外的解剖和功能信息。

1 能谱 CT 的原理、后处理技术及肠道诊断特点

1.1 原理

在双源能谱 CT 中, 利用两种能谱来获得衰减测量值变化, 区分和量化材料的成分, 克服了传统单能 CT 用相似的 CT 值来表示不同元素组成的材料的局限性, 例如双源能谱 CT 可以通过物质分离技术, 明确诊断对比剂(碘)的分布。可以通过水基图或碘基图, 判断结直肠癌病灶是否有碘摄入, 从而可以实现一次增强扫描可同时获得平扫和增强图像^[3]。

1.2 虚拟单能图像

临床上可根据诊断需求选择最佳单能量来改善图像质量, 进一步提高诊断精度。通过具有相同解剖细节的高、低能量图像之间的信息冗余来降低图像噪声^[4], 实现更高的碘对比度-色调比, 保留空间分辨率与空间域降噪技术的协同效应, 即迭代重建。Lenga 等^[5]研究发现 40 keV 能谱 CT 虚拟单能图像检测结肠癌肝转移瘤的灵敏度和诊断准确度为 90.6% 和 89.1%, 明显高于之前的标准重建图像。类似的 Chen 等^[6]利用 80 kVp 扫描结合 SAFIRE 算法重建图像在原发结直肠癌中也得到较优的对比噪声比和良好的图像质量。由此可见, 通

收稿日期: 2020-03-27。

基金项目: 江苏省自然科学基金面上项目(BK20161291); 南通市科技局基础研究(JC2018027)。

过改善图像质量,低千伏虚拟单能重建能定量分析原发及结直肠癌转移灶,对其更精确的分期,直接影响患者的预后。

另外,碘对比度-色调比的增加还有助于减少能谱 CT 门静脉造影中碘对比剂剂量,增加小血管的可见性。Ma 等^[7]研究证明,在不增加辐射剂量的前提下,采用 50% ASiR 重建的 60 keV 能谱 CT 图像可使碘剂量降低 25%,提高门静脉血管内信号强度,并减少图像噪声。而且, Ma 等^[7]研究还发现当对比剂剂量降低 25% 时,60 keV 能谱 CT 在门静脉中产生的 CT 值仍然明显高于常规 CT 值。这表明通过进一步的探索对比剂的减剂量潜力以及验证能谱 CT 门静脉造影在肿瘤检测量化方面非常具有临床意义。

物质或组织在单能量成像中的 CT 值随 X 射线能量变化的曲线,即能谱衰减曲线,根据这些衰减曲线的特征可以定量鉴别结直肠良恶性病变,为临床提供有价值的信息^[8]。

由于低能量光子的优先吸收而导致的光束硬化伪影使得测量的投影偏离物体的真线积分,并且可以在患者内部或患者之间造成移动材料的衰减。虚拟单能图像有可能消除光束硬化伪影和多色 X 射线对常规单能 CT 的平均衰减效应,从而提供更可靠的衰减值^[9]。

1.3 碘选择性图像

能谱 CT 利用高、低千伏能量值下碘、软组织和脂肪这 3 种材料在 CT 上的碘吸收特性,可以将对比度增强图像中任何体素的 CT 值分解为虚拟非增强贡献和碘含量的贡献。

通过后处理技术创建从图像中减去碘含量得到虚拟非增强图像,即虚拟平扫图像。自 2006 年引入双能量 CT 技术以来,尽管创建的虚拟平扫图像可能会有图像纹理是否清晰的问题,但相关研究发现,虚拟非增强图像和真实非增强图像的衰减之间有很好的 consistency。另外,虚拟平扫图像除了能够可靠的描绘出钙、脂肪和出血的小病灶,提供这些病变特征的补充信息外,它还具有通过消除对真实平扫图像的需要来减少辐射剂量和检查时间的潜力^[10]。

将碘信息以彩色编码图形式显示为纯碘地图或将彩色碘含量叠加在灰度虚拟平扫图像上得到碘覆盖图。这些碘图可用于测量指定感兴趣区域中碘含量和碘浓度的强化程度,从而进一步增加对诊断增强程度改变病灶的信心,且在肠道肿瘤良恶性鉴别或许有潜在的益处^[10]。

1.4 肠道疾病诊断特点

能谱 CT 是一种新的肠道疾病诊断技术,放射科医生应该探索能谱 CT 的各种临床益处。比如通过利用虚拟单能图像可以对肠道病灶更好地定位,碘图和虚拟平扫图像则能更好的量化肠道病变的严重程度。这种对肠壁内碘浓度的量化可显示缺血性肠的强化减弱和可疑性肿瘤的强化增强^[10]。总之,这些后处理技术通过提高碘对比噪声比、减少金属硬化伪影、提供材料特定信息,提高了 CT 的诊断性能和可信度。此外,通过减少所需的对比剂和省略真正的平扫 CT 扫描,提高了患者的安全性^[4]。

2 能谱 CT 在结直肠癌方面的临床应用

2.1 鉴别良恶性病变

在传统 CT 小肠造影技术中,常用的阳性肠道对比剂如硫酸钡因为其具有高 X 射线衰减

和不透明性的特点，常与静脉碘对比剂联合使用来鉴别管腔是否充盈缺损。但在传统腹部单能 CT 中，含钡的肠道内容物的 CT 值与邻近的含碘血管或增强的小肠壁相似，导致肠壁息肉癌变漏诊。Qu 等^[11]通过模拟不同类型息肉的小肠模型发现，能谱 CT 联合含钡肠道对比剂这种新的基于材料分解的可视化方法可以有效地区分肠壁、碘填充的息肉以及含钡肠道对比剂填充的肠腔。数据表明，该项新技术将增强明显的息肉的检出率由原来的 83% 提高到 96%，非增强性息肉由原来的 28% 提高到 94%，增强不明显的息肉由原来的 75% 提高到 92%。这一研究表明，如果能在临床上开展进一步的研究，将会极大地改善肠道成像和息肉癌变的早期诊断。

近年来，随着螺旋 CT 扫描速度及分辨力的提高，胃肠道蠕动及呼吸伪影对图像的影响已经微不足道，图像质量得到了显著提高，多层螺旋 CT 小肠造影已成为肠道病变的重要检查方法。但很多早期小肠病变仅表现为小肠壁增厚、CT 值的改变或肠系膜血管的改变，小肠 CTE 仅能提供病变大小、形态、密度及强化方式等形态学信息，当病变缺乏典型形态学特征时，便很难作出正确的诊断。双源 CT 能谱成像可以通过能谱曲线特点对小肠病变进行定量评估^[12]。

与 CTE 成像不同的是，能谱 CT 碘成像通过分析肿瘤的血供来鉴别结直肠肿瘤的恶性程度，是当前研究的创新发现之一。Sun 等^[13]研究发现与常规 CT 相比，能谱 CT 碘成像使结直肠癌的检出率提高了 6.7%，检测结直肠肿瘤的敏感性提高到了 95.6%，特异性也由原来的 42.8% 提高为 100%，显著降低常规 CT 结肠成像诊断的假阳性率。分析原因可能是在碘成像中，受肿瘤影响的增厚肠壁内碘含量增加，与临近正常肠道内的碘含量区分明显，有助于提高诊断的可信度。

此外，在能谱 CT 结肠成像中，除了碘值这一参数以外，AL-Najami 等^[14]发现，由于恶性肿瘤坏死而导致肿瘤密度的增加，恶性组织的有效 z 值与良性组织相比有显著差异 ($P < 0.03$)。该研究还发现，将能谱 CT 参数与磁共振图像相结合，有可能会提高直肠癌诊断准确率。据此猜测，能谱 CT 结肠成像有可能会替代常规 CT 结肠成像成为大规模筛查结直肠癌的工具。

因此，作为筛查工具，能谱 CT 结肠成像是否会带来更多的辐射剂量问题则备受关注。据 2007 年专业机构调查评估规定 CT 作为筛查工具使用的平均有效剂量为 5.7 mSv^[13]。而在之前 Sun 等^[13]研究中能谱 CT 结肠成像的辐射剂量为 (4.26 ± 1.05) mSv，远远低于以往的研究报道。因此，可以推断，与 CT 结肠成像相比，能谱 CT 结肠成像反而可以降低辐射剂量。

2.2 术前分期评估

对结直肠癌进行术前精确分期是患者个体预后和治疗策略的必要条件。术前能谱 CT 的碘覆盖图像已经被证明可以定量检测和描绘结肠和周围组织内病变，从而显示肿瘤的结肠外扩散。由于光学结肠镜不能对狭窄性结直肠癌患者进行完整的肠道评估，容易对结直肠癌患者造成漏诊。Kim 等^[15]在 316 例结直肠癌患者中，经光学结肠镜检查发现 124 例患者除确诊病灶的另外一处病灶，其中 91 例患者是高度恶性的腺瘤性息肉，17 例患者是结直肠癌，这导致 14.0% 的手术治疗方式的改变。如果另外一处病灶最初未能及时发现，那么二次手术之后的发病率和死亡率将增加。Schaeffer 等^[16]研究发现，与病理组织结果相比，能谱 CT 结肠成像对结直肠癌的诊断准确率高达 95%。更为可喜的是，Schaeffer

等^[16]还发现能谱 CT 结肠成像对狭窄性结直肠癌患者同步病变的检出率高达 71%，检出的同步病变中有 77% 的病变被准确 T 分期。据此 Schaeffer 等^[16]证明了无需俯卧扫描的单卧位双能 CT 结肠成像对已经能够很好地评估病灶，可减少采集时间、检查成本和患者不适。因此，能谱 CT 结肠成像被认为是一种快速、经济、有效的“一站式”分期检查，可用于临床怀疑有结直肠癌的患者。

淋巴结转移被认为是总体预后不良的最强预测指标，通过对淋巴结状态的有效评估来预测结直肠癌的预后和改善治疗策略非常重要。实际检查中常规 CT 通过对淋巴结的定性形态学评估鉴别淋巴结良恶性的准确率仅为 54%~74%，远达不到临床诊断的需求^[17]。因此，有必要通过能谱 CT 衰减曲线区分不同材料的特点来提高不确定转移性淋巴结的诊断能力，从而进一步评估碘值在该亚组中的诊断价值。Kato 等^[18]通过对 28 例结直肠腺癌患者转移淋巴结回顾性分析，在 ROC 曲线分析中，发现门静脉中的碘值对淋巴结转移的鉴别能力最强。与单纯靠淋巴结尺寸来鉴别是否为转移性淋巴结相比，其 AUC 由 0.848 提高到了 0.932，灵敏度由 82.6% 提高到了 87.0%，特异性由 77.1% 提高到了 88.6%，诊断准确性由 80.1% 提高到了 87.9%。由此可见，当传统 CT 检查结果不明确时，能谱 CT 中对碘值的补充评估有助于提高鉴别转移性淋巴结的诊断能力。

2.3 术前分化程度诊断

不同分化程度的结肠癌具有不同的生物学行为，准确的术前肿瘤分级对指导手术的顺利进行或制定综合治疗方案，肿瘤的预后具有重要意义。微血管密度是肿瘤血管生成从而支持肿瘤生长的良好指标，恶性程度越高，肿瘤血管生长越快，微血管密度越高，血供越丰富。由于增强 CT 扫描与微血管密度密切相关^[19]，Yang 等^[20]通过能谱 CT 对结肠癌患者动脉期肿瘤中的碘浓度进行测量，并进行分组比较。研究发现，动脉期血供和微血管密度较高的低分化和未分化癌的碘浓度均高于高分化癌，这表明定量碘分解图像中的碘浓度与肿瘤血管生成有关，可以用来定量反应肿瘤的血供情况，从而评价肿瘤微循环的生理功能。并且 Yang 等^[20]还发现在结直肠癌分级能力方面，动脉期能谱 CT 的碘值参数的 AUC 为 0.854，远高于常规动脉期 CT 值的 0.701，其诊断的灵敏度也由 64.7% 提高到了 81.8%，特异性也由 62.3% 提高到了 71.4%。由此可见，动脉期能谱 CT 碘值参数能更加精确的评估结肠癌的术前分化程度。

2.4 疗效评价

对局部晚期直肠癌患者进行新辅助放化疗可改善根治术后局部疾病控制，降低肿瘤分期。因而，研究多参数能谱 CT 是否可用于直肠癌新辅助放化疗，对患者的疗效评价有临床价值。

众所周知，雷戈拉非尼是一种新的口服多激酶抑制剂，被美国食品和药物管理局批准用于治疗转移性结直肠癌。临床中，随着癌症的进展，血管生成信号通路的抑制伴随着血管肿瘤通透性的降低，动态增强 CT 通过检测血管生成、组织灌注和血管通透性的变化（通透性参数 pmb），被证明是评估雷戈拉非尼早期治疗反应的敏感诊断工具^[21]。但相对较高的辐射剂量和复杂的图像后处理限制了动态增强 CT 的临床应用。而 Knobloch 等^[22]在接受雷戈拉非尼这种化疗药物治疗的大鼠胶质瘤模型中发现能谱 CT 碘值参数和动态增强 CT 中的

通透性参数、血容量参数之间具有统计学意义上的相关性 ($P < 0.05$)，这说明能谱 CT 肿瘤碘值可以检测早期治疗后血管通透性的相关变化，弥补了动态增强 CT 的局限性，显示了能谱 CT 参数在评价结直肠癌雷戈拉非尼疗效评价方面的潜力。

2.5 与基因表达的相关性

自 2015 年，精准医学一立足于基因组大数据之上的一种医学模式越来越受到关注。而精准医学对疾病的重新分类基于临床症状和体征检查技术之上，还要全面考量疾病发生的分子标志物、基因多态性等相关信息，最终形成疾病分类新模式^[23]。

2.5.1 标准化碘值评估靶向分子表达

近年来，越来越多的肿瘤分子标志物成为患者选择合适的个体化化疗方案和治疗时机的依据。随着能谱 CT 的引入，探讨其影像学表现与肿瘤分子标记物在体内表达的相关性对评估治疗效果和预测患者预后具有重大价值。

研究报道^[24]，Ki-67 表达与直肠癌患者对新辅助放化疗的反应和预后有关。此外，乏氧是肿瘤生长和转移的驱动力，可促进内皮细胞增殖和诱导肿瘤血管形成。缺氧诱导因子 1 α (HIF-1 α) 是协调细胞对乏氧环境反应的核心转录因子之一。通过有创性检测标志物 Ki-67 和 HIF-1 α 的表达，可预测结直肠癌肿瘤微环境^[24-25]。而 Fan 等^[24]发现，能谱 CT 测得的碘浓度与 Ki-67 和 HIF-1 α 表达具有显著相关性。Ki-67 表达与标准化碘值呈正相关 ($r = 0.248$, $P = 0.026$)，HIF-1 α 表达与标准化碘值呈正相关 ($r = 0.598$, $P < 0.001$)，标准化碘值评估 HIF-1 α 表达的准确度 83%，灵敏度 78%，特异性 87%。可见，这种无创成像方法能有效评估直肠癌患者体内 Ki-67 和 HIF-1 α 表达，对直肠癌个体化治疗提供重要临床价值。

2.5.2 放射组学预测 II 期结直肠癌患者的微卫星不稳定性状态

微卫星不稳定性 (microsatellite instability, MSI 约 15%) 和微卫星稳定 (microsatellite steady state, MSS) 的结直肠肿瘤以其独特的临床和病理特征以及对治疗的独特反应而在临床上备受关注。MSS 癌通常预后不佳，采用基于 5-FU 的标准治疗方案进行治疗；而 MSI 预后稍好，对免疫治疗反应良好^[26]。因此，早期检测 MSI 状态可以使 MSI 肿瘤患者避免 5-FU 化疗的副作用，可以选择更为个体化的靶向治疗。

Wu 等^[27]研究发现，MSI 结直肠癌的碘值明显低于 MSS 结直肠癌，但对碘值的测量不能对肿瘤组织的异质性进行全面的评价。放射组学可以将医学图像转换成高维的可挖掘数据，从而从图像中定量和全面地描述肿瘤组织的特征 (如异质性)。Wu 等^[28]基于两种不同的能谱 CT 扫描仪 (Revolution CT 和 Discovery CT 750HD) 的三层碘分解图像数据中选取有价值的放射学特征，深入研究其与 MSI 状态肿瘤生物学差异的相关性，建立放射组学模型，来预测术前结直肠癌患者的 MSI 状态。结果表明，该模型在训练组和验证组 (Revolution CT) 的 AUC 分别为 0.961 和 0.918。随后，在另一种能谱 CT 扫描仪 (Discovery CT 750HD) 进行了测试，同样得到相当满意的结果 (AUC 为 0.875)。由此可见，通过能谱 CT 产生的碘分解图像的放射组学在预测 MSI 状态方面的潜在应用提供了新思路，并为术前提供更多的临床结果和治疗决策信息提供了有用的信息。

3 挑战与展望

在当前能谱 CT 系统中，运动伪影和光束硬化伪影可能会降低图像的分辨率，此外，能

谱 CT 在日常临床实践中也存在一些问题, 包括 CT 调度困难、重建时间增加、图像数量增加和解释时间增加, 这大大增加了放射科医生的工作量, 并阻碍了能谱 CT 成像在日常工作中的应用^[4]。与虚拟单能成像一样, 在所有的双能成像方法中, 为了提高材料分解图像的质量, 需要进一步的噪声优化。为了扩大能谱 CT 成像的临床应用范围, 需要开发更加通用的双能重建算法^[4]。

光子计数探测器 CT 通过直接将 X 射线光子转换成可测量的电流而单独产生光子。X 射线光子根据其能量被分类到多个存储箱中 (两个存储箱即双能 CT), 为多能量 CT 提供与能量相关的数据集^[4]。有研究在能谱 CT 的基础上比较了光子计数探测器和能量积分探测器之间的成像性能。在这些研究中, 光子计数探测器显示出与后者相当的图像质量。对于光编码探测器, 高光子通量的脉冲堆积效应可以忽略不计, 并且不会因电荷共享和 k 逃逸而导致空间分辨率的损失。此外, 光子计数探测器可以提供多能量和材料的特定信息。这就说明通过调整和优化校准、伪影校正算法以及光子计数探测器的双能量或多能量应用算法, 成像性能有望不断提高^[4]。

另外, 光子计数探测器还有许多潜在的优势, 包括改进的光谱分离和提高的剂量效率, 正在推动这一领域的重大研究和发展。特别地, 光子计数探测器具有比能量积分探测器 (大约 30%) 更高的几何效率, 并且能量阈值的应用使得在阈值以上测量的电子噪声只会影响每个光子的测量能量但并不会改变光子计数。这种探测器技术还提供了执行 K 边成像的能力^[3]。总之, 能谱成像及其低剂量高清图像为临床应用和科研带来了诸多前所未有的突破, 提供了无限广阔的前景。

参考文献

- [1] CHEN W, SUN K, ZHENG R, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2014[J]. Chinese Journal of Cancer Research, 2018, 30(1): 1-12.
- [2] 孙燕, 顾晋, 汪建平. 中国结直肠癌诊疗规范(2017年版)[J]. 上海医学, 2018, 41(8): 449-463.
- [3] MCCOLLOUGH C H, LENG S, YU L, et al. Dual- and multi-energy CT: Principles, technical approaches, and clinical applications[J]. Radiology, 2015, 276(3): 637-653.
- [4] GOO H W, GOO J M. Dual-energy CT: New horizon in medical imaging[J]. Korean Journal Radiology, 2017, 18(4): 555-569.
- [5] LENG A, LANGE M, ARENDT C T, et al. Measurement reliability and diagnostic accuracy of virtual monoenergetic dual-energy CT in patients with colorectal liver metastases[J]. Academic Radiology, 2020, 27(7): 168-175.
- [6] CHEN C Y, HSU J S, JAW T S, et al. Lowering radiation dose during dedicated colorectal cancer MDCT: Comparison of low tube voltage and sinogram-affirmed iterative reconstruction at 80 kVp versus blended dual-energy images in a population of patients with low body mass index[J]. Abdominal Imaging, 2015, 40(7): 2867-2876.
- [7] MA C L, CHEN X X, LEI Y X, et al. Clinical value of dual-energy spectral imaging with adaptive statistical iterative reconstruction for reducing contrast medium dose in CT portal venography: In comparison with standard 120-kVp imaging protocol[J]. British Journal of Radiology, 2016, 89(1062): 20151022.
- [8] SIMONS D, KACHELRIESS M, SCHLEMMER H P. Recent developments of dual-energy CT in oncology[J]. European Radiology, 2014, 24(4): 930-939.
- [9] KIM J E, KIM H O, BAE, K, et al. Differentiation of small intrahepatic mass-forming cholangiocarcinoma from small liver abscess by dual source dual-energy CT quantitative parameters[J]. European Journal of Radiology, 2017, 92: 145-152.

- [10] FULWADHVA U P, WORTMAN J R, SODICKSON A D. Use of dual-energy CT and iodine maps in evaluation of bowel disease[J]. *Radiographics: A Review Publication of the Radiological Society of North America Inc*, 2016, 36(2): 393.
- [11] QU M, EHMAN E, FLETCHER J G, et al. Toward biphasic computed tomography (CT) enteric contrast: Material classification of luminal bismuth and mural iodine in a small-bowel phantom using dual-energy CT[J]. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 2012, 36(5): 554-559.
- [12] 窦彤. CTE 结合能谱成像在常见小肠恶性肿瘤中的应用价值[D]. 芜湖: 皖南医学院, 2017.
- [13] SUN K, HAN R, HAN Y, et al. Accuracy of combined computed tomography colonography and dual energy iodine map imaging for detecting colorectal masses using high-pitch dual-source CT[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 3790.
- [14] AL-NAJAMI I, MAHMOUD S H, BAATRUP G. Differentiation between malignant and benign rectal tumors by dual-energy computed tomography: A feasibility study[J]. *Acta Oncology*, 2019, 58(S1): S55-S59.
- [15] KIM M S, PARK Y J. Detection and treatment of synchronous lesions in colorectal cancer: The clinical implication of perioperative colonoscopy[J]. *World Journal Gastroenterol*, 2007, 13(30): 4108-4111.
- [16] SCHAEFFER B, JOHNSON T R, MANG T, et al. Dual-energy CT colonography for preoperative "one-stop" staging in patients with colonic neoplasia[J]. *Academic Radiology*, 2014, 21(12): 1567-1572.
- [17] de VRIES F E E, da COSTA D W, van der MOOREN K, et al. The value of pre-operative computed tomography scanning for the assessment of lymph node status in patients with colon cancer[J]. *European Journal of Surgical Oncology & the British Association of Surgical Oncology*, 2014, 40(12): 1777-1781.
- [18] KATO T, UEHARA K, ISHIGAKI S, et al. Clinical significance of dual-energy CT-derived iodine quantification in the diagnosis of metastatic LN in colorectal cancer[J]. *European Journal of Surgical Oncology*, 2015, 41(11): 1464-1470.
- [19] DU J R, JIANG Y, ZHANG Y M, et al. Vascular endothelial growth factor and microvascular density in esophageal and gastric carcinomas[J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2003, 9(7): 1604.
- [20] YANG C B, HE T P, DUAN H F, et al. Quantitative assessment of the degree of differentiation in colon cancer with dual-energy spectral CT[J]. *Abdominal Radiology (NY)*, 2017, 42(11): 2591-2596.
- [21] GOH V, HALLIGAN S, DALEY F, et al. Colorectal tumor vascularity: Quantitative assessment with multidetector CT: Do tumor perfusion measurements reflect angiogenesis?[J]. *Radiology*, 2008, 249: 510-517.
- [22] KNOBLOCH G, JOST G, HUPPERTZ A, et al. Dual-energy computed tomography for the assessment of early treatment effects of regorafenib in a preclinical tumor model: Comparison with dynamic contrast-enhanced CT and conventional contrast-enhanced single-energy CT[J]. *European Radiology*, 2014, 24(8): 1896-1905.
- [23] 郭晓强, 黄卫人, 蔡志明. 癌症精准医学[J]. *科学*, 2015, 67(5): 28-31.
- [24] FAN S X, LI X B, ZHENG L, et al. Correlations between the iodine concentrations from dual energy computed tomography and molecular markers Ki-67 and HIF-1 α in rectal cancer: A preliminary study[J]. *European Journal of Radiology*, 2017, 96: 109-114.
- [25] WEINMANN M, BELKA C, PLASSWILM L. Tumour hypoxia: Impact on biology, prognosis and treatment of solid malignant tumours[J]. *Onkologie*, 2004, 27(1): 83-90.
- [26] LIANG C S, HUANG Y Q, HE L, et al. The development and validation of a CT-based radiomics signature for the preoperative discrimination of stage I~II and stage III~IV colorectal cancer[J]. *Oncotarget*, 2016, 7(21): 31401-31412.
- [27] WU J J, LV Y, WANG N, et al. The value of single-source dual-energy CT imaging for discriminating microsatellite instability from microsatellite stability human colorectal

- cancer[J]. *European Radiology*, 2019, 29(7): 3782-3790.
- [28] WU J J, ZHANG Q H, ZHAO Y, et al. Radiomics analysis of iodine-based material decomposition images with dual-energy computed tomography imaging for preoperatively predicting microsatellite instability status in colorectal cancer[J]. *Front Oncology*, 2019, 9: 1250.

Research Progress of Energy Spectrum CT of Colorectal Cancer

XUE Ting, FENG Feng✉

Department of Radiology, Nantong Tumor Hospital
Affiliated to Nantong University, Nantong 226361, China

Abstract: Colorectal cancer is one of the most common malignant tumors of the digestive tract, and early diagnosis is essential. Dual-energy CT uses material characterization and material decomposition to depict lesions from the surrounding environment and identify benign and malignant cancer, which is expected to make up for the defects of conventional imaging techniques. To further improve the detection ability and diagnostic accuracy of colorectal cancer. This article reviews the research progress of dual-source spectroscopy CT in colorectal cancer.

Keywords: colorectal cancer; energy spectrum CT; clinical application



作者简介: 薛婷 (1995—), 女, 南通大学影像医学与核医学专业研究生, 现规培放射专业, Tel: 15162765957, E-mail: 849638196@qq.com; 冯峰✉ (1976—), 男, 南通大学附属肿瘤医院主任医师, 擅长胸部、腹部肿瘤的 CT、MRI 及 PET-CT 诊断, Tel: 15851201758, E-mail: drfengfeng@163.com。