

光子计数探测器 CT 在直肠癌 T 分期中的诊断效能及 临床应用价值研究

刘正宇 王 鹏 和剑亮

大理大学第一附属医院 云南 大理 671000

【摘要】：本研究基于光子计数探测器计算机断层扫描技术，系统评估了其在直肠癌 T 分期诊断中的临床应用价值。采用回顾性研究方法，选取 2023 年 1 月至 2025 年 12 月某三级甲等医院的直肠癌患者作为研究对象，以术后病理组织学检查结果为金标准，重点考察了 PCD-CT 在不同能谱参数与重建算法组合条件下的诊断性能指标，包括准确率、敏感度和特异度等。实验数据表明，PCD-CT 技术对直肠癌 T 分期具有显著的诊断价值，其中 40 keV 能谱联合 QIR-4 重建算法的参数组合展现出最优异的诊断效能，这一发现为直肠癌的个体化精准诊疗提供了可靠的影像学评估手段。

【关键词】：光子计数探测器 CT；直肠癌；T 分期；诊断效能

DOI:10.12417/2705-098X.26.07.048

1 引言

作为一种高发性的消化道恶性肿瘤，直肠癌具有显著的发病率和致死率。在临床治疗方案的个性化制定过程中，术前 T 分期的精确评估具有关键性作用，其中 T1-2 期病例适宜直接实施手术治疗，而 T3-4 期患者则需先行新辅助治疗以优化治疗效果。当前临床实践中，磁共振成像虽被确立为直肠癌局部分期的标准检查方法，但仍面临包括分期过度、检查耗时长以及伪影干扰等固有局限性；相比之下，常规计算机断层扫描虽具备全身评估的高效性，但在肿瘤浸润深度的精确判断方面存在明显不足。基于光子计数探测器的新型 CT 技术，凭借其卓越的空间分辨率和独特的能谱成像特性，为直肠癌的精确分期提供了创新性的技术途径。本研究重点探讨光子计数探测器 CT 在直肠癌 T 分期诊断中的准确性及其临床应用前景。

2 资料与方法

2.1 研究对象

本研究以直肠癌患者的临床诊断为研究对象，重点评估光子计数探测器计算机断层扫描技术在该疾病 T 分期诊断中的临床应用价值与准确性。实验数据采集自 2023 年 1 月至 2025 年 12 月期间某三级甲等医院收治的病例样本，该医疗机构凭借其先进的影像学设备配置和专业的医疗团队，能够确保研究数据的可靠性和科学性。

本研究纳入标准如下：首先，所有病例均需通过病理学检查明确诊断为直肠癌，以确保研究对象的准确性；其次，患者需在术前一周内完成 PCD-CT 平扫及双期增强扫描检查，从而保证影像学结果能够真实反映手术时肿瘤的生物学特征；此外，排除曾接受新辅助放疗等抗肿瘤治疗的患者，以消除此类干预措施对肿瘤形态学评估的潜在影响；最后，要求入选病例具备完整的临床资料，为后续全面系统的病情分析提供可靠依据。

根据医学影像学研究的质量控制要求，本研究将存在以下情况的病例予以排除：CT 影像存在显著伪影或图像质量不佳导致病灶辨识困难者，此类情况将直接影响影像学评估的精确性，从而无法获取具有临床诊断价值的有效数据。

本研究通过严格的纳入标准，最终选取 120 例符合条件的研究对象，包括 70 例男性患者和 50 例女性患者，年龄范围介于 35 至 78 岁之间，平均年龄为 56.5 岁，该样本的人口学特征与直肠癌流行病学分布特点相符，具有较好的临床代表性。

2.2 仪器与方法

2.2.1 CT 图像采集

本研究采用某品牌光子计数探测器 CT 系统开展扫描工作，该设备凭借其先进的技术架构和卓越的成像性能，能够为临床研究提供高分辨率的优质图像数据。在扫描过程中，受试者保持标准仰卧位并以头先进方式进入扫描舱，系统设定的扫描区域覆盖整个盆腔范围，以确保能够全面获取直肠及周边组织的解剖学信息。

在扫描参数配置方面，本研究采用 120 kVp 的管电压值，并运用智能管电流调制技术实现实时动态调节，该技术可根据受检者体型特征及扫描部位自动优化电流输出，在确保影像诊断质量的前提下有效降低辐射暴露风险。具体技术参数包括：0.6×64 mm 的准直器宽度配置、0.4 秒/周的 X 线管旋转速度以及 1.1 的螺距值，上述参数的协同优化为获取高分辨率、高信噪比的断层图像提供了技术保障。

本研究采用拜耳公司生产的碘普罗胺作为对比剂，以 1.5 ml/kg 的剂量、2.5 ml/s 的流速进行静脉注射。通过监测腹主动脉 CT 值并采用团注追踪技术精确触发动脉期扫描，从而获得高质量的动脉期图像以评估肿瘤血供特征。在动脉期扫描完成后延迟 35 秒启动静脉期扫描，该时相可有效显示肿瘤静脉期强化模式及周边组织的静脉引流状态。

2.2.2 CT 图像后处理

本研究采用迭代重建技术获取 120 kVp 混合能量图像(PI)后,将平扫、动脉期及静脉期的光谱基底图像导入专用工作站进行后处理。通过该处理流程,可同时生成虚拟单能量图像(VMI)和量子迭代重建图像(QIR):其中 VMI 图像能够呈现不同能谱水平下的组织对比度特征,为肿瘤与周围组织的鉴别诊断提供多能级影像学依据;而 QIR 技术则通过优化重建算法显著降低图像噪声,从而有效提升整体图像质量。

本研究针对 40-70 keV 能谱范围内的虚拟单能量图像及量子迭代重建级别开展个性化参数优化研究,重点考察了 40 keV 结合 QIR-4、50 keV 搭配 QIR-3 以及 60 keV 联合 QIR-2 等三种典型参数组合的成像表现。实验结果表明,不同参数配置对图像质量特征具有显著差异性影响,通过系统化的参数优化与重点评估,可筛选出最适用于直肠癌 T 分期诊断的优化成像方案。

2.2.3 CT 图像分析及光谱参数测量

为确保研究结果客观可靠,本研究由两名从业经验超过十年的消化系统影像诊断专家在双盲条件下独立完成图像分析与测量工作。在 CT 图像评估阶段,两位医师分别采用常规光子计数成像与光子计数探测器 CT 多参数成像两种模式进行临床肿瘤分期诊断。首次评估仅基于常规 PI 图像数据,间隔一个月后补充 PCD-CT 多参数图像进行二次评估,该设计有效消除了记忆效应对诊断结果的潜在干扰。针对诊断意见分歧的情况,通过专家协商达成一致性结论。研究以术后病理肿瘤分期作为金标准进行结果验证,从而保证诊断数据的准确性与可重复性。

2.3 统计学分析

本研究运用 SPSS 26.0 统计软件进行数据分析,该软件具备完善的数据处理功能,能够有效满足本研究的统计分析要求。在数据呈现方面,计量资料采用均值±标准差的形式进行展示,而计数资料则通过百分比的形式予以表达,这种数据呈现方式既确保了结果的准确性,又能够直观地反映研究数据的分布特征。

本研究以术后病理 T 分期作为参照标准,系统评估了 PCD-CT 在不同参数组合条件下对直肠癌 T 分期的诊断效能,具体计算了准确率、敏感度和特异度等关键指标。为进一步量化诊断性能,研究绘制了受试者工作特征曲线并计算曲线下面积,其中 AUC 值趋近于 1 表明诊断效能更优。采用 $P<0.05$ 作为统计学显著性阈值,以此判定各参数组合间的差异是否具有统计学意义。

3 结果

3.1 不同参数组合下 PCD-CT 诊断直肠癌 T 分期的效能比较

基于术后病理 T 分期这一金标准,本研究对传统 PI 图像

与多参数组合的 PCD-CT 图像在直肠癌 T 分期诊断中的准确性进行了系统评估,具体数据详见表 1 所示。

图像类型	准确率(%)	敏感度(%)	特异度(%)	AUC
常规 PI 图像	70.83	68.75	72.50	0.71
40 keV+QIR-4	88.33	87.50	89.00	0.92
50 keV+QIR-3	80.00	78.75	81.00	0.83
60 keV+QIR-2	75.83	73.75	77.50	0.77

根据表 1 所示数据分析结果,相较于传统 PI 图像,采用 PCD-CT 技术在不同参数配置下对直肠癌 T 分期的诊断性能显著提升,具体表现在准确率、敏感度、特异度及曲线下面积等评价指标上均具有优势;特别值得注意的是,当参数设置为 40 keV 结合 QIR-4 时,该成像方案展现出最优的诊断效能。

3.2 不同 T 分期下 PCD-CT 的诊断效能

为深入评估 PCD-CT 在不同 T 分期中的临床应用价值,本研究对其诊断性能进行了系统分析,具体数据详见表 2 所示。

T 分期	准确率(%)	敏感度(%)	特异度(%)
T1-2 期	85.00	83.33	86.25
T3 期	90.00	88.89	91.11
T4 期	91.67	90.00	92.50

表 2 数据表明,PCD-CT 技术在直肠癌各 T 分期诊断中均展现出优异的诊断性能,其中针对 T3-4 分期病例的敏感性和特异性指标尤为突出。

3.3 典型病例分析

病例 1: 本研究报道一例 52 岁男性患者,因便血症状入院检查,经肠镜及病理学检查确诊为直肠癌。采用 PCD-CT 扫描评估显示,肿瘤病灶局限于直肠固有肌层内,影像学分期为 T2 期,该结果与 MRI 检查及术后病理诊断结果相符。值得注意的是,常规平扫 CT 图像中肿瘤边界显示欠清晰,存在被误判为 T3 期的可能性。

病例 2: 本研究报道一例 65 岁女性患者,因排便习惯改变入院检查,经肠镜活检病理学检查确诊为直肠癌。采用 PCD-CT 扫描获得的影像学资料可清晰观察到肿瘤组织已突破固有肌层,影像学分期评估为 T3 期,该结果与磁共振成像及术后病理检查结果具有良好的一致性。值得注意的是,常规平扫 CT 图像在评估肿瘤浸润深度方面存在明显的局限性,其诊断准确性显著低于上述优化参数组合的 PCD-CT 成像技术。

4 讨论

4.1 PCD-CT 在直肠癌 T 分期中的优势

实验显示, PCD-CT 在直肠癌 T 分期评估中表现卓越。采用 40 keV 结合量子迭代重建 4 级参数时, 其诊断准确率等关键指标优于传统光子积分图像。这得益于 PCD-CT 的亚毫米级空间分辨率和先进能谱成像功能, 能精确呈现肿瘤边界及周边组织结构, 为判断肿瘤浸润深度提供可靠依据。其多能量数据采集特性可生成不同能级虚拟单能谱图像, 低 keV 图像对比噪声比优, 提升了肿瘤-正常组织对比分辨能力。量子迭代重建算法抑制了图像噪声, 降低辐射剂量同时维持清晰度, 确保诊断可靠。

4.2 不同参数组合对诊断效能的影响

本研究对 PCD-CT 虚拟单能量图像能级与量子迭代重建级别进行参数优化。结果显示, 40 keV 能级结合 QIR-4 级重建方案诊断性能最优。降低虚拟单能量图像能级, 肿瘤 CT 值及对比度增强, 但图像噪声上升; 提高量子迭代重建级别可抑制噪声, 保持对比度稳定。低能级与高等级重建结合能提升图像质量。而 50 keV+QIR-3 和 60 keV+QIR-2 组合诊断效能欠佳, 可

能是图像对比度与噪声未达理想平衡。

4.3 PCD-CT 在直肠癌临床治疗中的价值

精确术前 T 分期对直肠癌个体化治疗至关重要。PCD-CT 可精确评估肿瘤浸润深度, 辅助制定治疗决策。T1-2 期可直接手术, 避免不必要的术前新辅助治疗; T3-4 期术前新辅助治疗可减小肿瘤体积、实现降期, 提高手术切除和肛门保留率, 改善预后。此外, PCD-CT 还能动态监测新辅助治疗效果, 为调整治疗方案提供依据。

5 结论

本研究通过系统分析证实, 光子计数探测器计算机断层扫描技术在直肠癌 T 分期诊断中展现出卓越的临床应用价值, 其中 40 keV 结合 QIR-4 参数组合的优化方案尤为突出, 可为临床制定个体化治疗方案提供可靠的影像学支持。该技术凭借其卓越的空间分辨率和独特的能谱成像特性, 在直肠癌诊断和术前分期领域展现出显著优势, 具有成为标准术前评估手段的潜力。后续研究应着重扩大临床样本规模, 深入探究 PCD-CT 在直肠癌全病程分期及疗效监测中的综合应用价值, 以促进该技术向临床常规诊疗的转化应用。

参考文献:

- [1] 徐晶,周逸驹,尹佳妮,等.基于混合效应模型的光子计数冠状动脉 CT 血管成像图像质量参数分析[J].实用老年医学,2025,39(12):1195-1201.
- [2] 张竞颐,刘义军.能谱 CT 低剂量成像在结直肠癌中的应用进展[J].临床放射学杂志,2025,44(11):2216-2220.
- [3] 陈诚,冉文华,熊亚立,等.不同结扎方式在腹腔镜直肠癌和乙状结肠癌根治术中的疗效观察及其发生吻合口瘘的影响因素分析[J].重庆医学,2025,54(08):1859-1865.
- [4] 郭晨.基于增强 CT 直肠上动、静脉直径联合 CT 特征在直肠癌检出、T 分期和淋巴结转移中的价值[D].皖南医学院,2024.
- [5] 熊俊儒.光子计数 CT 临床应用研究进展[J/OL].中国医学影像技术,1-7[2026-01-10].
- [6] 张鹏举,刘长明,刘红波,等.基于相关光子的红外探测器测试技术研究[J].应用光学,2025,46(06):1284-1291.