

宝石能谱 CT 多参数在原发性睾丸弥漫性大 B 细胞淋巴瘤的初步应用分析

刘 强 周丽华 吕淑君 刘 佳 贺仁杰

荆门市中心医院放射科 湖北 荆门 448000

【摘要】目的：旨在评估宝石能谱成像(GSI)定量多参数在原发性睾丸弥漫性大 B 细胞淋巴瘤的应用价值。方法：回顾性分析行能谱成像模式进行对比增强 CT 扫描的患者。使用能谱成像软件进行图像分析，测量患侧睾丸动脉期、静脉期及延迟期 40keV、70 keV 及 140keV 单能量图像上病灶碘浓度 (IC)、病灶 CT 值、阴囊脂肪 CT 值；分别计算能谱 (70-40)、(140-40) 曲线斜率及有效原子序数 (Z_{eff})，同时测量及计算对侧睾丸实质相应参数作为对照。结果：40keV 单能量显示 CT 值相对变化率为 64%，病变检出评分最高为 5 分，图像质量较好。3 个病灶平扫 CT 值差值为负，增强后各期差值均为正值，且延迟期达到最高 (55.2 HU)。动脉期、静脉期、延迟期病灶在单能量 40 keV 碘摄取明显，患对侧差异显著，碘浓度均高于对侧，同时伴随 40 keV CT 值、有效原子序数 (Z_{eff}) 同步升高，形成高碘浓度、高 CT 值、高 Z_{eff} 的“三高模式”。结论：GSI 不同定量参数相互关联可用于原发性睾丸弥漫性大 B 细胞淋巴瘤评估，提供多种定性和定量信息。

【关键词】：弥漫性大 B 细胞淋巴瘤；睾丸；计算机断层成像；Gemstone spectral imaging

DOI:10.12417/2811-051X.26.06.008

原发性睾丸(PT)弥漫大 B 细胞淋巴瘤(DLBCL)是一种罕见的侵袭性淋巴瘤，是老年男性中最常见的睾丸恶性肿瘤^[1]，占非霍奇金氏淋巴瘤的 1-2%^[2]。PT-DLBCL 在结外特别是中枢神经系统(CNS)和对侧睾丸具有高复发/复发风险^[3]，患者的生存率较低。关于该病理类型，传统 CT 的定量数据较少，其能谱 CT 多参数特点鲜见报道，本文旨在探讨 GSI 的单能量 CT 值、碘浓度、曲线斜率、有效原子序数等定量多参数在原发性睾丸(PT)弥漫大 B 细胞淋巴瘤的价值，以提高对本病的进一步认识。同时对高度怀疑睾丸肿瘤并合并 MRI 禁忌的患者，GSI 是一种有效的选择。因此本研究通过对比分析患对侧睾丸的单能量 CT 值、能谱曲线斜率、有效原子序数及病灶碘浓度 (IC) 的差异分析，进一步了解睾丸(PT)弥漫大 B 细胞淋巴瘤(DLBCL)的能谱 CT 多参数特点，了解病变的血液供应和血管生成状态，术前直接和准确地认识病变性质，指导最佳临床治疗方案，为后续进一步研究做好铺垫。

1 资料与方法

1.1 一般资料

前瞻性纳入 2024 年 4 月—2026 年 2 月荆门市中心医院经病理确诊为原发性睾丸弥漫性大 B 细胞淋巴瘤的患者，均行 GSI 检查。纳入标准：①经病理证实，影像资料齐全的；②睾丸及其附属结构为其首发诊断部位，排除其他病变累积；③图像质量满足定量测量要求。排除标准：①镜检查前接受过治疗；②初诊能谱 CT 重要数据缺失；③图像伪影过重，影响测量。收集患者基本信息、临床病理指标及能谱参数。本研究经荆门市中心医院伦理委员会审批 (2024-03-013)。

1.2 设备与方法

采用 GE 256 排 Revolution CT 能谱成像模式进行扫描。采用仰卧位足先进，用毛巾夹于大腿根部托起阴囊以减少运动伪影。采用 GSI 扫描模式患者取仰卧位。光谱参数：检测器宽度:80 mm，俯仰距:0.992:1，转速:0.5 s/r，动脉相 GSI 模式，自动 mA 选择；能谱 CT 增强扫描参数包括：管电压为高低能量 (40-140 kVp) 瞬间切换，管电流 260 mA，螺距 0.984，矩阵 512×512，层厚 1.25 mm，间隔 1.25 mm。使用高压注射器经静脉注射碘佛醇 320 mg/ml、1.0 ml/kg，速度 3~4 ml/s。

1.3 能谱参数数据测量

在 GE AW4.7 工作站上使用能谱成像软件进行图像分析，选取肿瘤最大截面及其上下 2 个层面绘制 ROI 并取平均值。选取肿瘤密度均匀区域，避开坏死、出血、钙化及血管区域。测量动脉期、静脉期及延迟期 40keV、70 keV 及 140keV 单能量图像上，测量阴囊脂肪值及睾丸病灶 CT 值 (CT40 keV、CT70 keV、CT140 keV)，分别计算能谱曲线斜率 (slope of spectral curve, λ Hu)： λ Hu = (CT40 keV-CT70 keV) / (70-40)。 λ Hu = (CT140 keV-CT40 keV) / (140-40)。测量 3 期病灶碘浓度 (iodine concentration, IC)。能谱成像软件自动生成有效原子序数 (effective atomic number, Z_{eff})。同时测量对侧睾丸实质相应参数作为对照。

1.4 图像质量评分

由 2 名具有 10 年以上影像诊断经验的医师独立测量，取平均值。分别在 40 keV、70 keV、140 keV 测量病灶 CT 值，并主观评分，采用 5 分标准(1 分：病变几乎不可见；2 分：病变可见，不能区分边界；3 分：可区分病变边界；4 分：视觉

区分度一般；5分：病变边界最清晰。

2 结果

2.1 一般资料

共纳入临床病理及影像学资料齐全的原发性睾丸弥漫性大B细胞淋巴瘤2例，共3个病灶。患者阴囊均无疼痛及发热，偶然发现睾丸肿大或肿大加重就医。年龄68-72岁，中位年龄70岁，以病变侧为患侧，对侧组织作为自身对照。如表1

表1 2例患者的临床、实验室检查资料

病例	1	2
年龄(岁)	68	72
就诊原因	睾丸肿大	睾丸肿大
部位	双侧	左侧
大小(mm)	26x17 8x6	44x39
肿瘤指标	正常	正常
累积情况	无	无
手术方式	保守，放化疗	睾丸根治性切除术
伴随症状	双侧鞘膜积液	双侧鞘膜积液

注肿瘤指标：癌胚抗原，甲胎蛋白，人绒毛膜促性腺激素

2.2 病理结果

3个病灶均局限于睾丸内，呈类圆形。病变累及双侧睾丸1例，单侧发病1例。病灶最大径8-44mm，质细腻，切面灰黄色、灰白，部分有坏死。正常睾丸组织完全或部分破坏，睾丸组织内见弥漫性异型淋巴样细胞浸润，间质可见硬化小血管、反应性T淋巴细胞以及间质纤维化。免疫组化结果1例Ki-67指数增殖增高，1例Ki-67指数中等增殖，随访发现1例行睾丸根治性切除术，1例保守，辅助放化疗，均无其它系统累及

2.3 对病灶的影像评价

2例患者术前均行能谱CT检查，3个病灶局限于睾丸内，呈类圆形。最小者约8mmX6mm，最大者约39mm X 44mm，病灶最大径<50mm。单能量40keV平扫、动脉期碘-水基图均可发现3个病灶，表1、如图(3)所示。通过患侧、对侧在单能量40keV、140keV平扫、延迟期CT值变化率及病灶检出评分发现，40keV病变检出评分最高为5分，病变边界最清晰，图像质量最好，如表2及示。

2.4 能谱分析结果

通过患侧、对侧在单能量40keV、140keV平扫、延迟期CT值变化率及病灶检出评分表2。3个病灶平扫CT值差值为

负，增强后各期差值均为正值，且延迟期达到最高(55.2HU)，呈现“平扫略低-动脉期显著升高-静脉期略降-延迟期再次升高”的模式，与碘浓度动态变化一致，病灶富血供。动脉期、静脉期、延迟期患在单能量40keV碘摄取明显，患对侧差异显著，碘浓度均高于对侧，同时伴随40keV CT值、有效原子序数(Zeff)同步升高，形成高碘浓度、高CT值、高Zeff的“三高模式”，病灶血流丰富可视化如图1、2。患侧-对侧有效原子序数差值在增强后转为正值，静脉期达峰值(0.44)，提示病变内碘对比剂滞留，有效原子序数显著高于正常组织。

表2 患侧、对侧在单能量40keV、140keV平扫及延迟期CT值变化率及病灶检出评分

病例号	1	1	2	2
能级(keV)	40	140	40	140
患侧CT值(HU)	141.48	19.42	141.48	26.27
对侧CT值(HU)	86.27	19.47	137.82	12.12
差值(患-对)	55.21	-0.05	3.66	14.15
相对变化率(%)	64	-0.26	2.66	116.75
病变检出评分	5分	1分	3分	4分

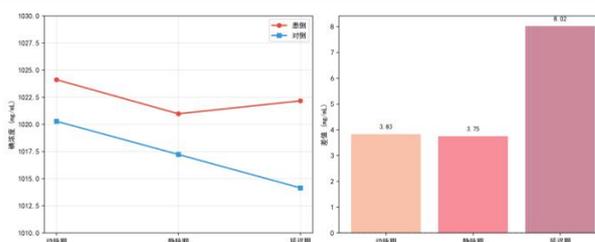


图1 单能量40keV碘浓度-时间曲线

3 讨论

原发性睾丸弥漫大B细胞淋巴瘤是侵袭性肿瘤，预后较差，但临床症状不典型，易延误治疗。因此，术前对原发性睾丸弥漫大B细胞淋巴瘤准确的定性诊断，尽可能早干预是关键。传统CT主要通过康普顿效应和光电效应实现成像，无法区分原子序数相近而物质不同的结构(如碘与钙)。能谱CT利用不同组织对能量的依赖性差异，通过两种或更多能量水平的X射线获取物质衰减信息，区分传统CT中CT值相似但原子序数不同的物质(如碘Z=53 vs.钙Z=20)。然而，迄今为止，定量能谱CT多参数术前睾丸肿瘤的应用研究尚不充分。

3.1 临床病理特点

恶性肿瘤生物学特点为增殖快、分化差、浸润长、易侵袭、能转移、易复发、血管多、常坏死。PTL最常见的病理类型是原发性睾丸弥漫大B细胞淋巴瘤(PT-DLBCL)，它占睾丸所有原发性淋巴瘤的80%至90%。PT-DLBCL是一种罕见的侵袭性

淋巴瘤。临床上通常表现为单侧质硬、无痛性的睾丸肿块，可伴睾丸肿胀和阴囊积水。56%患者年龄超 60 岁^[4]，本组年龄中位年龄 70 岁，与文献一致。根据来源细胞，PT-DLBCL 更常见于非生发性中心 B 细胞样(非 GCB)亚型。研究表明，非 GC DLBCL 的临床结果比生发性中心 B 细胞样(非 GBB)亚型更差。本研究中 2 例均为 non-GCB 免疫表型，与研究一致。

3.2 关于 PT-DLBCL 能谱 CT 技术的优势

恶性肿瘤影像学上表现为形态不规则、边界不清、密度不均、明显强化、侵袭破坏、伴转移等多个方面进行定性诊断。传统 CT 的 X 线是混合能量，穿过人体时低能光子优先被吸收，产生伪影并降低对比度，病灶细节无法良好显示，无法对病灶进行准确诊断。能谱 CT 作为一种全新的影像检查方法，主要通过单球管双电压(80 kVp 和 140 kVp)的瞬时切换来实现能谱成像，可以生成 40~140 keV 的多组单能量图像，在更低的剂量下，获得更为清晰的图像质量^{5, 6}，在肿瘤、血管及复杂病变评估中优势明显，对病变的组织范围、来源、性质的判断及鉴别诊断提供了更精准的依据，表现出优异的应用价值。在本组研究发现 40keV 单能量显示 CT 值相对变化率为 64%，病变检出评分最高为 5 分，图像质量较好。通常是低 keV 水平，如 40~70 keV 时，能谱图像的病灶血管与周围组织的对比度和图像质量达到最佳，能为临床诊断提供更可靠的依据。

能谱 CT 虚拟单能量图像 (VMI) 技术是碘浓度分析的重要组成部分。碘是 CT 增强造影剂的核心成分，组织摄取碘的多少，能直接反映该部位的血流动力学状况。能谱 CT (GSI) 可生成碘基图，通过测量碘基值，能直观、定量地反映组织器官的摄碘量，进而判断其血供丰富程度为评估肿瘤的血供特征提供了客观数据，血供越丰富，碘基值越高。本组 3 个病灶平

扫 CT 值差值为负，增强后各期差值均为正值，且延迟期达到最高 (55.2 HU)，与碘浓度动态变化一致，支持富血供。恶性肿瘤细胞的增殖生长能力较强，易增生大量新生血管。张丹卉等^[7]能谱 CT 多参数成像在肾上腺意外瘤等研究中发现动脉期 40 KeV 单能量 C 值、有效原子序数、碘-水浓度、脂-碘浓度的定量分析对肾上腺意外瘤具有较高的鉴别诊断价值，可准确评估病变。多数学者认为血管穿行征是诊断睾丸淋巴瘤的特征表现之一。王等^[4]报告了 10 例 PT-DLBCL 接受彩超发现并伴有血管增殖，有更多营养血管，表现出丰富的血流信号。有学者采用传统 CT 增强扫描睾丸肿瘤呈轻至中等程度强化，CT 值增加 15~32HU，大多数病灶内可见小血管穿行，这与瘤内新生血管丰富有关^[8]，病灶密度较均匀，与病理上淋巴细胞弥漫浸润使肿瘤细胞较致密有关。在低能量范围内 (如 40 keV)，光电效应占主导地位，其与物质的原子序数的三次方成正比。因此，含有高原子序数元素 (如碘) 的病灶在低能量下表现出更高的 CT 值。这种影像特点是由于异型淋巴细胞弥漫浸润于睾丸实质所决定的，由于病变内细胞及血管丰富，增强后多呈明显均匀性强化⁹。不同的物质、组织类型具有不同的化学分子结构，不同化学构成的组织具有不同的能谱衰减曲线，能谱衰减曲线的差异可以利用斜率来评估。本研究中患侧有效原子序数在增强后显著升高，呈持续上升趋势，静脉期达峰 (0.44)，提示病变内碘对比剂滞留，有效原子序数显著高于正常组织。患侧 Zeff 升高与碘浓度动态变化完全同步，说明有效原子序数升高主要由病变内碘对比剂滞留所致，支持富血供病变伴血管通透性增高的判断。

综上所述，GSI 不同定量参数相互关联可用于原发性睾丸弥漫性大 B 细胞淋巴瘤评估，提供多种定性和定量信息。

参考文献:

- [1] LIU K T, CHANG Y C, LIN Y C, et al. Unusually aggressive primary testicular diffuse large B-cell lymphoma initially presenting as systemic disseminating metastases in older adult men: a case report [J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2023, 85(8): 4106-11.
- [2] POLLARI M, LEIVONEN S K, LEPPÄS. Testicular Diffuse Large B-Cell Lymphoma—Clinical, Molecular, and Immunological Features [J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(16).
- [3] SHI W, XU-MONETTE Z Y, JIA Y, et al. Prognostic gene expression and microRNA profiling signatures and genetic alterations in primary testicular diffuse large B-cell lymphoma [J]. *Blood Cancer J*, 2025, 15(1): 123.
- [4] WANG Q, ZHENG D, CHAI D, et al. Primary testicular diffuse large B-cell lymphoma: Case series [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(12): e19463.
- [5] 余焯, 林了一, 华小兰, 等. 肺浸润性腺癌能谱 CT 定量参数与 EGFR 基因突变相关性研究 [J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2020, 26(03): 242-246.
- [6] Siegel Marilyn J, Ramirez-Giraldo Juan Carlos. Dual-Energy CT in Children: Imaging Algorithms and Clinical Applications [J]. *Radiology*, 2019, 291(2).
- [7] 张丹卉, 张亚斌, 史展. 能谱 CT 多参数成像在肾上腺意外瘤诊断中的应用 [J]. *医学影像学杂志*, 2025, 35(2): 80-83.