

本文引文格式:周建收,刘洪,赵正凯.甲状腺专用表面线圈ADC值对甲状腺微小结节良恶性的鉴别诊断价值[J].右江民族医学院学报,2025,47(4):619-623.

【论著与临床报道】

甲状腺专用表面线圈 ADC 值对甲状腺 微小结节良恶性的鉴别诊断价值

周建收,刘洪,赵正凯

(四川省成都市第三人民医院放射科,四川 成都 610031)

摘要:目的 评估甲状腺专用表面线圈不同 b 值(300 s/mm²、800 s/mm²、1400 s/mm²)磁共振扩散加权成像(DWI)的表面扩散系数(ADC)值对甲状腺微小结节良恶性的鉴别诊断价值。方法 回顾性分析连续接受超声引导下细针穿刺活检(FNAB)或手术的甲状腺微小结节患者,采用甲状腺专用表面线圈对其进行磁共振平扫及 ZOOMit DWI 检查,DWI 采用 300 s/mm²、800 s/mm² 和 1400 s/mm² 3 个 b 值,分别记作 b300、b800、b1400。测量这 3 个 b 值下结节的 ADC 值,比较不同 b 值下良性和恶性结节 ADC 值的差异,通过受试者工作特征曲线(ROC)评估这 3 个诊断指标的诊断效能。结果 最终纳入 65 个甲状腺微小结节,恶性 37 个[25 例患者,男性 7 例,女性 18 例,年龄(41.78±11.71)岁],良性 28 个[20 例患者,男性 6 例,女性 14 例,年龄(43.60±10.82)岁]。恶性结节的 ADC 值在 b300、b800 和 b1400 下均低于良性结节($P < 0.001$),3 种 b 值下 ADC 值的曲线下面积(AUC)分别为 0.898、0.911、0.930,3 组间 AUC 比较均无统计学差异($P > 0.05$)。结论 不同 b 值 DWI 的 ADC 值均可有效鉴别甲状腺微小结节的良恶性,但其鉴别诊断效能无明显差异。

关键词:磁共振成像;扩散加权成像;表观扩散系数;甲状腺微小结节

中图分类号:R445.2

文献标识码:A

文章编号:1001-5817(2025)04-0619-05

doi:10.3969/j.issn.1001-5817.2025.04.011

Differential diagnostic value of ADC values obtained with a thyroid-specific surface coil in differentiating benign from malignant thyroid micronodules

ZHOU Jianshou, LIU Hong, ZHAO Zhengkai

(Department of Radiology, The Third People's Hospital of Chengdu, Chengdu 610031, Sichuan, China)

Abstract: **Objective** To evaluate the differential diagnostic value of apparent diffusion coefficient (ADC) values derived from diffusion-weighted imaging (DWI) with different b-values (300 s/mm², 800 s/mm², 1400 s/mm²) obtained with a thyroid-specific surface coil in differentiating benign from malignant thyroid micronodules. **Methods** A retrospective analysis was conducted on consecutive patients with thyroid micronodules who underwent ultrasound-guided fine-needle aspiration biopsy (FNAB) or surgery. All patients were examined using a thyroid-specific surface coil for conventional magnetic resonance imaging (MRI) and ZOOMit DWI sequences with b-values of 300 s/mm² (b300), 800 s/mm² (b800), and 1400 s/mm² (b1400). ADC values of nodules were measured under each b-value. Differences in ADC values between benign and malignant nodules were compared, and the diagnostic efficacy of these three indicators was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** A total of 65 thyroid micronodules were included, with 37 malignant nodules [from 25 patients: 7 males and 18 females, aged (41.78±11.71) years] and 28 benign nodules [from 20 patients: 6 males and 14 females, aged (43.60±10.82) years]. The ADC values of malignant nodules were

基金项目:成都市卫生健康委员会项目(2022598、2024638);四川省医学会(恒瑞)科研基金项目(2021HR53)

第一作者:周建收,医学博士,副主任医师,研究方向:头颈及骨肌影像诊断,E-mail:zhoujianshou@126.com

通讯作者:赵正凯,副主任医师,研究方向:头颈及心脏影像诊断,E-mail:zzkdoctor@163.com

significantly lower than those of benign nodules at b300, b800, and b1400 (all $P < 0.001$). The areas under the curve (AUC) of ADC values for the three b-values were 0.898, 0.911, and 0.930, respectively. No statistically significant differences were observed in AUC among the three groups (all $P > 0.05$). **Conclusion** ADC values derived from DWI with different b-values are effective in differentiating benign from malignant thyroid micronodules, but their diagnostic efficacy show no significant differences.

Key words: magnetic resonance imaging; diffusion-weighted imaging; apparent diffusion coefficient; thyroid micronodules

根据 2020 年的文献报道^[1],甲状腺结节在我国健康人群中的检出率高达 20.4%。根据世界卫生组织^[2-3]的定义,最大径 ≤ 10 mm 的甲状腺结节称为微小结节,包括甲状腺微小乳头状癌(papillary thyroid microcarcinoma,PTMC)。尽管大多数 PTMC 表现为良性行为,但部分 PTMC 可出现甲状腺外侵犯、颈部淋巴结转移和远处转移等侵袭性行为^[4]。超声为检测甲状腺结节最常用的影像学方法,超声引导下细针穿刺活检(fine-needle aspiration biopsy,FNAB)可获得病理结果,是甲状腺结节最可靠的诊断手段^[5]。然而最新美国甲状腺协会 2015 年指南不推荐对 PTMC 进行诊断性 FNAB,并强调需要研究探索新的可靠方法以确定其危险因素,从而指导治疗^[4]。因此,寻找一种非侵入性准确的影像方法来评估甲状腺微小恶性结节至关重要。

磁共振扩散加权成像(diffusion weighted imaging,DWI)通过测量水分子扩散运动,可提供肿瘤病理特征(如细胞密度和增殖活性)的重要信息。与良性肿瘤相比,恶性肿瘤常表现出水分子扩散受限、表观扩散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)降低的特点,为良恶性肿瘤的鉴别提供了依据。研究^[6-10]表明,恶性甲状腺结节的 ADC 值明显小于良性甲状腺结节,有助于区分甲状腺结节的良恶性。b 值是 DWI 的关键参数,与图像质量和诊断效能密切相关。之前国内外多数研究^[6-7,11-14] DWI 采用常规 b 值($b \leq 1000$ s/mm²),近来部分学者应用高 b 值($b > 1000$ s/mm²)进行研究,认为高 b 值 DWI 可有效鉴别甲状腺乳头状癌及良性结节,并认为高 b 值 DWI 的诊断效能优于常规 b 值^[8-10]。高 b 值 DWI 的 ADC 值对甲状腺微小结节良恶性的鉴别诊断效能是否优于常规 b 值的相关研究报道较少。本研究通过比较甲状腺专用表面线圈不同 b 值(300 s/mm²、800 s/mm²、1400 s/mm²)DWI 的 ADC 值,以评估其对甲状腺微小结节良恶性的鉴别诊断价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2023 年 1 月至 2024 年 10 月在成都市第三人民医院因甲状腺微小结节行超声引导下 FNAB 或甲状腺手术,并术前进行了甲状腺

MRI 平扫及多 b 值 DWI 检查的 45 例患者。纳入标准:①临床医生确认有甲状腺结节,且甲状腺结节最大径 ≤ 10 mm;②术前行 MRI 平扫及多 b 值 DWI 检查;③行 FNAB 或手术获得病理结果。排除标准:①颈部(包括甲状腺)放疗、化疗及手术的患者;②MRI 检查所示结节与 FNAB 或手术结节无法匹配者;③MRI 图像质量达不到诊断标准者。统计患者的性别、年龄、MRI 图像、病理结果资料。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,经成都市第三人民医院伦理委员会批准(伦理号:成都三院伦 2021-S-103),受试者知情同意。

1.2 检查方法 MRI 检查采用 Siemens 3.0 T 磁共振扫描仪(Skyra Siemens,Germany)及 16 通道甲状腺专用表面线圈(TH160-3T,苏州众志医疗科技有限公司,中国)。扫描前指导患者进行呼吸配合训练,嘱其在检查过程中保持静息状态,避免吞咽动作及大幅度呼吸运动。扫描序列按以下顺序进行:冠状位 T2WI、轴位 T1WI 和 T2WI,以及 3 种 b 值的轴位 DWI。DWI 检查采用基于并行传输技术的选择性激发成像技术(Zoomed imaging with parallel transmission technique,ZOOMit)序列。b 值取 300 s/mm²、800 s/mm² 和 1400 s/mm²,分别记作 b300、b800 和 b1400。扫描参数见表 1。

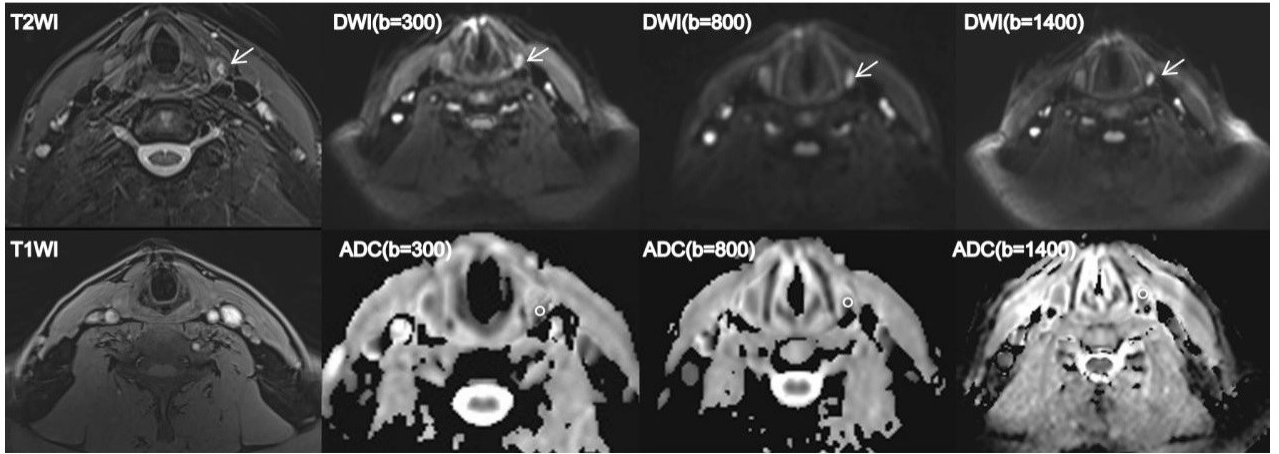
表 1 甲状腺 MRI 扫描参数

参数	冠状位	轴位		DWI
	T2WI	T1WI	T2WI	
序列	TSE	TSE	TSE	ZOOMit
重复时间/ms	2100	1490	3090	5799
回波时间/ms	111	13	106	70
视野/mm	160×160	160×160	160×160	223×65
采集矩阵	256×320	256×320	256×320	110×100
层厚/mm	3	2	2	3
层间距/mm	0.6	0.4	0.4	0.6

1.3 图像分析 测量甲状腺结节的 ADC 值:由两名有影像诊断经验的放射科医生完成。首先两名医生各自阅片,根据 FNAB 或手术记录确定结节的 MRI 位置,意见不一致时咨询穿刺或手术医生,经讨论后达成一致意见。利用 Siemens 3.0 T MRI 的后处理工作站,在 ZOOMit DWI 序列对应的 ADC 图上勾画感兴

趣区,得到相应的 ADC 值,取两位医生测值的平均值(见图 1)。甲状腺左侧叶微小结节,T2WI 呈高低混杂信号(箭头),T1WI 显示不清,3 种 b 值下相对于正常

甲状腺 DWI 均呈高信号(箭头),ADC 图均呈低信号,圆圈为测量的感兴趣区。手术病理证实均为甲状腺乳头状癌。



注:b 值分别为 300 s/mm²、800 s/mm²、1 400 s/mm²。

图 1 甲状腺左侧叶微小结节的平扫、多 b 值 DWI 及 ADC

1.4 统计学方法 采用 SPSS 27.0 软件对数据进行统计分析。两位观察者测量的甲状腺结节的 ADC 值的一致性采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)分析。对数据进行正态性检验,呈正态分布的定量变量以($\bar{x} \pm s$)表示。应用独立样本 *t* 检验对良恶性结节不同 b 值的 ADC 值进行比较。通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线来获取 ADC 值的诊断阈值、曲线下面积(area under curve, AUC)、敏感度和特异度。对比分析 ROC 曲线,比较 3 种 b 值 ADC 值的鉴别诊断效能。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 本研究最终纳入 45 例患者的 65 个甲状腺微小结节,其中恶性结节 37 个[25 例患者,男性 7 例,女性 18 例,年龄(41.78 ± 11.71)岁],良性结节 28 个[20 例患者,男性 6 例,女性 14 例,年龄(43.60 ± 10.82)岁]。良性结节病理类型包括:结节性甲状腺肿 20 个,甲状腺腺瘤 5 个,桥本甲状腺炎结节 3 个;恶性结节均为甲状腺乳头状癌。

2.2 一致性分析 两位观察者测量的甲状腺结节(包括良性和恶性结节)的 ADC 值的一致性非常好,b300、b800 和 b1400 ICC 分别为 0.900、0.875、0.869。

2.3 甲状腺良恶性微小结节的 ADC 值比较 3 种 b 值下良性结节的 ADC 平均值均高于恶性结节,差异具有统计学意义($P < 0.001$),见表 2。

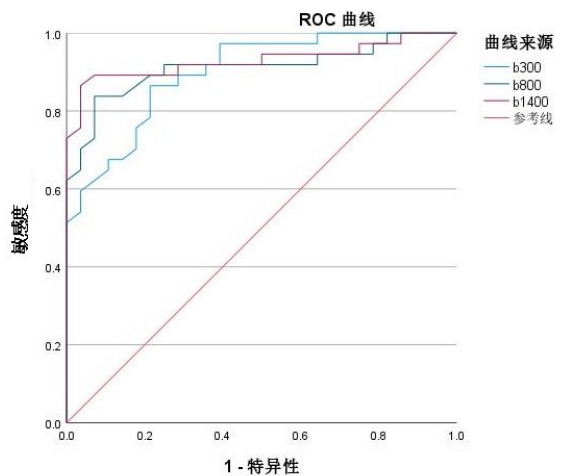
2.4 ADC 值预测甲状腺恶性微小结节的 ROC 曲线分析 基于 ADC 值构建的预测甲状腺恶性微小结节的 ROC 曲线结果显示,b300、b800 和 b1400 的 AUC

分别为 0.898、0.911、0.930,3 组之间 AUC 比较差异无统计学意义($P > 0.05$);其中 b1400 ADC 值的 AUC 最高,最佳诊断临界值为 $1.06 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$,即 ADC 值 $< 1.06 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时诊断为恶性结节,敏感度为 86.5%,特异度为 96.4%。见图 2。

表 2 甲状腺良恶性微小结节的 ADC 值比较

单位: $\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

b 值	良性结节 (n=28)	恶性结节 (n=37)	t	P
b300	2.16 ± 0.52	1.41 ± 0.32	7.191	<0.001
b800	1.63 ± 0.38	1.05 ± 0.28	7.173	<0.001
b1400	1.56 ± 0.38	0.97 ± 0.26	7.360	<0.001



注:结节良恶性为离散型数据,导致 ROC 曲线出现锯齿状形态。

图 2 3 种 b 值 DWI 的 ADC 值预测甲状腺恶性微小结节的 ROC 曲线

3 讨论

DWI 基于水分子的扩散运动来探测不同组织结构及功能的变化,能够反映良恶性病变的病理状况,扩散受限区域呈现为高信号。然而 DWI 的信号强度并非仅取决于被测组织的扩散率,其还具有 T2 加权的特性,即 T2 穿透效应。所以当病变区域显示为高信号时,很难确切判定该信号增高是源于扩散受限,还是 T2 穿透效应所引起。ADC 图不仅可避免 T2 穿透效应的干扰,还能通过测量病变 ADC 值定量辅助判断甲状腺病变的性质^[15]。研究表明^[6-10],恶性甲状腺结节的 ADC 值明显小于良性甲状腺结节,有助于区分甲状腺结节的良恶性。在本研究中,恶性甲状腺微小结节不同 b 值的 ADC 值均明显小于良性微小结节,这与之前的研究一致。此差异与结节的病理特征密切相关,恶性结节相较良性结节细胞密度更高,细胞核浆比增大,纤维化程度更显著,导致水分子扩散受限更明显^[11]。在其他器官,也有研究认为高 b 值 DWI 通过增强对正常组织和良性组织的抑制,可提高肿瘤的显示率、诊断准确性及分级能力^[16-17]。但高 b 值 DWI 检查也面临技术挑战,包括信噪比降低、解剖结构变形及伪影增多,尤其在甲状腺等浅表器官中更为显著。为了提高图像质量,本研究采用了 16 通道甲状腺专用表面线圈进行甲状腺 MRI 扫描,同时采用了 ZOOMit 技术。之前研究表明,应用甲状腺专用表面线圈可明显改善甲状腺 MRI 图像质量^[18]。ZOOMit DWI 相比传统常规单次激发平面回波序列具有更高的信噪比,图像变形、伪影和模糊度可得到明显提高或改善^[15]。正是这些设备及技术的进步为高 b 值 DWI 检查甲状腺结节特别是微小结节提供了可能。本研究表明,应用甲状腺专用表面线圈和 ZOOMit DWI 对甲状腺微小结节进行 MRI 检查,图像质量整体满意,达到研究和诊断要求。

本研究中 DWI 扫描采用了 3 种 b 值,分别为 300 s/mm²、800 s/mm² 和 1400 s/mm²,其中 b300、b800 为常规 b 值,b1400 为高 b 值,以用于评估高 b 值较常规 b 值是否具有诊断优势。研究表明 b300、b800 和 b1400 ADC 值的 AUC 分别为 0.898、0.911、0.930,对甲状腺微小结节良恶性均有很高的鉴别诊断效能。之前研究^[8,10,19]显示不同 b 值的 ADC 值均有很高的 AUC 值,这与本研究结果相似,但均未对其 AUC 值进行统计学分析。本研究表明尽管 b1400 的 AUC 值最高,但 ROC 曲线比较表明 3 种 b 值的 ADC 值鉴别诊断效能无差异。因此高 b 值较常规 b 值的 ADC 值在甲状腺微小结节良恶性鉴别诊断中无明显优势。分析其原因可能为随着 b 值的升高,虽然恶性结节弥散受限表现更为明显^[20-21],但因 b 值导致的良恶性结节

ADC 值的差异并不足以影响鉴别诊断效能。

本研究存在以下局限性:①样本量相对较小,可能对研究结果的外部效度产生一定影响,后续可开展多中心、大样本研究以提升结论的可靠性;②本研究仅采用 ADC 值作为鉴别诊断指标,未整合 DWI、T2WI 等多序列 MRI 参数,后续将补充多模态影像分析;③未评估结节位置(单侧/双侧)对诊断结果的影响,下一步可对结节位置与良恶性的关系进一步研究;④设备依赖性限制结论推广性。当前结论基于 Siemens 3.0 T 设备和 TH160-3T 线圈获得,后续拟在其它机型开展跨平台验证。总之,常规 b 值和高 b 值 DWI 的 ADC 值均可有效鉴别甲状腺微小结节的良恶性,但其鉴别诊断效能无明显差异。

参考文献:

- [1] LI Y Z, TENG D, BA J M, et al. Efficacy and safety of long-term universal salt iodization on thyroid disorders: epidemiological evidence from 31 provinces of mainland China[J]. *Thyroid*, 2020, 30(4): 568-579.
- [2] DIGHE M, LUO S, CUEVAS C, et al. Efficacy of thyroid ultrasound elastography in differential diagnosis of small thyroid nodules[J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82(6): e274-280.
- [3] SOBIN L H. Histological typing of thyroid tumours[J]. *Histopathology*, 1990, 16(5): 513.
- [4] HAUGEN B R, ALEXANDER E K, BIBLE K C, et al. 2015 American thyroid association management guidelines for adult patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer: the American thyroid association guidelines task force on thyroid nodules and differentiated thyroid cancer[J]. *Thyroid*, 2016, 26(1): 1-133.
- [5] KIM S K, LEE J H, WOO J W, et al. Prediction table and nomogram as tools for diagnosis of papillary thyroid carcinoma: combined analysis of ultrasonography, fine-needle aspiration biopsy, and BRAF V600E mutation[J]. *Medicine*, 2015, 94(21): e760.
- [6] 湛业荣, 陆瑜, 单秀红, 等. eADC 值在甲状腺乳头状癌与甲状腺腺瘤鉴别诊断中的价值[J]. *临床放射学杂志*, 2018, 37(7): 1092-1096.
- [7] 王勇, 张晖. 磁共振扩散加权成像的表观扩散系数值在鉴别均质良恶性甲状腺微小结节中的作用[J]. *磁共振成像*, 2017, 8(11): 822-826.
- [8] WANG Q J, GUO Y, ZHANG J, et al. Diagnostic value of high b-value (2000 s/mm²) DWI for thyroid micronodules [J]. *Medicine*, 2019, 98(10): e14298.
- [9] 张君, 王庆军, 张云, 等. 3.0 T 磁共振 T2WI 联合高 b 值 DWI 对甲状腺微小乳头状癌的诊断价值[J]. *临床放射学杂志*, 2020, 39(6): 1080-1084.
- [10] WANG Q J, GUO Y, ZHANG J, et al. Utility of high b-value (2000 sec/mm²) DWI with RESOLVE in differen-

tiating papillary thyroid carcinomas and papillary thyroid microcarcinomas from benign thyroid nodules [J]. PLoS One, 2018, 13(7): e0200270.

- [11] BOZGEYIK Z, COSKUN S, FERDINA DAGLI A F, et al. Diffusion-weighted MR imaging of thyroid nodules [J]. Neuroradiology, 2009, 51(3): 193-198.
- [12] VERMOOLEN M A, KWEE T C, NIEVELSTEIN R J. Apparent diffusion coefficient measurements in the differentiation between benign and malignant lesions: a systematic review [J]. Insights into Imaging, 2012, 3(4): 395-409.
- [13] MUTLU H, SIVRIOGLU A K, SONMEZ G, et al. Role of apparent diffusion coefficient values and diffusion-weighted magnetic resonance imaging in differentiation between benign and malignant thyroid nodules [J]. Clin Imaging, 2012, 36(1): 1-7.
- [14] ABDEL RAZEK A K, SADEK A G, KOMBAR O R, et al. Role of apparent diffusion coefficient values in differentiation between malignant and benign solitary thyroid nodules [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2008, 29(3): 563-568.
- [15] 何珍珍, 周清清, 余玉盛, 等. 基于常规 DWI 和 ZOOMit DWI 技术对甲状腺图像质量的对比评估 [J]. 中国医学计算机成像杂志, 2020, 26(4): 324-328.
- [16] KWAK J T, XU S, WOOD B J, et al. Automated prostate

cancer detection using T2-weighted and high-b-value diffusion-weighted magnetic resonance imaging [J]. Med Phys, 2015, 42(5): 2368-2378.

- [17] SUI Y, WANG H, LIU G Z, et al. Differentiation of low- and high-grade pediatric brain tumors with high b-value diffusion-weighted MR imaging and a fractional order Calculus model [J]. Radiology, 2015, 277(2): 489-496.
- [18] 杨倩, 邹丽艳, 刘周, 等. 甲状腺专用表面线圈在甲状腺 MRI 中的图像质量研究 [J]. 磁共振成像, 2021, 12(2): 57-61.
- [19] 孔美宝, 魏欣冉, 吴艳凯, 等. 弥散加权成像及其表观弥散系数在诊断甲状腺良恶性结节中的价值 [J]. 河北医药, 2024, 46(14): 2097-2102.
- [20] MARTIN-NOGUEROL T, SANTOS-ARMENTIA E, FERNANDEZ-PALOMINO J, et al. Role of advanced MRI sequences for thyroid lesions assessment. A narrative review [J]. Eur J Radiol, 2024, 176: 111499.
- [21] WANG X Y, WANG P, ZHANG H, et al. Multiplexed sensitivity-encoding versus single-shot echo-planar imaging: a comparative study for diffusion-weighted imaging of the thyroid lesions [J]. Jpn J Radiol, 2024, 42(3): 268-275.

收稿日期: 2025-04-27; 修回日期: 2025-05-19

(本文编辑 覃黎黎)

(上接第 618 页)

- [10] ROCHA S M, NASCIMENTO D, CARDOSO A M, et al. STEAP1 regulation and its influence modulating the response of LNCaP prostate cancer cells to bicalutamide, enzalutamide and apalutamide [J]. Mol Med Rep, 2023, 27(2): 52.
- [11] 秦子家, 尹思文, 何卫阳. ADT 对前列腺癌伴 CVD 患者的心血管作用研究进展 [J]. 临床泌尿外科杂志, 2022, 37(10): 796-799, 805.
- [12] 祁峰, 娄可心, 李潇, 等. 多西他赛新辅助化疗在局部进展期及寡转移前列腺癌治疗中的疗效分析 [J]. 临床泌尿外科杂志, 2022, 37(6): 447-451.
- [13] BONDE T M, GARMO H, STATIN P, et al. Risk of prostate cancer death after radical radiotherapy with neoadjuvant and adjuvant therapy with bicalutamide or gonadotropin-releasing hormone agonists [J]. Acta Oncol, 2023, 62(12): 1815-1821.
- [14] 万克松, 胡卫列, 夏照明, 等. 手术去势间断联合抗雄激素药物治疗晚期前列腺癌临床疗效分析 [J]. 实用医学

杂志, 2012, 28(3): 421-423.

- [15] 万克松. 手术去势间断联合抗雄激素药物治疗晚期前列腺癌临床疗效研究 [D]. 广州: 南方医科大学, 2012: 19, 36.
- [16] WU B, SHEN P F, YIN X, et al. Analysis of adverse event of interstitial lung disease in men with prostate cancer receiving hormone therapy using the food and drug administration adverse event reporting system [J]. Br J Clin Pharmacol, 2023, 89(2): 440-448.
- [17] 曲静坤. 比卡鲁胺联合戈舍瑞林间歇性治疗局部晚期前列腺癌的临床评价 [J]. 中国药业, 2016, 25(11): 46-48.
- [18] JOSEFSSON A, JELLVERT Å, HOLMBERG E, et al. Effect of docetaxel added to bicalutamide in Hormone-Naïve non-metastatic prostate cancer with rising PSA, a randomized clinical trial (SPCG-14) [J]. Acta Oncol, 2023, 62(4): 372-380.

收稿日期: 2025-04-15; 修回日期: 2025-05-21

(本文编辑 钟琳)