

基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标的 列线图鉴别前列腺良恶性病变的价值

罗珊¹, 宗华², 胡运霞¹, 王玲¹, 向新¹

(1. 武汉市第八医院超声影像科, 湖北 武汉 430012; 2. 新疆医科大学第八附属医院超声科, 新疆 乌鲁木齐 830000)

【摘要】目的:建立基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标的列线图,并评估其对前列腺良恶性病变的鉴别价值。**方法:**选取 2022 年 1 月—2023 年 12 月在武汉市第八医院接受直肠彩色多普勒超声检查并经病理证实的前列腺结节患者 100 例为研究对象,其中前列腺增生 44 例,前列腺癌 56 例,通过随机抽样将患者按 7:3 的比例分成训练集(n=70)与验证集(n=30),并根据病理学检查结果进一步将患者分为良性组、恶性组。收集所有患者的超声特征及临床相关指标,通过单因素和多因素 Logistic 回归分析前列腺良恶性病变的独立影响因素并构建列线图模型,采用受试者工作特征(ROC)曲线分析列线图模型的诊断效能。**结果:**训练集中良性组、恶性组分别有 31 例、39 例,验证集中良性组、恶性组分别有 13 例和 17 例。训练集与验证集中良性组、恶性组的年龄、病灶内部回声、血流分级、收缩期血流速度(Vs)、舒张期血流速度(Vd)、阻力指数(RI)及前列腺特异性抗原(PSA)对比,差异均有统计学意义($P<0.05$);多因素 Logistic 回归分析显示,年龄、病灶内部回声、血流分级、RI、PSA 均是前列腺良恶性病变的独立影响因素($P<0.05$)。基于以上独立影响因素构建的列线图模型在训练集的 AUC 为 0.903(95%CI:0.824~0.957),敏感度为 87.10%,特异度为 82.05%,在验证集的 AUC 为 0.887(95%CI:0.755~0.936),敏感度为 84.62%,特异度为 82.35%。**结论:**基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标构建的列线图对前列腺良恶性病变具有良好的鉴别价值。

【关键词】 前列腺肿瘤;超声检查,多普勒,彩色

【中图分类号】 R737.25;R445.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1008-1062(2025)03-0200-05

DOI:10.12117/jccmi.2025.03.010

The value of nomogram based on rectal color Doppler ultrasound features combined with clinical indicators in identifying benign and malignant prostatic lesions

LUO Shan¹, ZONG Hua², HU Yun-xia¹, WANG Ling¹, XIANG Xin¹

(1. Department of Ultrasound Imaging, Wuhan Eighth Hospital, Wuhan 430012, China;

2. Department of Ultrasound, the Eighth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830000, China)

Abstract: Objective: To establish a nomogram based on rectal color Doppler ultrasound features combined with clinical indicators and to assess its discriminatory value for benign and malignant prostate lesions. **Methods:** One hundred patients with prostate nodules who underwent rectal color Doppler ultrasonography and were confirmed by pathology at the Eighth Hospital of Wuhan City from January 2022 to December 2023 were selected for the study, among which 44 cases of prostatic hyperplasia and 56 cases of prostate cancer. The patients were divided into training set (n=70) and validation set (n=30) by random sampling in the ratio of 7:3 and were further categorized into benign and malignant groups on the basis of pathological findings. The ultrasound characteristics and clinical related indexes of all patients were collected, and the independent influencing factors of benign and malignant prostate lesions were analyzed by univariate and multivariate Logistic regression and a column chart model was constructed, and the diagnostic efficacy of the column chart model was analyzed by using receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results:** There were 31 benign and 39 malignant cases in the training set, respectively, and the benign and malignant groups in the validation set were 13 and 17, respectively. Comparison of age, internal echo of lesions, flow grading, systolic flow velocity (Vs), diastolic flow velocity (Vd), resistance index (RI), and prostate specific antigen (PSA) between the benign and malignant groups in the training set and the validation set showed statistically significant differences ($P<0.05$). Multifactorial Logistic regression analysis showed that age, internal echogenicity of the lesion, blood flow grading, RI, and PSA were independent influencing factors for benign and malignant prostate lesions ($P<0.05$). The AUC of the column line graph model constructed based on the above risk factors was 0.903 (95% CI: 0.824~0.957) with a sensitivity of 87.10% and a specificity of 82.05% in the training set, and 0.887 (95% CI: 0.755~0.936) with a sensitivity of 84.62% and a specificity of 82.35% in the validation set. **Conclusion:** Nomograms constructed on the basis of rectal color Doppler ultrasound features combined with clinical indicators have good discriminatory value for benign and malignant prostate

【收稿日期】 2024-06-21

【作者简介】 罗珊(1986-),女,四川成都人,主治医师。E-mail:luoshan421@126.com

【通信作者】 向新,武汉市第八医院超声影像科,430012。E-mail:317134539@qq.com

【基金项目】 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01A162)。

lesions.

Key words: Prostatic Neoplasms; Ultrasonography, Doppler, Color

前列腺疾病是一种老年男性常见的生殖系统疾病,主要为前列腺增生和前列腺癌。其中,前列腺癌在我国男性恶性肿瘤中位居第 6 名,且发病率呈逐渐上升趋势,严重危害患者的身心健康^[1]。前列腺癌早期临床表现不典型,常被误诊为前列腺增生,所以大部分患者确诊时已进展到晚期^[2]。血清前列腺特异性抗原(Prostate specific antigen,PSA)、游离/总前列腺特异性抗原(Free/total prostate specific antigen,f/tPSA)等临床指标在前列腺癌中具有较高的敏感度,且检测成本低,已被广泛应用于诊断前列腺癌中^[3]。但有研究报道^[4]PSA、f/tPSA 等指标在诊断前列腺癌中特异度较低。超声因具有经济、便捷、耐受性好等优势被广泛应用于前列腺疾病的检查中,其中直肠彩色多普勒超声已成为前列腺癌的主要筛查手段,具有声频率高、图像分辨力好等特点,可通过清楚显示血流方向、速度等量化评估肿瘤情况,从而为评估肿瘤良恶性提供参考^[5]。近年来,列线图作为一种可以定量、客观预测临床事件的统计学模型,已在多种疾病的鉴别诊断、风险预测中广泛应用^[6]。目前,应用列线图模型鉴别诊断前列腺良恶性病变的研究相对较少。本研究基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标构建列线图模型,旨在为临床诊治前列腺良恶性病变提供更为直观、简便的参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 1 月—2023 年 12 月在武汉市第八医院接受直肠彩色多普勒超声检查并经病理证实的前列腺结节患者 100 例为研究对象,其中前列腺增生 44 例,前列腺癌 56 例。纳入标准:①所有患者均通过前列腺穿刺活检或全切除术活检确诊;②在本院首次就诊,且可配合临床诊疗者;③超声检查资料及临床资料完整者。排除标准:①既往有前列腺手术史或放化疗史;②对超声造影剂、药物过敏者;③因直肠手术史或个人原因不能接受直肠彩色多普勒超声检查者;④合并其他恶性肿瘤、凝血功能障碍者;⑤超声图像质量差,影响评估判断。通过随机抽样将患者按 7:3 的比例分成训练集($n=70$)与验证集($n=30$),并根据病理学结果检查进一步将患者分为良性组、恶性组。

1.2 直肠彩色多普勒超声检查

采用 BK flex Focus 800 彩色多普勒超声诊断仪,8808e 探头,频率为 4~13 MHz。患者取仰卧位,双腿屈曲,探头常规消毒后涂抹耦合剂,并套上安全套再次涂抹耦合剂,轻柔按摩肛门后将探头缓慢插

入直肠内观察前列腺情况,包括前列腺大小、形态、病灶内部回声、有无钙化等。通过彩色多普勒成像观察前列腺实质及彩色血流分布情况并进行血流分级,另采用脉冲多普勒测量病灶部位的收缩期血流速度(Systolic blood flow velocity, V_s)、舒张期血流速度(Diastolic blood flow velocity, V_d)及阻力指数(Resistance index, RI)。以上操作均由一名具有 10 年以上工作经验的高年资超声科医师完成,另由两名高年资医师采用盲法独立评估前列腺超声图像,评估结果不一致时进行讨论,直至得出一致结论。

1.3 血清 PSA、f/tPSA 检测

于前列腺穿刺活检或全切术前采集患者的清晨空腹静脉血 3 mL,以 3 500 r/min 的转速离心 5 min ($r=8$ cm),取上层血清,采用酶联免疫吸附试验检测血清 PSA、f/tPSA 水平。

1.4 列线图模型构建及评价

通过单因素分析训练集与验证集中良性组、恶性组的超声影像资料、临床指标的差异,并将 $P<0.05$ 的指标纳入多因素 Logistic 回归分析进行直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标的列线图模型构建;采用受试者工作特征(Receiver operating characteristic, ROC)曲线分析列线图模型的诊断效能,并在验证集中进行验证。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 23.0 软件和 R 软件(3.6.1)对数据进行统计学分析,计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,行 t 检验;计数资料以($n(\%)$)表示,行 χ^2 检验,多因素 Logistic 回归分析前列腺良恶性病变的独立影响因素;通过 R 软件的“rms”软件包构建列线图模型;采用 ROC 曲线分析列线图模型在训练集、验证集的诊断效能。 $P<0.05$ 提示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 前列腺增生与前列腺癌的超声图像对比

前列腺增生患者前列腺形态饱满,体积增大,实质内部回声欠均匀,部分出现左右叶不对称,实质内增生结节主要以等回声或较强回声为主,边界清晰(图 1);前列腺癌患者的前列腺切面形态失常,体积增大,结节以低回声为主,边界模糊,发生在外腺,内部回声不均匀,并突向包膜外(图 2)。

2.2 训练集与验证集中前列腺良恶性病变患者的超声特征及临床指标对比

训练集中良性患者有 31 例,恶性患者有 39 例;验证集中良性患者有 13 例,恶性患者有 17 例。训练

集与验证集中前列腺良恶性病变患者的年龄、病灶内部回声、血流分级、Vs、Vd、RI、PSA 对比,差异均有统计学意义($P<0.05$)(表 1)。

2.3 前列腺良恶性病变的多因素 Logistic 回归分析

将上述具有统计学意义(年龄、病灶内部回声、血流分级、Vs、Vd、RI、PSA)的指标纳入 Logistic 回归分析,结果显示,年龄、病灶内部回声、血流分级、RI、PSA 均是前列腺良恶性病变的独立影响因素(表 2)。

2.4 列线图的构建及对前列腺良恶性病变的诊断效能

基于年龄、病灶内部回声、血流分级、RI、PSA 等独立影响因素构建列线图模型,利用 R 软件绘制列线图(图 3)。列线图在训练集中的 AUC 为 0.903 (95%CI:0.824~0.957),敏感度为 87.10%,特异度为 82.05%;列线图在验证集中的 AUC 为 0.887(95%CI: 0.755~0.936),敏感度为 84.62%,特异度为 82.35% (图 4)。

3 讨论

随着人们生活方式的改变及人口老龄化的加

剧,前列腺癌的发病率呈逐年增加的趋势,严重威胁着男性群体的身体健康^[7-8]。由于前列腺癌的早期临床表现不典型,所以大部分患者确诊时已发展为更高级别的前列腺癌,预后极差。因此,前列腺癌早期的鉴别诊断至关重要。目前 PSA 是应用最为广泛的前列腺癌筛查指标之一,但研究认为 PSA 的特异度较低^[9]。随着影像学检查技术的不断发展,直肠彩色多普勒超声已经被广泛应用于前列腺良恶性病变的鉴别诊断中,是目前早期筛查前列腺癌最有效的检查手段之一。

前列腺增生与前列腺癌虽然没有直接的因果联系,但两者往往在临床上同时存在,从而增加影像学的鉴别难度。本研究直肠彩色多普勒超声检查结果显示,前列腺增生患者的实质内部病灶回声主要以等回声或较强回声为主,且边界清楚,而前列腺癌主要以低回声为主,且边界比较模糊,与既往研究相符^[10]。当肿瘤生长时,因细胞的加快繁殖而使得细胞更加密集,而细胞的集合会表现为一种均匀的介质,可使得图像中的超声散射降低,即超声回声表现为低回声^[11]。但 Hoberück 等^[12]指出,超声虽然对弥漫型的前

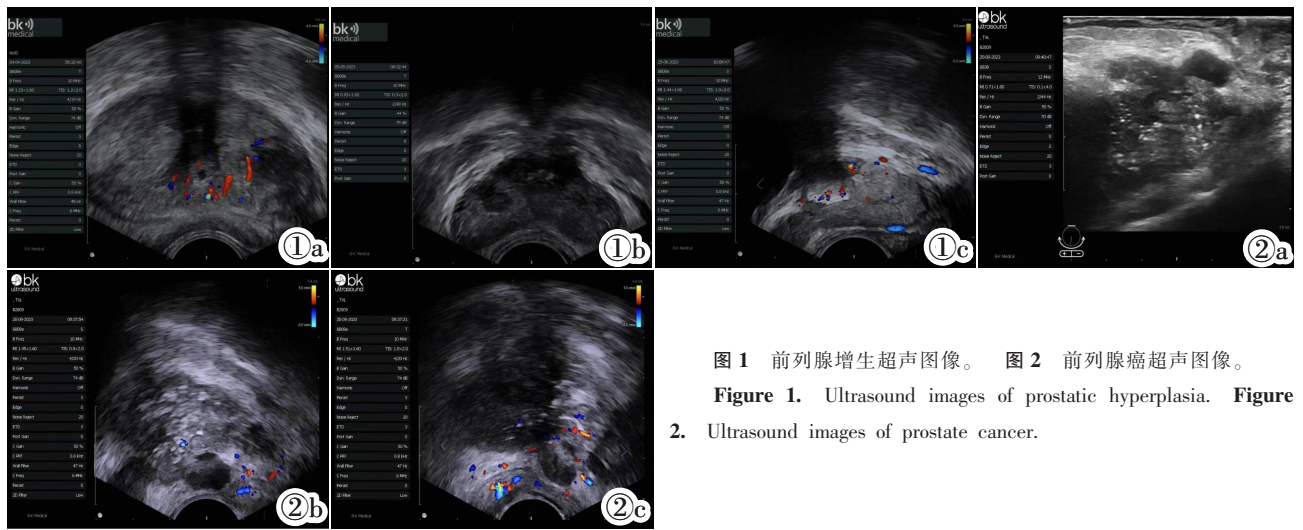


图 1 前列腺增生超声图像。 图 2 前列腺癌超声图像。
Figure 1. Ultrasound images of prostatic hyperplasia. Figure 2. Ultrasound images of prostate cancer.

表 1 训练集与验证集中前列腺良恶性病变患者的超声特征及临床指标对比

因素	训练集		t/χ^2	P	验证集		t/χ^2	P
	良性组(n=31)	恶性组(n=39)			良性组(n=13)	恶性组(n=17)		
年龄($\bar{x}\pm s$), 岁)	66.51±8.73	75.39±8.46	4.301	<0.001	63.57±5.14	74.66±6.38	5.119	<0.001
前列腺体积($\bar{x}\pm s$), mL)	33.26±5.34	34.61±6.15	0.966	0.337	33.05±4.81	33.87±5.13	0.446	0.659
病灶内部回声(n(%))	低回声	25(64.10)	8.504	0.004	4(30.77)	12(70.59)	4.693	0.030
	等回声/较强回声	22(70.97)			14(35.90)	9(69.23)		
钙化(n(%))	有	16(41.03)	0.006	0.939	5(38.46)	7(41.18)	0.023	0.880
	无	13(41.94)			18(58.06)	8(61.54)		
血流分级(n(%))	0~I 级	13(33.33)	6.740	0.009	9(69.23)	5(29.41)	4.693	0.030
	II~III 级	20(64.52)			11(35.48)	4(30.77)		
Vs($\bar{x}\pm s$), cm/s)	19.26±5.39	35.81±8.47	9.456	<0.001	21.54±3.45	33.63±3.89	8.850	<0.001
Vd($\bar{x}\pm s$), cm/s)	8.98±2.35	12.36±4.15	4.045	<0.001	9.14±2.21	11.58±3.67	2.117	0.043
RI($\bar{x}\pm s$)	0.55±0.07	0.74±0.09	9.655	<0.001	0.61±0.03	0.73±0.04	9.033	<0.001
PSA($\bar{x}\pm s$), ng/mL)	12.68±3.64	19.57±4.34	7.077	<0.001	13.98±1.57	16.84±2.17	4.010	<0.001
f/tPSA($\bar{x}\pm s$), ng/mL)	0.14±0.03	0.16±0.05	1.962	0.054	0.14±0.04	0.17±0.06	1.555	0.131

表 2 前列腺良恶性病变的多因素 Logistic 回归分析

变量	赋值	β 值	S.E 值	Wald 值	OR 值	95%CI	P 值
年龄(岁)	连续变量	1.034	0.422	6.004	2.812	1.230~6.431	0.014
病灶内部回声	低回声=1, 等回声/较强回声=0	1.135	0.361	9.885	3.111	1.533~6.313	0.002
血流分级(级)	0~I 级, II~III 级	0.839	0.297	7.980	2.314	1.293~4.142	0.005
Vs(cm/s)	连续变量	0.954	0.519	3.379	2.596	0.939~7.180	0.066
Vd(cm/s)	连续变量	0.861	0.446	3.727	2.366	1.492~5.229	0.054
RI	连续变量	1.027	0.320	10.300	2.793	1.542~4.939	0.001
PSA(ng/mL)	连续变量	1.015	0.297	11.679	2.759	1.025~4.320	0.001

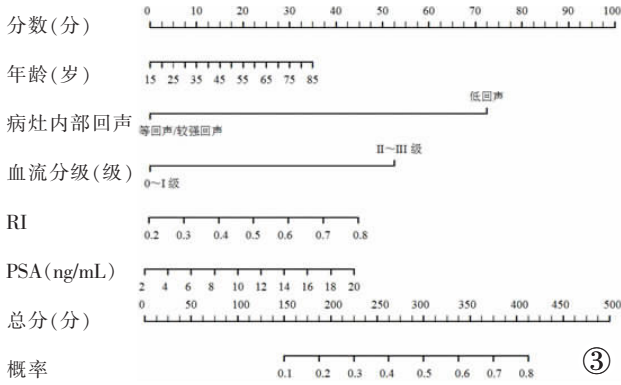


图 3 基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标构建的列线图。

Figure 3. A nomogram constructed based on rectal color Doppler ultrasound features combined with clinical indicators.

列腺癌具有一定的特异性,但如果操作者的临床经验欠缺,仍会发生漏诊的风险。本研究结果显示血流分级、Vs、Vd、RI 等超声特征均在前列腺增生与前列腺癌患者中存在一定的差异。血流分级与肿瘤生长中生成的血管因子密切相关,冯玉洁等^[13]研究结果显示血流为 II~III 级的前列腺癌患者其在发展过程中更易形成丰富的血管,进一步促进肿瘤的生长,与本研究前列腺癌患者血流分级主要以 II~III 级为主的结果相符。研究指出^[14],前列腺癌中需要提供充足的营养给肿瘤以达到实现快速生长并向周围蔓延的目的,而新生的血管在这个过程中扮演着重要角色,甚至会在多种血管生长因子的作用下出现高速湍流血流,从而在病灶周边表现出环状或半环状的丰富血流信号。然而,前列腺癌往往发生在外腺,被包膜的压迫作用比前列腺增生患者更加直接,因此 Vs、Vd 及 RI 均高于前列腺增生患者,本研究结果与单保丁等^[15]的研究结果一致。本研究多因素 Logistic 回归分析显示,年龄、病灶内部回声、血流分级、RI、PSA 均是前列腺良恶性病变的独立影响因素,提示基于以上独立影响因素可为临床早期筛查前列腺癌提供指导。本研究中年龄越大的患者其恶性病变的可能性越大,与单锋芝等^[16]的研究结果相符,曹乃龙等^[17]也指出前列腺增生患者超声测定参数与年龄存在一定的相关性,对于前列腺增生的发生发展具有重要的临床意义,提示临床应加强对高龄患者的关注。PSA 是与男性生育能力密切相关的一种糖蛋白,

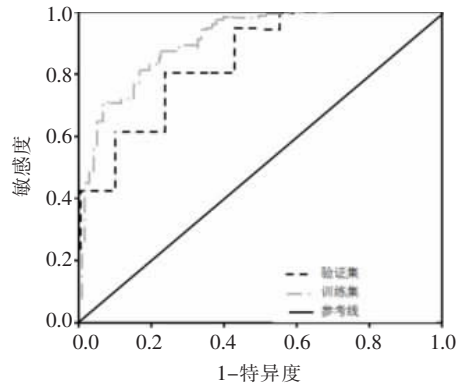


图 4 列线图诊断前列腺良恶性病变的 ROC 曲线。

Figure 4. The ROC curves for benign and malignant prostate lesions by nomogram.

一般情况下不会直接进入血液,但当前列腺癌变后会使血-上皮屏障受损,从而使 PSA 直接进入血液,因此血清中的 PSA 与前列腺恶性病变程度呈正相关^[18-19]。病灶内部回声、血流分级、RI 均为直肠彩色多普勒超声特征相关参数,研究进一步证实以上参数与前列腺良恶性病变存在密切关系,表明直肠彩色多普勒超声在前列腺良恶性病变中具有较高的鉴别价值。

然而,目前单一的指标已无法满足个体化的治疗需求,只有综合分析所获得的相关疾病信息才能准确实现对疾病的整体评估^[20]。列线图可个体化预测特定事件发生的风险概率,以图形的形式直观的体现各变量对事件的影响,已被临床广泛应用在疾病的诊断和预后评估中^[21]。因此,本研究基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标构建了相关列线图,并在训练集和验证集中均表现出了良好的诊断效能,该列线图在训练集和验证集中的 AUC 分别为 0.903、0.887,表明该列线图在鉴别前列腺良恶性病变中具有较好的价值。

本研究仍存在不足之处,研究样本量较小且为单中心研究,缺乏外部验证结果,尚需开展更大样本量、前瞻性或多中心的研究进行外部验证,为临床鉴别前列腺良恶性病变提供更客观准确的依据。

综上所述,基于直肠彩色多普勒超声特征联合临床指标构建的列线图对前列腺良恶性病变具有良好的鉴别价值。

[参考文献]

- [1]刘玉珊,徐冉,曾施,等.多种超声模式在前列腺癌诊断中的应用价值比较[J].中国临床医学影像杂志,2023,34(4):250-254.
- [2]张悦,于学伟,彭大振,等.FERMT1通过NF- κ B信号通路调控前列腺癌细胞增殖、迁移、侵袭及凋亡的实验研究[J].解剖科学进展,2024,30(2):165-169.
- [3]郭明宇,张宝岭,吴尚融,等.基于活检前炎症指标预测前列腺活检结果列线图的建立和验证[J].中华泌尿外科杂志,2023,44(10):752-760.
- [4]Lundgren PO, Kjellman A, Norming U, et al. Association between one-time prostate-specific antigen (PSA) test with free/total PSA ratio and prostate cancer mortality: A 30-year prospective cohort study[J]. BJU Int, 2021, 128(4): 490-496.
- [5]Novara G, Zattoni F, Zecchini G, et al. Role of targeted biopsy, perilesional biopsy, random biopsy, and their combination in the detection of clinically significant prostate cancer by mpMRI/transrectal ultrasonography fusion biopsy in confirmatory biopsy during active surveillance program [J]. Prostate Cancer Prostatic Dis, 2024, 27(1): 129-135.
- [6]Madendere S, Kilic M, Koseoglu E, et al. Rational use of Ga-68 PSMA PET-CT according to nomograms and risk groups for the detection of lymph node metastasis in prostate cancer [J]. Urol Oncol, 2024, 42(2): 29.e9-29.e15.
- [7]成艳平,温开伦,王玉明,等.多参数磁共振成像联合前列腺特异性抗原指标对前列腺癌诊断价值分析[J].临床军医杂志,2022,50(11):1177-1179.
- [8]顾美蓉,钱怡玲,徐晶晶,等.布托啡诺联合不同剂量右美托咪定对行经腹膜外入路单孔腹腔镜前列腺癌根治术前列腺癌患者影响[J].临床军医杂志,2021,49(9):994-998.
- [9]宋丽娜,令狐志宏,于珊珊.前列腺癌生物标志物的研究进展[J].中华实验外科杂志,2023,40(11):2426-2428.
- [10]但思宇,李渝,罗季平,等.经直肠超声联合超声造影在前列腺低回声病灶诊断中的应用价值[J].现代肿瘤医学,2023,31(11):2095-2101.
- [11]李渝,罗季平,但思宇,等.经直肠常规超声联合超声造影在前列腺良恶性病灶鉴别诊断中的应用[J].中国超声医学杂志,2023,39(3):287-291.
- [12]Hoferück S, Sommer U, Grey A, et al. Rapidly Evolving Diffuse Omental Carcinomatosis of Prostate Cancer in 68 Ga-PSMA PET/CT[J]. Clin Nucl Med, 2021, 46(4): 216-217.
- [13]冯玉洁,吴隘红,付启欢,等.基于超声图像特征机器学习预测前列腺癌危险度的价值[J].中国临床医学影像杂志,2022,33(1):28-32.
- [14]王雅轩,任明华.血管生成及干性特征相关标志物在前列腺癌中的研究进展[J].中华男科学杂志,2023,29(10):944-948.
- [15]单保丁,卢雪,王思琦,等.前列腺增生与前列腺癌老年患者经直肠彩色多普勒超声特点的比较[J].中国当代医药,2023,30(7):113-116.
- [16]单锋芝,高小超,刘进亮,等.前列腺癌患者血清PSA和总睾酮水平变化与病理Gleason评分和预后的相关性[J].中国卫生工程学,2024,23(1):101-102.
- [17]曹乃龙,陆奇杰,王啸虎,等.良性前列腺增生患者前列腺超声测定参数与年龄的相关性分析[J].中华男科学杂志,2017,23(4):315-318.
- [18]Rayn K, Deutsch I, Jeffers B, et al. Multiparametric MRI as a Predictor of PSA Response in Patients Undergoing Stereotactic Body Radiation Therapy for Prostate Cancer [J]. Adv Radiat Oncol, 2023, 9(3): 101408.
- [19]黄丹丹,冯倩茹,李增华,等.BP-MRI联合临床预测指标对前列腺癌的鉴别诊断价值[J].磁共振成像,2023,14(10):90-97.
- [20]谢迎东,孙帆,徐超丽.前列腺钙化灶、精索静脉曲张超声影像联合血清学指标列线图对前列腺癌的鉴别诊断价值[J].中华男科学杂志,2022,28(7):596-602.
- [21]Cui Y, Lin J, Sun D, et al. Nomogram for predicting the overall survival and cancer-specific survival of patients with intraductal carcinoma of the prostate [J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2024, 150(2): 45.
- (上接 193 页)
- [12]Zhou X, Zhang H, Jin X, et al. Ultra-low-dose spectral-detector computed tomography for the accurate quantification of pulmonary nodules: an anthropomorphic chest phantom study[J]. Diagn Interv Radiol, 2023, 29(5): 691-703.
- [13]Ma Y, Cheng S, Li J, et al. Preoperative CT-guided localization of pulmonary nodules with low-dose radiation [J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(7): 4295-4304.
- [14]张卓璐,陈菁,刘卓,等.深度学习重建算法对肺部CT定量分析及图像质量的影响[J].放射学实践,2023,38(4):434-440.
- [15]Shim J, Yoon M, Lee Y. Comparison of filtered back projection with fast non-local means denoising approach and iterative reconstruction in pediatric chest CT image using 3D printed lung nodules[J]. J Korean Phys Soc, 2023, 82(11): 1114-1123.
- [16]叶俊杰,谭一清.螺旋CT双低技术在肺结节检查中的应用[J].现代肿瘤医学,2021,29(1):123-126.
- [17]王旭,刘义军,赵明月,等.探讨深度学习算法降低胸部CT辐射剂量的应用价值:体模研究[J].临床放射学杂志,2023,42(2):332-336.
- [18]Gross CF, Jungblut L, Schindera S, et al. Comparability of Pulmonary Nodule Size Measurements among Different Scanners and Protocols: Should Diameter Be Favorized over Volume?[J]. Diagnostics(Basel), 2023, 13(4): 631.
- [19]Watanabe S, Sakaguchi K, Kitaguchi S, et al. Pulmonary nodule volumetric accuracy of a deep learning-based reconstruction algorithm in low-dose computed tomography: A phantom study[J]. Phys Med, 2022, 104: 1-9.
- [20]Yang S, Shan F, Shi Y, et al. Sensitivity and specificity of magnetic resonance imaging in routine diagnosis of pulmonary lesions: a comparison with computed tomography [J]. J Thorac Dis, 2022, 14(10): 3762-3772.
- [21]Cao Q, Mao Y, Qin L, et al. Improving image quality and lung nodule detection for low-dose chest CT by using generative adversarial network reconstruction [J]. Br J Radiol, 2022, 95(1138): 20210125.
- [22]Huang H, Wu R, Li Y, Peng C. Self-Supervised Transfer Learning Based on Domain Adaptation for Benign-Malignant Lung Nodule Classification on Thoracic CT [J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2022, 26(8): 3860-3871.
- [23]Yao Y, Guo B, Li J, et al. The influence of a deep learning image reconstruction algorithm on the image quality and auto-analysis of pulmonary nodules at ultra-low dose chest CT: a phantom study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2022, 12(5): 2777-2791.
- [24]孙瑶,王祥,彭思粤,等.深度学习CT超高分辨图像组学特征稳定性研究[J].中国医学计算机成像杂志,2022,28(2):196-202.
- [25]Jiang B, Li N, Shi X, et al. Deep Learning Reconstruction Shows Better Lung Nodule Detection for Ultra-Low-Dose Chest CT[J]. Radiology, 2022, 303(1): 202-212.
- [26]Iranmakani S, Jahanshahi AR, Mehnati P, et al. Image Quality and Pulmonary Nodule Detectability at Low-dose Computed Tomography (low kVp and mAs): A phantom study [J]. J Med Signals Sens, 2022, 12(1): 64-68.