581-585.
[8] SHAHRIARIRAD R, MESHKATI YAZD S M, FATHIAN R, et al. Prediction of sentinel lymph node metastasis in breast cancer patients based on preoperative features: A deep machine learning approach[J]. Sci Rep, 2024, 14: 1351.
[9] 贾妍,蒲欢,彭娟,等.超声造影联合声触诊组织成像定量技术诊断乳腺癌前哨淋巴结[J]. 中国医学影像技术,2021,37(5):698-701.
[10] 刘微微,舒开凤,糜春,等.术前超声造影对乳腺癌前哨淋巴结转移的预测价值[J].蚌埠医学院学报, 2023, 48(3):387-390.
[11] ZHANG D Q, SVENSSON M, EDEN P, et al. Identification of sentinel lymph node macrometastasis in breast cancer by deep learning based on clinicopathological characteristics[J]. Sci Rep, 2024, 14: 26970.
[12] OMRANIPOUR R, ABASSI M, NAZARIAN N, et al. Breast cancer sentinel lymph node detection rate: First large scale multi-centric data for technetium phytate[J]. Arch Iran Med, 2023, 26 (11): 618-622.
[13] 丁颖,李家菊,王国亮.乳腺癌患者HER2,CA153 表达与声触诊组织成像定量技术参数的相关性分析[J].中国医学装备, 2024, 21 (3):78-81.
[14] 吕菲菲,朱淑庆,崔月,等.多模态超声成像对乳腺癌前哨淋巴结转移的诊断价值[J].中国临床医学, 2023, 30(4):669-675.
[15] REIMER T. Omission of axillary sentinel lymph node biopsy in early invasive breast cancer[J]. Breast, 2023, 67: 124-128.
[16] 张迎舟,张宁,刘艳超,等.乳腺癌前哨淋巴结超声影像准确性多因素分析与豁免前哨淋巴结活检术的可行性研究 [J]. 中国医学装备, 2023, 20(8):61-65.
[17] 董维露,蔡婷,许华宁,等.乳腺癌前哨淋巴结经皮淋巴管超声造影结合临床病理特征的 Logistic 回归分析 [J]. 中华超声影像学杂志, 2023, 32(12):1083-1089.
[18] 祖潇,董维露,蔡婷,等.基于多模态超声特征构建乳腺癌前哨淋巴结转移列线图预测模型[J].中华超声影像学杂志, 2024, 33(10): 862-870.
[19] 刘小蓝,麦湘湘,孙章秀,等. 不同病理特征乳腺癌患者 BI-RADS 分类、剪切波速度及糖类抗原 153 的差异分析[J]. 临床超声医学杂志,2024,26(3):205-209.
[20] 周菊英,郭强,张子宁,等. 超声造影联合声触诊组织成像量化技术诊断乳腺癌前哨淋巴结的效能[J]. 临床与病理杂志,2022,42 (11):2648-2653.

收稿日期:2025-07-20
(本文编辑:吴迪汉)

IVIM 联合 TCL 在膀胱癌肌层浸润评估中的应用价值

叶正武,孟庆涛,潘宇宁

【关键词】 膀胱癌;体素内不相干运动成像;肿瘤基底接触长度
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.12.022
【中图分类号】 R737.14 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-0800(2025)12-1294-04

膀胱癌是泌尿系统最常见的恶性肿瘤,发病率和死亡率分别位居第 9 位及第 13 位。准确评估膀胱癌是否发生肌层浸润对制定适当的治疗策略至关重要。目前,临床上常规使用的超声、CT 及磁共振等影像学方法在肌层浸润的评估方面存在一定的局限性。功能性磁共振成像是一种新兴的技术,已经成为评估肿瘤微血管灌注和扩散的重要工具。其中体素内不相干运动成像(intravoxel incoherent motion,IVIM)技术已经相对比较成熟,其能通过定量测量磁共振图像中组织的扩散和灌注等微观运动所表达出的信号,计算出包括表观扩散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)、真实扩散系数(true diffusion coefficient,D)、假扩散系数(pseudo-diffusion coefficient,D*)及灌注分数(perfusion fraction,f)等多个数值,目前已用于前列腺癌、乳腺癌等疾病的诊断[1-2],部分学者也将其用于膀胱癌肌层浸润的诊断[3]。本研究结合膀胱癌患者 IVIM 序列各参数和肿瘤基底接触长度(tumor contact length,TCL),探讨 IVIM 参数、TCL 对膀胱癌肌层侵犯的诊断价值,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2018 年 6 月至 2024 年 12 月滁州市第一人民医院收治的膀胱癌患者 78 例,其中女 15 例,男 63 例;年龄 24 ~ 94 岁,平均(59.0±35.0)

作者单位: 315211 宁波,宁波大学医学部(叶正武、潘宇宁);滁州市第一人民医院(孟庆涛)
通信作者: 潘宇宁,Email:panyuning@163.com

岁。纳入标准：(1)初诊患者，临床疑似膀胱癌，手术前行 MRI 检查，有完整的图像资料，包括 IVIM 序列；(2)1 个月内行手术治疗(包括经尿道膀胱肿瘤电切术或膀胱切除术)，病理结果确诊为膀胱癌。排除标准：(1)磁共振图像质量欠佳；(2)同时患有其他恶性肿瘤，如前列腺癌等；(3)在 MRI 检查前进行相关治疗。本研究获得滁州市第一人民医院伦理委员会批准，豁免知情同意。

1.2　影像学检查方法　运用 GE Discovery 3.0 T 磁共振 8 通道腹部线圈，定位中心线耻骨联合，扫描序列及参数见表 1。检查包括：轴位 T_1 加权成像（T_1 weighted imaging，T_1WI)，轴位、矢状位、冠状位 T_2 加权成像(T_2 weighted imaging，T_2WI)，轴位 IVIM 序列(b 值分别选取 10、20、50、100、200、400、600、800、1 000、1 500 mm^2/s)。患者于检查前 30 min 排出尿液，然后饮水 500 ～ 1 000 ml(携带导尿管的患者于检查前 30 min 关闭导尿管)，使膀胱适量充盈。扫描范围包括膀胱及周围组织。

1.3　数据处理　由两名 5 年以上膀胱肿瘤诊断经验影像科医生单独阅片，在后处理工作站上对图像进行测量及分析。首先，选择 b=1 000 mm^2/s 的 IVIM 序列图像中的肿瘤最大层面，沿肿瘤边缘勾画出感兴趣区(ROI)，联合 T_1WI、T_2WI 等序列规避肿瘤内的出血、坏死以及血管区，测量出肿瘤的 ADC、D、f 和 D*的平均值。其次，在轴位、冠状位和矢状位 T_2WI 序列上分别测量出 TCL 值，并取其中的最大值作为 TCL 值，见图 1 ～ 2。

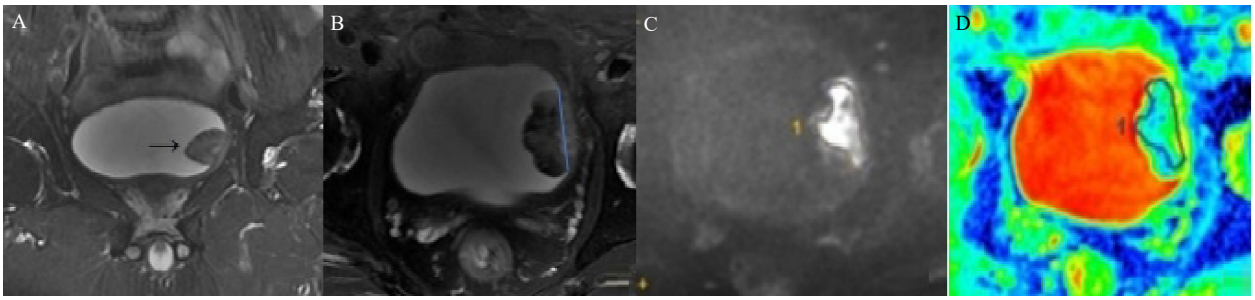
1.4　手术方法　所有病患均在磁共振检查后 1 个月内进行手术治疗。其中行经尿道膀胱肿瘤电切术 61 例，全膀胱切除术 14 例，部分膀胱切除术 3 例。根据肿瘤的病理结果(是否浸润膀胱固有肌层)分为非肌层浸润组(n=41)和肌层浸润组(n=37)。

1.5　统计方法　采用 SPSS 24.0 进行统计学分析。

表 1　MRI 扫描序列及参数

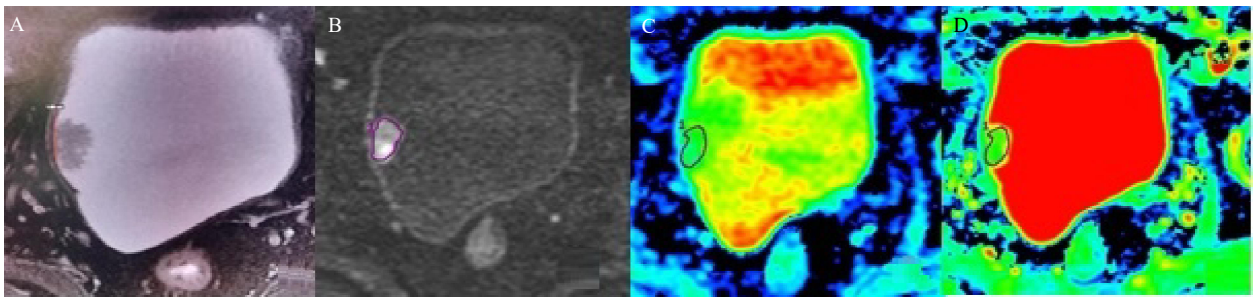
参数	T_1WI	T_2WI	IVIM
重复时间(ms)	679	3 324	2 000
回波时间(ms)	MIN	85	72
翻转角(°)	110	90	90
视野(mm)	320×320	280×280	320×320
矩阵	256×256	288×224	128×128
层厚(mm)	4	4	4
层间距(mm)	1	1	1

注：T_1WI 为 T_1 加权成像，T_2WI 为 T_2 加权成像，IVIM 为体素内不相干运动成像



注：男性，75 岁，膀胱左侧壁肿块。A 为 T_2WI 冠状位图像，B 为 T_2WI 轴位图像，大小为 23.0 mm×38.1 mm，病灶突向膀胱内，呈扁平型生长，宽基底位于膀胱左侧壁，基底接触长度 36.6 mm，局部膀胱壁增厚，C、D 为 DWI 图，病灶呈高信号，ADC 值约 $0.77\times10^{-3}mm^2/s$。手术病理证实为膀胱尿路上皮癌，肌层浸润型

图 1　肌层浸润型膀胱癌 MRI 表现



注：男性，84 岁，膀胱右侧壁结节，主体突向膀胱内。A 为 T_2WI 示肿瘤基底接触长度为 1.68 cm。B 为 DWI 图示结节呈高信号。C、D 为 IVIM-D 图及 IVIM-ADC 彩图，测得 D 值约 $1.21\times10^{-2}mm^2/s$，ADC 值约 $1.5\times10^{-3}mm^2/s$。手术病理证实为膀胱尿路上皮癌，非肌层浸润型

图 2　非肌层浸润型膀胱癌 MRI 表现

Modern Practical Medicine, December 2025, Vol. 37, No. 12

计量资料以均数±标准差表示，采用 t 检验；计数资料采用χ^2 检验。运用二元 Logistic 回归计算 IVIM 各参数及联合 TCL 的预测概率值，以病理结果为标准，制作 IVIM 各参数、TCL 值及其组合间预测概率值的受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线，计算出曲线下面积（area under curve，*AUC*），评价其诊断效能，并计算不同参数及其组合对膀胱癌肌层浸润诊断的灵敏度、特异度、准确度、阳性预测值（positive predictive value，PPV）及阴性预测值（negative predictive value，NPV）。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较 两组性别、年龄差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$）；非肌层浸润组 ADC、D、和 f 值均高于肌层浸润组，TCL 值低于肌层浸润组（均 $P < 0.05$），见表 2。

2.2 多因素 Logistic 回归分析 多因素 Logistic 回归分析显示，IVIM 参数和 TCL 是膀胱癌肌层浸润的影响因素（均 $P < 0.05$），见表 3。

2.3 IVIM 参数、TCL 值及其组合的诊断效能 IVIM 各参数诊断肌层浸润的 *AUC* 分别为 0.946、0.916、0.789，TCL 的 *AUC* 为 0.837；当 TCL 联合 ADC、D、f 值时，最大约登指数分别为 0.851、0.792、0.664，对应 *AUC* 分别为 0.962、0.949、0.911，诊断效能均高于单一 IVIM 参数及 TCL 值，见图 3、表 4。

表 2 两组一般资料、IVIM 参数及 TCL 值结果的比较

组别	性别（男/女，例）	年龄（岁）	ADC（$10^{-3}mm^2/s$）	D（$10^{-3}mm^2/s$）	f	D*（$10^{-3}mm^2/s$）	TCL（cm）
非肌层浸润组	34/7	66.6±25.4	1.39±0.22	1.02±0.23	0.55±0.15	11.46±6.28	1.75±0.84
肌层浸润组	29/8	69.2±38.7	0.90±0.19	0.67±0.12	0.38±0.16	9.56±4.91	3.38±1.56
t（χ^2）值	（0.33）	0.45	10.45	8.65	4.99	1.48	5.82
P 值	＞ 0.05	＞ 0.05	＜ 0.05	＜ 0.05	＜ 0.05	＞ 0.05	＜ 0.05

注：ADC 为表观扩散系数，D 为真实扩散系数，f 为灌注分数，TCL 为肿瘤基底接触长度，D*为假扩散系数，IVIM 为体素内不相干运动成像，TCL 为肿瘤基底接触长度

表 3 多因素 Logistic 回归分析

指标	β值	P 值	*OR* 值	95%*CI*
IVIM 参数	－4.412	＜ 0.05	0.012	0.001 ～ 0.138
TCL	1.355	＜ 0.05	3.876	1.562 ～ 9.621

注：IVIM 参数包括扩散系数、真实扩散系数及灌注分数，TCL 为肿瘤基底接触长度

3 讨论

在国际抗癌联盟制订的膀胱癌 TNM 分期中，根据肿瘤是否浸润膀胱固有肌层将其分为非肌层浸润型膀胱癌（Tis 期、Ta 期及 T1 期）和肌层浸润型膀胱癌（T2 期及以上分期）。《膀胱癌诊疗指南（2022 年版）》指出，非肌层浸润型的标准治疗手段首选经尿道膀胱肿瘤电切术，根据复发危险决定是否行膀胱灌注的治疗方案。肌层浸润型则以外科手术为主，首选根治性全膀胱切除术，部分患者也可选择膀胱部分切除术。因此，正确评估膀胱癌是否存在肌层浸润对临床治疗及预后有着重要意义。

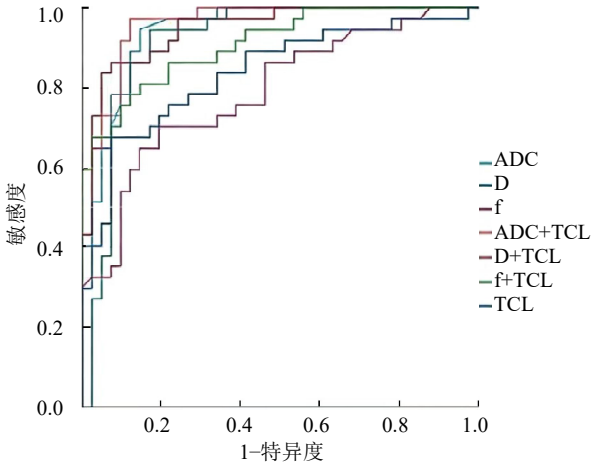
磁共振具有较高的软组织分辨率，在对软组织的成像中有一定优势，不仅能诊断是否为膀胱肿瘤，还可以评估邻近脏器受侵犯的情况，如肿瘤是否骨转移、淋巴结转移及浸润周围脂肪组织等，并对肿瘤进行 TNM 分期。IVIM 技术则能较准确地从微观层面显示出血液在微循环毛细血管中的灌注作用及水分子的扩散运动，反映出病变组织侵犯肌层的病理生理变化，目前也逐渐被运用到膀胱癌的研究中[4-6]。膀胱 TCL 是肿瘤与正常肌层之间的接触定量的指标之一，有研究证明其是肌层是否受浸润的重要指标[7-11]。

本研究结果显示，非肌层浸润组的 ADC、D 和 f 明显高于肌层浸润组（均 $P < 0.05$），而 D*值差异无统计学意义（$P > 0.05$），与 Zhang 等[12]结果一致。这可能与肿瘤对肌层的浸润导致单位体积内的细胞数目及体积增加，从而使扩散运动减慢有关。这一结果与刘俊丽等[3]研究结论相符。在诊断效能方面，本研究中 ADC 诊断肌层浸润的 *AUC* 为 0.946，略高于文献报道的 0.911[1]，推测可能与本研究严格规避肿瘤内出血、坏死区域以减少测量误差有关。本研究结果显示非肌层浸润组的 TCL 低于肌层浸润组（$P < 0.05$），提示肿瘤生长越快、体积越大，接触长度相应增加，肌层浸润风险越高，与文献[6]结论相符。本研究结果显示的 TCL 诊断阈值 2.81 cm，与陈如串等[9]提出的 2.75 cm 阈值极为接近，进一步验证了 TCL 作为肌层浸润预测指标的稳定性。此外，一项

表 4　IVIM 各参数、TCL 及联合检测评价膀胱癌肌层侵犯的诊断效能

参数	*AUC*	阈值	敏感度（%）	特异度（%）	准确性（%）	PPV（%）	NPV（%）
ADC（$10^{-3}mm^2/s$）	0.946	1.18	94.6	85.4	89.7	94.6	85.4
D（$10^{-3}mm^2/s$）	0.916	0.87	94.6	77.5	87.2	94.6	80.5
f	0.789	0.44	70.3	50.8	78.2	75.7	80.5
TCL（cm）	0.837	2.81	67.6	92.7	80.7	67.6	92.6
ADC+TCL	0.962	0.33	97.3	87.8	93.6	97.3	90.2
D+TCL	0.949	0.55	86.5	92.7	89.7	86.5	92.6
f+TCL	0.911	0.47	81.1	85.4	84.6	81.1	87.8

注：ADC 为表观扩散系数，D 为真实扩散系数，f 为灌注分数，TCL 为肿瘤基底接触长度，PPV 为阳性预测值，NPV 为阴性预测值



注：ADC 为表观扩散系数，D 为真实扩散系数，f 为灌注分数，TCL 为肿瘤基底接触长度

图 3　ROC 曲线

针对 58 例患者的研究也证实 TCL 在肌层浸润组的水平高于非肌层浸润组，且与 VI-RADS 评分联合后可将诊断特异度提升至 92.6%[3-4]，提示 TCL 在增强诊断特异性方面的独特优势，这与本研究中 TCL 单独诊断时特异度达 92.7%的结果高度一致。在联合应用方面，本研究发现 ADC、D、f 与 TCL 联合后诊断效能均显著提升，其中 ADC+TCL 组合的 *AUC* 达 0.962，较单一参数有明显优势，这一结果与近年国内外强调多参数联合评估的研究趋势相符[5-6]。

然而，本研究依旧存在一定的局限性：（1）本研究为单中心研究，取样仅涵盖了特定范围的膀胱癌患者，需要多中心研究来验证；（2）选取的样本数量较少，在此后的研究中需要进一步扩大样本量以提高研究的可靠性；（3）部分患者在经尿道膀胱肿瘤电切术手术时可能由于手术方法等原因标本受到破坏，低估了病理分期，从而影响了结果。

综上所述，IVIM 参数联合 TCL 能更加准确地反映出癌灶与肌层的关系，提高诊断效能，为膀胱癌肌层浸润的评估提供新的方法和思路，指导临床对膀胱癌患者提供个体化的治疗策略。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

参　考　文　献

[1] 郭定波,曾国飞,杨华,等.体素内不相干运动扩散加权成像在前列腺癌鉴别诊断及 Gleason 分级中应用的 Meta 分析[J].磁共振成像,2022,13(2):69-74.

[2] 海江,张海莲,杨慧,等.乳腺癌 MRI IVIM-DWI 参数与 MIP-1α、PDGF 表达相关性及其临床诊断价值研究 [J]. 医疗卫生装备,2022,43(1):67-71.

[3] 刘俊丽.体素内不相干运动成像(IVIM)对膀胱尿路上皮癌病理分级及侵袭程度的诊断价值[J].航空航天医学杂志,2021,32(3):288-289.

[4] 王铃. VI-RADS 与多参数弥散加权成像术前评估膀胱尿路上皮癌临床病理特征的价值研究[D].锦州:锦州医科大学,2022.

[5] 孟庆涛,李军,蒋会东,等. VI-RADS 联合 IVIM 序列在膀胱癌肌层侵犯评估中的价值[J]. 中华全科医学,2022,20(12):2096-2100.

[6] WANG F, WU L M, HUA X L, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging in assessing bladder cancer invasiveness and cell proliferation[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2018, 47(4): 1054-1060.

[7] AKCAY A, YAGCI A B, CELEN S, et al. VI-RADS score and tumor contact length in MRI: A potential method for the detection of muscle invasion in bladder cancer[J]. Clin Imag, 2021, 77: 25-36.

[8] 保文斌. 双参数磁共振 VI-RADS 联合肿瘤接触长度在膀胱癌中的临床诊断价值[D].昆明:昆明医科大学,2023.

[9] 陈如串,刘伟,周冰妮,等. VI-RADS 联合肿瘤基底接触长度检测肌层浸润性膀胱癌的价值研究[J]. 中国癌症杂志,2023,33(3):260-266.

[10] 王玮,王鹤,吴静云,等. MRI 平扫方案膀胱影像报告和数据系统对膀胱癌肌层浸润的诊断价值[J]. 中国医学影像学杂志,2023,31(5):517-521,528.

[11] 尹宏宇,张继,田为中,等. 定量参数联合膀胱影像报告和数据系统诊断肌层浸润性膀胱癌的临床价值[J]. 临床放射学杂志,2022,41(5):902-907.

[12] ZHANG M M, CHEN Y, CONG X Y, et al. Utility of intravoxel incoherent motion MRI derived parameters for prediction of aggressiveness in urothelial bladder carcinoma[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2018, 48(6): 1648-1656.

收稿日期：2025-10-16

（本文编辑：吴迪汉）