

¹⁸F-FDG PET/MR 在评估局部进展期直肠癌新辅助放化疗效果中的价值

周建立^{1,2} 杜磊¹ 刘家金¹ 胡时栋³ 关志伟¹ 徐白莹¹ 田嘉禾¹

¹解放军总医院第一医学中心核医学科, 北京 100853; ²德州市人民医院核医学科 253000; ³解放军总医院第一医学中心普外科, 北京 100853

通信作者: 田嘉禾, Email: tianjh@vip.sina.com

【摘要】 目的 评估局部进展期直肠癌患者新辅助放化疗(NCRT)前后¹⁸F-脱氧葡萄糖(FDG) PET/MR 参数及其变化在预测及评价疗效中的价值。**方法** 回顾性分析2017年6月至2020年6月期间在解放军总医院第一医学中心病理学确诊并行NCRT的局部进展期直肠癌患者13例[男9例、女4例, 年龄(52.2±13.2)岁]。所有患者于NCRT前1个月内行第1次PET/MR检查, 并于术前1个月内行第2次PET/MR检查。收集患者治疗前后PET/MR代谢参数, 包括最大标准摄取值(SUV_{max})、平均标准摄取值(SUV_{mean})、肿瘤代谢体积(MTV)_{2.5}、病灶糖酵解总量(TLG)、最小表观弥散系数(ADC_{min})以及治疗前后各参数百分比变化值(Δ); 以术后病理结果作为评估疗效的“金标准”将患者分组: (1)分为病理完全缓解(pCR)组与非pCR组; (2)分为治疗有效组和无效组。采用Mann-Whitney U检验和单因素logistic回归分析数据, 通过受试者工作特征(ROC)曲线确定有关参数的阈值和诊断效能。**结果** 13例患者中, 5例达到pCR, 8例治疗有效。治疗前各检查参数在不同分组间均未见差异(*U*值: 8.00~19.00, 均 *P*>0.05); pCR组与非pCR组治疗后SUV_{max}、SUV_{mean}、MTV_{2.5}、TLG和ΔADC_{min}差异有统计学意义(*U*值: 0.00~6.00, 均 *P*<0.05), 但仅治疗后SUV_{max}与pCR有关[比值比(*OR*)=0.335, 95% *CI*: 0.123~0.917, *P*=0.033], ROC曲线下面积(AUC)为0.95, SUV_{max}阈值为3.055时, 灵敏度为100%, 特异性为80.0%, 准确性为92.3%; 治疗有效和无效组治疗后SUV_{max}、SUV_{mean}、TLG、ADC_{min}以及ΔSUV_{max}、ΔADC_{min}差异有统计学意义(*U*值: 0.00~6.00, 均 *P*<0.05), 但仅ΔSUV_{max}与治疗效果有关(*OR*=2.022, 95% *CI*: 1.100~4.130, *P*=0.048), AUC为0.90, ΔSUV_{max}阈值为69.0%时, 灵敏度为87.5%, 特异性为80.0%, 准确性为84.6%。**结论** PET/MR在评估局部进展期直肠癌NCRT疗效方面具有较高的准确性, 治疗后SUV_{max}是pCR发生的独立预测因子, 而ΔSUV_{max}是有组织学反应(治疗有效)的独立预测因子。

【关键词】 直肠肿瘤; 肿瘤辅助疗法; 正电子发射断层显像术; 磁共振成像; 脱氧葡萄糖; 治疗结果

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210408-00101

Value of ¹⁸F-FDG PET/MR in evaluating the effect of neoadjuvant chemoradiotherapy in locally advanced rectal cancer

Zhou Jianli^{1,2}, Du Lei¹, Liu Jiajin¹, Hu Shidong³, Guan Zhiwei¹, Xu Baixuan¹, Tian Jiahe¹

¹Department of Nuclear Medicine, the First Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ²Department of Nuclear Medicine, Dezhou People's Hospital, Dezhou 253000, China; ³Department of General Surgery, the First Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: Tian Jiahe, Email: tianjh@vip.sina.com

【Abstract】 Objective To assess the value of ¹⁸F-fluorodeoxyglucose (FDG) PET/MR parameters and their changes in predicting and evaluating the curative effect in patients with locally advanced rectal cancer before and after neoadjuvant chemoradiotherapy (NCRT). **Methods** From June 2017 to June 2020, 13 patients (9 males, 4 females; age (52.2±13.2) years) with locally advanced rectal cancer confirmed pathologically and underwent NCRT in Chinese PLA General Hospital were retrospectively enrolled. All patients performed the first PET/MR within one month before NCRT and the second PET/MR within one month before operation. PET/MR parameters including maximum standardized uptake value (SUV_{max}), mean standardized uptake value (SUV_{mean}), metabolic tumor volume (MTV)_{2.5}, total lesion glycolysis (TLG), minimum apparent diffusion coefficient (ADC_{min}), and their changing percentage (Δ) before and after NCRT were collected. Patients were divided into pathologically complete remission (pCR) group and non-pCR group or response group and non-response group according to the postoperative pathological results as the gold standard. Mann-Whitney *U* test and logistic regression analysis were used for data analysis. The

cut-off values of related parameters and their diagnostic efficiencies were determined by receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. **Results** Of 13 patients, 5 reached pCR and 8 had histological reaction (response). There were no significant differences in parameters (SUV_{max} , SUV_{mean} , $MTV_{2.5}$, TLG , ADC_{min}) between different groups before treatment (U values: 8.00–19.00, all $P>0.05$). There were significant differences in SUV_{max} , SUV_{mean} , $MTV_{2.5}$, TLG and ΔADC_{min} between pCR group and non-pCR group after treatment (U values: 0.00–6.00, all $P<0.05$), but only SUV_{max} was correlated with pCR after treatment (odds ratio (OR)=0.335, 95% CI : 0.123–0.917, $P=0.033$). The area under curve (AUC) was 0.95 and the cut-off value of SUV_{max} was 3.055, with the sensitivity of 100%, the specificity of 80.0% and the accuracy of 92.3%. There were significant differences in SUV_{max} , SUV_{mean} , TLG , ADC_{min} , ΔSUV_{max} and ΔADC_{min} between the response group and non-response group after treatment (U values: 0.00–6.00, all $P<0.05$), but only ΔSUV_{max} was correlated with the response results ($OR=2.022$, 95% CI : 1.100–4.130, $P=0.048$). The AUC was 0.90 and the cut-off value of ΔSUV_{max} was 69.0%, with the sensitivity of 87.5%, the specificity of 80.0% and the accuracy of 84.6%. **Conclusions** PET/MR has high accuracy in evaluating NCRT for locally advanced rectal cancer. SUV_{max} is an independent predictor of pCR after treatment, while ΔSUV_{max} is an independent predictor of histological reaction (response).

【Key words】 Rectal neoplasms; Neoadjuvant therapy; Positron-emission tomography; Magnetic resonance imaging; Deoxyglucose; Treatment outcome

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210408-00101

结直肠癌在全球癌症相关的死亡原因中居第 3 位,其中直肠癌约占 1/3;高达 40% 的直肠癌患者在发现时已是局部进展期^[1]。术前辅助放化疗已成为局部进展期直肠癌标准的治疗方案,15%~30% 的患者在辅助放化疗后可以达到病理完全缓解 (pathological complete response, pCR)^[2]。若能在治疗前准确预测 pCR 或近乎 pCR 的患者,对临床医师制定更加精准的治疗方案具有重要的意义。因此,探寻一种治疗前能够准确预测疗效以及治疗后能够准确评估疗效的影像学检查方法变得越来越重要。

目前,指南推荐高分辨 MRI 作为评估新辅助放化疗 (neoadjuvant chemoradiotherapy, NCRT) 疗效的首选方案,但放化疗后肿瘤内部坏死、炎性反应及纤维化导致 MRI 信号复杂,使 MRI 评估准确性受到质疑^[3]。有研究认为 PET/CT 可用于治疗后再分期,可区分 pCR 结果^[4];亦有研究认为 PET/CT 无法区分 pCR 与不完全治疗反应,认为 CT 无法清晰显示肿瘤与肠道结构,仅仅依靠 PET 代谢信息往往无法区分肠道生理摄取与肿瘤异常代谢^[5]。PET/MR 能同时提供清晰的解剖和功能信息,与 PET/CT 相比具有优势。本研究在 NCRT 前后均行 PET/MR 检查,探讨治疗前后不同参数及其变化预测 pCR 以及不同治疗反应程度的价值。

资料与方法

1. 研究对象。回顾性纳入 2017 年 6 月至 2020 年 6 月间解放军总医院第一医学中心胃肠外科确诊并于 NCRT 前后均行 PET/MR 检查且图像资料齐全的局部进展期直肠癌患者 13 例,其中男 9 例、女 4 例,年龄 (52.2±13.2) 岁。患者在 PET/MR 检查后 1 个月内

行 NCRT 治疗,并于术前 1 个月内行第 2 次 PET/MR 检查。所有患者均于 NCRT 治疗后 1 个月内行手术治疗。NCRT 治疗方案包括 45 Gy (1.8 Gy×25 次,每周 5 次) 和卡培他滨 (1 250 mg/m², 每日 2 次口服)。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

2. PET/MR 显像。患者需禁食至少 6 h, 血糖 < 11.1 mmol/L, 按体质量静脉注射 2.22~4.40 MBq/kg ¹⁸F-脱氧葡萄糖 (fluorodeoxyglucose, FDG; 由解放军总医院第一医学中心核医学科自行合成; 放化纯 > 95%), 治疗前后扫描的剂量应尽量保持一致。注射后 60 min 上机进行全身 PET/MR (Magnetom Biograph mMR, 德国 Siemens 公司) 检查。盆腔 PET/MR 扫描中 PET 扫描时间为每床位 4 min, PET 与 MR 同期采集图像。PET 图像重建采用 3 次迭代、21 个子集的有序子集最大期望值迭代法, 半高宽 4 mm, 矩阵 256×256。衰减校正数据采用 Dixon-Vibe MR 序列生成的四组织 (脂肪, 软组织, 空气, 肺) 模型衰减图。每个 PET 床位在自由呼吸时连续检测以下 3 个 MR 序列。(1) T₁ 加权成像 (weighted imaging, WI) 三维梯度回波 (gradient echo, GRE); 用于 PET 图像的衰减校正, 冠状面, 重复时间 (repetition time, TR) = 3.6 ms, 回波时间 (echo time, TE) 1 = 1.23 ms, TE2 = 2.46 ms, 翻转角度 10°, 128 层, 视野 (field of view, FOV) = 500×400, 体素尺寸 4.1 mm×2.6 mm×3.1 mm, 采集时间 19 s/床位; (2) T₂ WI 快速自旋回波: 横断面, TR = 4 300 ms, TE = 78 ms, 翻转角度 150°, 30 层, 层厚 3 mm, FOV = 240×240, 体素尺寸 0.8 mm×0.8 mm×3.0 mm, 平均采集 3 次, 采集时间 2.5 min/床位; (3) 平面回波弥散 WI (diffusion WI, DWI): 用于检测限制扩散 (单极序列), 在 3 个正交方向上使用 b 值 50

和 800 s/mm² 的应用扩散梯度,横断面,TR=9 700 ms,TE=72 ms,30 层,层厚 3 mm,FOV=360×216,体素尺寸 3.3 mm×3.3 mm×3.0 mm,平均采集 3 次,采集时间 3 min/床位。

3.病理结果及疗效评估标准。以病理结果作为评估疗效的“金标准”,根据结直肠癌患者对 NCRT 病理学反应,确立肿瘤退缩分级(tumor regression grade, TRG),其分级标准主要依据光学显微镜下残余肿瘤细胞和纤维化的比例,分为 5 级:TRG1 级为无肿瘤细胞残存,由大量纤维化取代;TRG2 级为存在极少量肿瘤细胞散落在纤维化中;TRG3 级为残存更多肿瘤细胞,但占比小于纤维化;TRG4 级为残存肿瘤细胞占比超过纤维化;TRG5 级为几乎全部为肿瘤细胞,难觅纤维化^[6]。其中 TRG4~5 级合为无组织学反应,治疗无效;TRG3 级为部分组织学反应;TRG1~2 级合为显著组织学反应。按照不同 TRG 分级标准将患者分组:(1)分为 pCR 组(TRG1 级)与非 pCR 组(TRG2~5 级);(2)分为治疗有效组(TRG1~3 级)和无效组(TRG4~5 级)。

4.数据处理及分析。图像后处理参照文献[7]进行,在 T₂WI 图像上手动勾画感兴趣容积(volume of interest, VOI),尽量避免将肠腔内气体、肠壁周围脂肪纳入 VOI 范围,边界难以判断时结合 PET 代谢图像及 T₂WI 多层、多维度观察以确定。收集并整理治疗前后 2 次 PET/MR 检查参数,包括最大标准摄取值(maximum standardized uptake value, SUV_{max})、平均标准摄取值(mean standardized uptake value, SUV_{mean})、肿瘤代谢体积(metabolic tumor volume, MTV)_{2.5}(标准摄取值 2.5 时的 MTV)、病灶糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG)、最小表观弥散系数(minimum apparent diffusion coefficient, ADC_{min})以及治疗前后参数百分比变化值(Δ)= $|(治疗前后参数值-治疗前参数值)|/治疗前参数值 \times 100\%$,包括 Δ SUV_{max}、 Δ SUV_{mean}、 Δ MTV_{2.5}、 Δ TLG、 Δ ADC_{min}。

5.统计学处理。采用 IBM SPSS 22.0 软件分析数据,不符合正态分布的定量资料用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,2 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;定性资料以频数(百分比)表示,差异比较采用 Fisher 确切概率法。选择差异有统计学意义的参数行单因素 logistic 回归分析,然后行受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线确定曲线下面积(area under curve, AUC)及灵敏度、特异性和准确性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1.一般资料。13 例患者一般资料见表 1,其中 12 例直肠癌和 1 例黏液腺癌;5 例(5/13)达到 pCR,8 例(8/13)治疗有效。患者治疗前后典型 PET/MR 显像图见图 1,2。

2. pCR 和非 pCR 组 PET/MR 参数的比较。2 组治疗前各参数(SUV_{max}、SUV_{mean}、MTV_{2.5}、TLG、ADC_{min})差异均无统计学意义(U 值:8.00~14.00,均 $P > 0.05$);而治疗后 2 组间 SUV_{max}、SUV_{mean}、MTV_{2.5}、TLG 以及 Δ ADC_{min} 差异有统计学意义(U 值:0.00~6.00,均 $P < 0.05$;表 2)。单因素 logistic 回归分析示,仅治疗后 SUV_{max} 与 pCR 有关[比值比(odds ratio, OR)=0.335,95% CI:0.123~0.917, $P = 0.033$];ROC 曲线分析(图 3)示 AUC 为 0.95, SUV_{max} 阈值为 3.055 时,灵敏度为 100%,特异性为 80.0%,准确性为 92.3%。

3.治疗有效组和无效组 PET/MR 参数的比较。2 组治疗前各参数(SUV_{max}、SUV_{mean}、MTV_{2.5}、TLG、ADC_{min})差异均无统计学意义(U 值:13.00~19.00,均 $P > 0.05$);而治疗后 2 组间 SUV_{max}、SUV_{mean}、TLG、ADC_{min} 以及 Δ SUV_{max}、 Δ ADC_{min} 差异有统计学意义(U 值:0.00~6.00,均 $P < 0.05$;表 2)。单因素 logistic 回归分析示,仅 Δ SUV_{max} 与治疗效果有关($OR = 2.022$, 95% CI:1.100~4.130, $P = 0.048$);ROC 曲线分析(图 4)示, AUC 为 0.90, Δ SUV_{max} 阈值为 69.0% 时,灵敏度为 87.5%,特异性为 80.0%,准确性为 84.6%。

讨 论

术前的同步放化疗已成为局部进展期直肠癌标准治疗方案,有研究认为达到 pCR 但未行手术治疗的与并行直肠全系膜切除术治疗的患者生存率相近^[8],因此对达到 pCR 的患者可采取“观察和等待”方案,避免过度手术及减少手术带来的诸多风险;但对于放化疗无效的患者,积极的手术可减少不必要的放化疗带来的不良反应。如何在术前预测 pCR 或者同步放化疗疗效成为局部进展期直肠癌精准治疗方案确定的关键。结合了 MRI 软组织形态学成像和 PET 功能显像的一体化 PET/MR 被认为是最有希望解决此问题的检查方法。

本研究发现 NCRT 治疗后 SUV_{max}(阈值 3.055)对预测 pCR 具有较高价值(灵敏度 100%,特异性 80.0%,准确性 92.3%); Δ SUV_{max}(阈值 69.0%)预测有无治疗反应方面具有较高的诊断价值(灵敏度

表 1 不同组别直肠癌患者一般资料

分组	例数	性别(例)		年龄 [岁; <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	T 分期(例)		N 分期(例)			临床分期(例)		
		男	女		Ⅱ期	Ⅲ期	0期	I期	Ⅱ期	Ⅱa期	Ⅲa期	Ⅲb期
pCR 组	5	4	1	61.0(38.0,65.0)	0	5	3	1	1	3	0	2
非 pCR 组	8	5	3	58.5(38.0,60.8)	1	7	3	5	0	3	1	4
治疗有效组	8	6	2	59.0(38.8,64.0)	0	8	5	2	1	5	0	3
治疗无效组	5	3	2	60.0(37.5,61.5)	1	4	1	4	0	1	1	3

注:pCR 为病理完全缓解

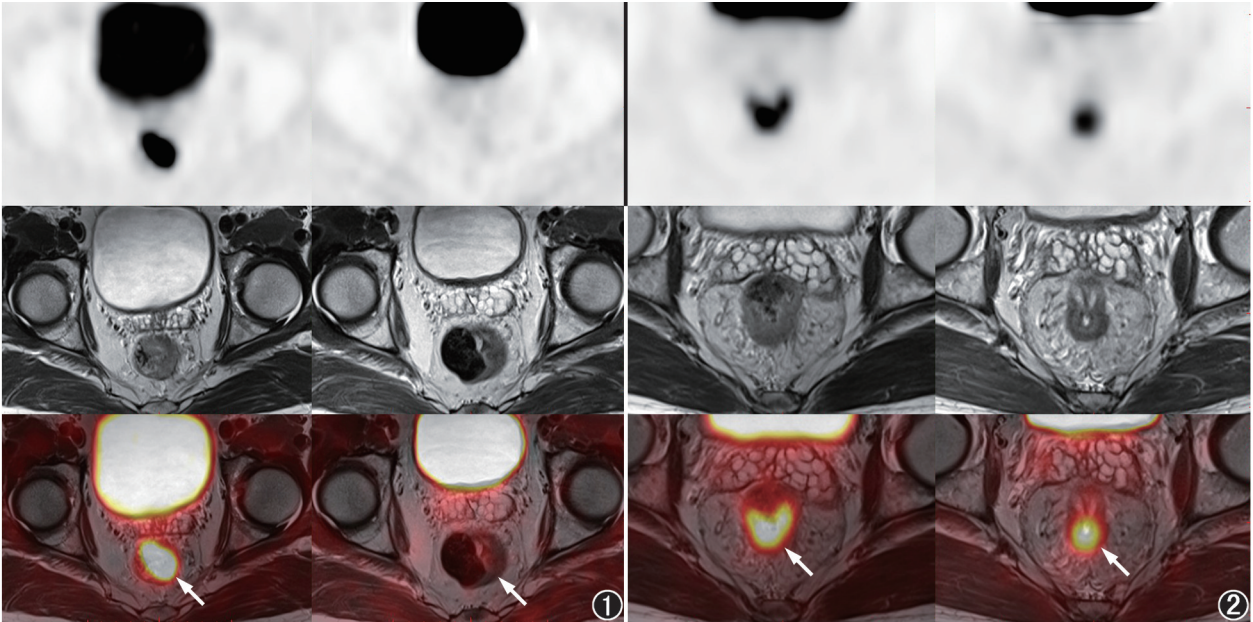


图 1 局部进展期直肠癌患者(男,65 岁)治疗前后 PET/MR 显像图(箭头示肿瘤)。左侧为治疗前图像,右侧为治疗后图像,肿瘤体积明显缩小,黏膜层轻微高代谢,肿瘤退缩分级(TRG)1 级,诊断为病理完全缓解(pCR) 图 2 局部进展期直肠癌患者(女,60 岁)治疗前后 PET/MR 显像图(箭头示肿瘤)。左侧为治疗前图像,右侧为治疗后图像,肿瘤体积明显缩小,但残存肿瘤仍呈明显高代谢,TRG3 级,诊断为无组织学反应(治疗无效)

表 2 不同组别直肠癌患者治疗后 PET/MR 参数比较[*M*(*P*₂₅,*P*₇₅)]

分组	例数	SUV _{max}	SUV _{mean}	MTV _{2.5} (cm ³)	ADC _{min} (mm ² /s)	TLG(g)
pCR 组	5	2.01(1.78,4.12)	2.01(1.78,3.00)	0.00(0.00,5.29)	986.0(669.5,1 172.5)	0.00(0.00,0.08)
非 pCR 组	8	6.35(4.48,6.56)	3.53(2.66,4.02)	8.87(3.61,14.40)	699.0(560.8,950.5)	32.84(12.17,72.90)
治疗有效组	8	3.06(1.84,5.27)	2.26(1.84,3.24)	1.15(0.00,9.09)	985.0(780.5,1 030.3)	0.08(0.00,9.93)
治疗无效组	5	6.38(6.19,6.58)	3.67(3.34,4.13)	9.49(5.73,16.40)	674.0(439.5,801.0)	38.53(20.36,65.14)
<i>U</i> 值 ^a		2.00	6.00	5.00	10.00	0.00
<i>P</i> 值 ^a		0.01	0.04	0.03	0.14	<0.01
<i>U</i> 值 ^b		3.50	5.00	7.00	6.00	5.00
<i>P</i> 值 ^b		0.02	0.03	0.06	0.04	0.03
分组	例数	ΔSUV _{max} (%)	ΔSUV _{mean} (%)	ΔMTV _{2.5} (%)	ΔADC _{min} (%)	ΔTLG(%)
pCR 组	5	82(61,85)	67(52,68)	100(79,100)	103(43,149)	100(100,100)
非 pCR 组	8	59(44,74)	40(36,74)	77(69,85)	78(49,90)	87(78,94)
治疗有效组	8	79(64,83)	67(48,75)	97(83,100)	91(67,161)	100(97,100)
治疗无效组	5	47(41,60)	36(35,54)	69(45,77)	52(47,88)	84(65,89)
<i>U</i> 值 ^a		17.00	18.00	18.00	4.00	11.00
<i>P</i> 值 ^a		0.66	0.77	0.77	0.02	0.19
<i>U</i> 值 ^b		4.00	10.00	12.00	0.00	16.00
<i>P</i> 值 ^b		0.02	0.14	0.24	<0.01	0.56

注:^a为 pCR 组和非 pCR 组比较,^b为治疗有效组 and 无效组比较;Δ 为治疗前后参数百分比变化值,ADC_{min} 为最小表观弥散系数,MTV_{2.5} 为标准摄取值(SUV)2.5 时的肿瘤代谢体积,SUV_{max} 为最大 SUV,SUV_{mean} 为平均 SUV,TLG 为病灶糖酵解总量

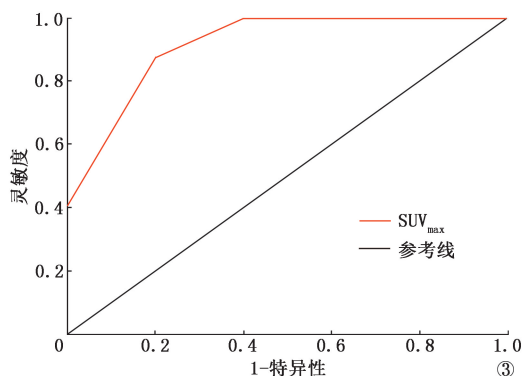


图 3 最大标准摄取值(SUV_{max})预测 13 例直肠癌患者病理完全缓解(pCR)的受试者工作特征(ROC)曲线

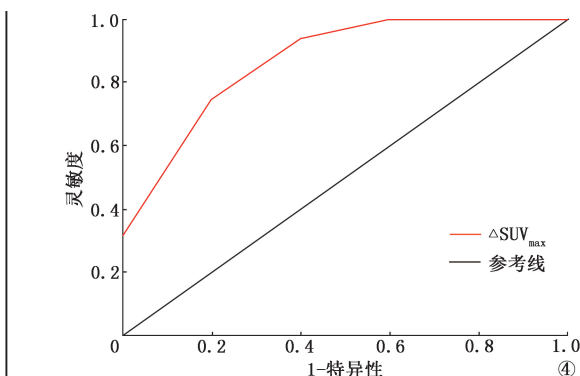


图 4 治疗前后 SUV_{max} 百分比变化值(ΔSUV_{max})预测 13 例直肠癌患者治疗有效的 ROC 曲线

87.5%, 特异性 80.0%, 准确性 84.6%)。Bundschuh 等^[9]的研究显示, PET/CT 的各项代谢参数均无法预测治疗反应和预后, 与本研究结论不一致, 考虑本研究勾画靶区时依据高分辨 MRI 提供的 T₂WI 可能提高了准确性, 避免了 CT 显示不清肿瘤边界带来的误差。由于 PET/MR 临床应用时间较短, 在直肠癌应用方面的研究结论尚不统一。一项纳入 34 例患者的研究认为 PET/MR 比单独应用 MRI 在 TNM 分期及治疗后再分期方面并无增益价值^[10]; 而 Queiroz 等^[11]研究认为 PET/MR 在初始 M 分期方面优于常规影像学检查(盆腔 MRI 和胸腹部强化 CT; 准确性: 88.4% 与 82.6%, $P=0.003$); 在治疗前盆腔局部分期方面, PET/MR 可较 MRI 更精确地测量肿瘤大小及评估括约肌受侵情况, 检出更多区域淋巴结转移(79% 与 58%, $P=0.02$)^[12]。一项系统综述显示, PET/MR 对 T 分期的灵敏度、特异性及准确性分别为 94%~100%、73%~94% 及 92%~100%, 且纳入分析的各项研究间差异很小; N 分期的上述指标分别为 90%~93%、92%~94% 及 42%~92%; PET/MR 对比 MRI 可以检出更多的恶性结节, 主要原因考虑为放化疗后病变内部的变化对 MRI 鉴别诊断带来困难, 但对肺部转移病灶的诊断方面明显差于胸部 CT^[13]。鉴于在 T、N 分期中的优异表现, 该研究认为 PET/MR 更应该用于治疗后的再分期。一项纳入 36 例局部进展期直肠癌患者的研究显示, PET/MR 和单独 MRI 在 NCRT 后的病理分期 ypT 分期准确性分别为 92% 和 89%, ypN 分期准确性分别为 92% 和 86%, 但两者差异并无统计学意义, 尚不能认为 PET/MR 在治疗后 T、N 分期方面优于单独应用 MRI, 且其对肺的小转移灶的诊断效果不如 CT, 其中有 11% 患者因 PET/MR 改变了治疗策略^[14]。因此在 TNM 分期及再分期方面 PET/MR 相较 MRI

尚无较大优势, 有研究认为延长 PET/MR 中 PET 采集时间可以提高其准确性^[15], 但仍需进行更多大样本、多中心的研究。

一项关于 NCRT 前后 PET/CT 预测 pCR 的研究显示, 治疗前后 TLG 变化率能够区分 pCR (TRG1 级) 与非 pCR (TRG2~5 级), AUC 为 0.76^[16]。但一项系统综述认为放化疗前 MRI 及 PET/CT 均不能预测 pCR, DWI 的总体准确性为 68%~72%, PET/CT 的准确性为 44%, 与本研究结论一致; 而治疗后 ADC 值可能具有一定价值, 但尚不能提供足够的准确性用于预测 pCR 发生^[17]。Ferri 等^[18]认为治疗后¹⁸F-FDG PET/MR 在检测局部进展期直肠癌对 NCRT 的反应方面具有很高的准确性, ADC 值和 SUV_{max} 与 NCRT 后 TRG 分级中显示出有统计学意义的相关性, 可作为检测 pCR 的补充预测因子。而本研究结果显示, 治疗后 SUV_{max} 为唯一可预测 pCR 的指标, 且具有较高的诊断价值。

由于 PET/MR 在临床应用中相对较少, 本研究的样本量亦较小, 仅能初步探讨其在评估 NCRT 疗效方面的价值, 但本研究同时纳入了 NCRT 治疗前后 2 次 PET/MR 检查。未来需要纳入更多样本及应用影像组学方法来研究治疗前 PET/MR 在预测疗效方面的价值。

总之, 本研究初步认为 PET/MR 在预测局部进展期直肠癌新辅助放化疗方面具有较高的准确性, 治疗后 SUV_{max} 是 pCR 发生的独立预测因子, 而 ΔSUV_{max} 是有组织学反应(治疗有效)的独立预测因子, 未来仍需更多的大样本研究来验证此初步试验结果。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics

- 2018; GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2018, 68(6): 394-424. DOI:10.3322/caac.21492.
- [2] Maas M, Nelemans PJ, Valentini V, et al. Long-term outcome in patients with a pathological complete response after chemoradiation for rectal cancer: a pooled analysis of individual patient data[J]. *Lancet Oncol*, 2010, 11(9): 835-844. DOI:10.1016/S1470-2045(10)70172-8.
- [3] van den Broek JJ, van der Wolf FS, Lahaye MJ, et al. Accuracy of MRI in restaging locally advanced rectal cancer after preoperative chemoradiation[J]. *Dis Colon Rectum*, 2017, 60(3): 274-283. DOI:10.1097/DCR.0000000000000743.
- [4] Maffione AM, Marzola MC, Capirci C, et al. Value of ^{18}F -FDG PET for predicting response to neoadjuvant therapy in rectal cancer: systematic review and meta-analysis[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 204(6): 1261-1268. DOI:10.2214/AJR.14.13210.
- [5] Guillem JG, Ruby JA, Leibold T, et al. Neither FDG-PET nor CT can distinguish between a pathological complete response and an incomplete response after neoadjuvant chemoradiation in locally advanced rectal cancer: a prospective study[J]. *Ann Surg*, 2013, 258(2): 289-295. DOI:10.1097/SLA.0b013e318277b625.
- [6] Mandart AM, Dalibard F, Mandart JC, et al. Pathologic assessment of tumor regression after preoperative chemoradiotherapy of esophageal carcinoma. Clinicopathologic correlations[J]. *Cancer*, 1994, 73(11): 2680-2686. DOI:10.1002/1097-0142(19940601)73:11<2680::aid-cnrcr2820731105>3.0.co;2-c.
- [7] 中华医学会放射学分会医学影像大数据与人工智能工作委员会, 中华医学会放射学分会腹部学组, 中华医学会放射学分会磁共振学组. 结直肠癌 CT 和 MRI 标注专家共识(2020)[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(2): 111-116. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20200706-00894.
- Image Big Data Artificial Intelligence Working Committee of Chinese Society of Radiology, Abdominal Group of Chinese Society of Radiology, Magnetic Resonance Imaging Group of Chinese Society of Radiology. Expert consensus on the colorectal cancer annotation of CT and MRI (2020)[J]. *Chin J Radiol*, 2021, 55(2): 111-116. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20200706-00894.
- [8] Habr-Gama A, Gama-Rodrigues J, São Julião GP, et al. Local recurrence after complete clinical response and watch and wait in rectal cancer after neoadjuvant chemoradiation: impact of salvage therapy on local disease control[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2014, 88(4): 822-828. DOI:10.1016/j.ijrobp.2013.12.012.
- [9] Bundschuh RA, Dinges J, Neumann L, et al. Textural parameters of tumor heterogeneity in ^{18}F -FDG PET/CT for therapy response assessment and prognosis in patients with locally advanced rectal cancer[J]. *J Nucl Med*, 2014, 55(6): 891-897. DOI:10.2967/jnumed.113.127340.
- [10] Li Y, Mueller LI, Neuhaus JP, et al. ^{18}F -FDG PET/MR versus MR alone in whole-body primary staging and restaging of patients with rectal cancer: what is the benefit of PET? [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(10): 3163. DOI:10.3390/jcm9103163.
- [11] Queiroz MA, Ortega CD, Ferreira FR, et al. Diagnostic accuracy of FDG-PET/MRI versus pelvic MRI and thoracic and abdominal CT for detecting synchronous distant metastases in rectal cancer patients[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(1): 186-195. DOI:10.1007/s00259-020-04911-x.
- [12] Catalano OA, Lee SI, Parente C, et al. Improving staging of rectal cancer in the pelvis: the role of PET/MRI[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(4): 1235-1245. DOI:10.1007/s00259-020-05036-x.
- [13] Crimi F, Vallengia S, Baffoni L, et al. [^{18}F] FDG PET/MRI in rectal cancer[J]. *Ann Nucl Med*, 2021, 35(3): 281-290. DOI:10.1007/s12149-021-01580-0.
- [14] Crimi F, Spolverato G, Lacognata C, et al. ^{18}F -FDG PET/MRI for rectal cancer TNM restaging after preoperative chemoradiotherapy: initial experience[J]. *Dis Colon Rectum*, 2020, 63(3): 310-318. DOI:10.1097/DCR.0000000000001568.
- [15] Bailey JJ, Jordan EJ, Burke C, et al. Does extended PET acquisition in PET/MRI rectal cancer staging improve results? [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2018, 211(4): 896-900. DOI:10.2214/AJR.18.19620.
- [16] Avallone A, Aloj L, Pecori B, et al. ^{18}F -FDG PET/CT Is an early predictor of pathologic tumor response and survival after preoperative radiochemotherapy with bevacizumab in high-risk locally advanced rectal cancer[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(11): 1560-1568. DOI:10.2967/jnumed.118.222604.
- [17] Joye I, Deroose CM, Vandecaveye V, et al. The role of diffusion-weighted MRI and ^{18}F -FDG PET/CT in the prediction of pathologic complete response after radiochemotherapy for rectal cancer: a systematic review[J]. *Radiother Oncol*, 2014, 113(2): 158-165. DOI:10.1016/j.radonc.2014.11.026.
- [18] Ferri V, Vicente Lopez E, Quijano Collazo Y, et al. Quantitative analysis of ^{18}F -FDG-PET/MRI to assess pathological complete response following neoadjuvant radiochemotherapy in locally advanced rectal cancer. A prospective preliminary study[J]. *Acta Oncol*, 2019, 58(9): 1246-1249. DOI: 10.1080/0284186X.2019.1622774.

(收稿日期:2021-04-08)