

·临床研究 Clinical research·

基于 MRI 的放射组学模型预测中晚期肝癌患者 TACE 后肿瘤反应

顾萃华, 潘仕文, 邱 珏, 王进进

【摘要】 目的 基于临床特征和多模态磁共振成像(MRI)的放射组学纹理分析开发一款列线图模型,指导评估中晚期肝细胞癌(HCC)经导管动脉化疗栓塞(TACE)后 3 个月的肿瘤反应。**方法** 纳入 2017 年 1 月至 2021 年 12 月苏州市第九人民医院病理确诊中晚期 HCC 患者 105 例,随机分为训练组 63 例和验证组 42 例。化疗前使用 3.0T MRI 采集 T1WI、T2WI、动态对比剂增强(DCE)和弥散加权成像(DWI),A.K.软件提取纹理特征。化疗后 3 个月根据改良的实体瘤反应评估标准(mRECIST)分为反应组 63 例和无反应组 42 例。**结果** 无反应组比反应组 Child-Pugh 分级 B 和 BCLC 分期 C 增多,血清甲胎蛋白(AFP)水平升高($P<0.05$)。A.K.软件共提取 MRI 纹理特征 396 个,LASSO 回归筛选最优预测因子 6 个,计算放射组学评分(Rad-score),ROC 计算 Rad-score 预测训练组与验证组 TACE 后肿瘤无反应的 AUC 分别为 0.842 和 0.803。多因素 logistic 回归模型显示,AFP ≥ 50 ng/mL($OR=1.568, 95\%CI: 1.234\sim 1.902, P=0.003$)、Child-Pugh 分级 B($OR=1.754, 95\%CI: 1.326\sim 2.021, P=0.001$)、BCLC 分期 C($OR=1.847, 95\%CI: 1.412\sim 2.232, P=0.001$)和 Rad-score($OR=2.023, 95\%CI: 1.569\sim 2.457, P<0.01$)是肿瘤无反应的独立危险因素。临床-放射组学结合预测肿瘤无反应的 AUC 最高。校正曲线显示列线图模型的吻合度较好。**结论** 多模态 MRI 的放射组学纹理分析量化评分对预测中晚期 HCC 患者 TACE 后 3 个月的肿瘤无反应有一定价值,结合临床因素构建的列线图模型有较好的实践潜能。

【关键词】 磁共振成像;放射组学;纹理分析;列线图;肝细胞癌;经导管动脉化疗栓塞;肿瘤反应

中图分类号:R735.7 文献标志码:B 文章编号:1008-794X(2024)-01-0063-06

Application of MRI-based radiomics model in predicting the tumor response in patients with advanced hepatocellular carcinoma after transcatheter arterial chemoembolization GU Cuihua, PAN Shiwen, QIU Jue, WANG Jinjin. Department of Medical Imaging, Affiliated Suzhou Ninth Hospital of Soochow University (Suzhou Municipal Ninth People's Hospital), Suzhou, Jiangsu Province 215200, China

Corresponding author: PAN Shiwen, E-mail: psw@163.com

【Abstract】 Objective To develop a nomogram model based on the clinical features and the radiomics texture analysis of multimodal magnetic resonance imaging(MRI), so as to predict the tumor response in patients with advanced hepatocellular carcinoma(HCC) 3 months after receiving transcatheter arterial chemoembolization (TACE). **Methods** A total of 105 patients with advanced HCC, whose diagnosis was pathologically confirmed at the Suzhou Municipal Ninth People's Hospital between January 2017 and December 2021, were enrolled in this study. The patients were randomly divided into training group ($n=63$) and verification group ($n=42$). Before chemotherapy, T1WI, T2WI, dynamic contrast-enhanced(DCE) scan, and diffusion-weighted imaging (DWI) were performed by using a 3.0T MRI scanner. A.K. software was used to extract the texture. Three months after chemotherapy, according to the modified Response Evaluation Criteria in Solid Tumors(mRECIST) the patients were divided into response group($n=63$) and non-response group($n=42$). **Results** Compared with the response group, in the non-response group the percentage of Child-Pugh grade B and BCLC stage C was obviously higher and the serum alpha fetoprotein(AFP) level was remarkably elevated($P<0.05$). A.K. software

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2024.01.012

基金项目:江苏省第十五批“六大大才高峰”高层次人才选拔培养资助项目(WSW-223)

作者单位:215200 江苏苏州 苏州大学附属苏州九院(苏州市第九人民医院)影像科(顾萃华、邱珏、王进进);苏州大学附属第二医院影像科(潘仕文)

通信作者:潘仕文 E-mail: psw@163.com

extracted 396 MRI texture features, and LASSO regression analysis screened out 6 optimal predictors. The radiation score (Rad-score) was calculated by ROC. The AUC of Rad-score for predicting tumor non-response after TACE by ROC in the training group and verification group were 0.842 and 0.803 respectively. Multivariate logistic regression model analysis showed that $\text{AFP} \geq 50 \text{ ng/mL}$ ($OR=1.568$, $95\%CI=1.234-1.902$, $P=0.003$), Child-Pugh grade B ($OR=1.754$, $95\%CI=1.326-2.021$, $P=0.001$), BCLC stage C ($OR=1.847$, $95\%CI=1.412-2.232$, $P=0.001$) and Rad-score ($OR=2.023$, $95\%CI=1.569-2.457$, $P<0.001$) were the independent risk factors for tumor non-response. Clinico-radiomics combination had the highest AUC value for predicting tumor non-response. The correction curve showed that the nomogram model had a good agreement. **Conclusion** The quantitative score of radiomics texture analysis of multimodal MRI has a certain value in predicting tumor non-response in advanced HCC patients 3 months after TACE, and the nomogram model, which is constructed if combined with clinical factors, carries good practical potential. (J Intervent Radiol, 2024, 32: 63-68)

[Key words] magnetic resonance imaging; radiomics; texture analysis; nomogram; hepatocellular carcinoma; transcatheter arterial chemoembolization; tumor response

目前,经导管动脉化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)已成为治疗局限性进展性肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)的重要选择,其操作简单、并发症少、疗效确切,可降低肿瘤负荷,获取手术切除机会,提高患者生存率^[1-2]。然而,由于 HCC 的生物学行为具有高度的细胞异质性,对 TACE 的疗效差异很大,TACE 反应的异质性也导致局部肿瘤的高复发率,治疗后 2 年、3 年和 5 年的复发率高达 46%、58%和 63%^[3-4]。因此,临床需要准确预测 HCC 对 TACE 的反应性,筛选最佳适应证患者以提高临床疗效,实现精准个性化诊疗。磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)对 HCC 诊断、临床分期、疗效评估以及预后随访发挥重要作用^[5]。但是,临床上主要依赖放射科医师对 MRI 图像的人工分析,经验依赖性较高,耗时较长,变异度较大;尤其对于 HCC 较高的肿瘤异质性更难以得出客观、准确的分析,从而影响诊疗过程^[6]。MRI 具有较高的时间和空间分辨率,尤其对软组织分辨率较高,具有动态对比剂增强(dynamic contrast enhancement, DCE)和弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)等多个序列^[7-8],能够提供肿瘤更多的组织学和功能学信息。目前,放射组学越来越受到关注,软件通过图像自动提取定量特征来表征不同疾病的表型,发现人工无法识别的微小变化,从而实现半自动化或者自动化的疾病诊断,加快分析过程,提高诊断准确率^[9]。Wang 等^[10]研究开发了一款基于 MRI 的放射组学列线图模型,但是 MRI 成像仅包含常规序列和对比增强两种;而且临床因素只纳入了 C 反应蛋白和治疗方法,未纳入与肿瘤特征密切相关的临床分期和肝功能分级等。因此,本研究主要基于临床特征和多模态 MRI 成像的放射组

学纹理分析技术开发一款列线图模型,指导评估预测中晚期 HCC 患者 TACE 后 3 个月的肿瘤反应,为临床个性化制定 TACE 策略和评估临床疗效提供便捷化的工具。

1 材料与方法

1.1 研究对象

纳入 2017 年 1 月至 2021 年 12 月苏州市第九人民医院病理确诊中晚期 HCC 患者 105 例,男性 61 例,女性 44 例,年龄(56.2 ± 5.9)岁。根据巴塞罗那临床肝癌(Barcelona clinical liver cancer, BCLC)分期系统 B 期 61 例, C 期 44 例;TACE 常规药物 49 例,药物洗脱珠 56 例。本研究经过医院伦理委员会批准(WJYY-2017003)。

纳入标准:①年龄大于 18 岁, KPS 大于 75 分;②符合 HCC 的诊断标准;③符合 TACE 适应证,化疗顺利完成,患者康复出院;④MRI 图像清晰;⑤至少完成 3 个月的临床随访,资料完整。排除标准:①肝转移瘤,肝癌远处转移;②化疗前应用放疗或者免疫治疗;③对化疗药物和造影剂过敏;④严重心肺肾等功能障碍。

1.2 研究方法

化疗后 3 个月根据改良的实体瘤反应评估标准(modified response evaluation criteria in solid tumors, mRECIST)分为反应组 63 例(包括完全缓解和部分缓解),无反应组 42 例(包括疾病稳定和肿瘤进展)。其中完全缓解为肿瘤完全消失,部分缓解为残余肿瘤直径总和至少减少 30%,肿瘤进展为残余肿瘤直径总和至少增加 20%,疾病稳定介于部分缓解和肿瘤进展之间。105 例随机分为训练组 63 例和验证组 42 例,训练组 40 例出现肿瘤反应,23 例为无反应;

验证组 23 例出现肿瘤反应,19 例为无反应。

记录性别、年龄、化疗前 Child-Pugh 分级、BCLC 分期、HBsAg 阳性、肿瘤最大直径、血清 TBil、AFP、ALT 和白蛋白水平以及 TACE 治疗方式。

1.3 TACE 流程

根据患者身体状况、肿瘤特征、医生经验以及患者意愿等综合评估后,选择 TACE 药物。参照相关指南意见进行操作,确保治疗过程的标准化。常规药物有碘油、明胶海绵颗粒和聚乙烯醇,DEB(江苏恒瑞医药有限公司)直径为 100~300 μm ,装载 60~80 mg 表柔比星、吡柔比星或多柔比星。在数字减影血管造影监测下,通过导管将栓塞剂注入肝动脉血管系统,复查造影未发现肿瘤中对对比剂染色时,确定栓塞成功。化疗后常规管理,包括水合、止吐、疼痛控制和监测肝功能变化等。

1.4 MRI 扫描和放射组学分析

化疗前使用 3.0T MRI 采集 T1WI、T2WI、DCE 和 DWI 多个序列,A.K.软件提取纹理特征。仪器使用 Philips ENGENTIA 型 3.0T MR 扫描仪,序列和参数设置:①频谱预饱和,反转恢复 T2 加权序列,重复时间/回波时间=3 000/200 ms,层厚 7 mm,层间隙 1 mm,矩阵 200×195;②屏息未增强和对比增强的 DIXON-T1WI(水)序列,每千克体重注射 0.1 mmol 钆喷酸二甲葡胺(广州康晨制药有限公司),重复时间/回波时间 1/回波时间 2=3.6/1.31/2.2 ms,视野 400~314 mm,厚度 5 mm,间隙 2.5 mm,矩阵 224×166,扫描 4 个动态期,即肝动脉期 15 s、门静脉期 50 s、实质期 90 s 和延迟期 180 s;③屏气扩散加权回波平面序列,视野 400~343 mm,矩阵 116×97,重复时间/回波时间=2 500/64 ms,厚度 7 mm,间隙 1 mm,b 值取 0 和 800 s/mm^2 。

术前 T2 加权图像导入 ITK-SNAP (www.ITK-SNAP.org)描绘肿瘤区域的感兴趣体积(VOI),由两名经验丰富的放射科医生独立完成,确保观察者内和观察者间分割的再现性(见图 1)。然后,利用人工智能工具包软件(A.K.软件,GE Healthcare)计算 VOI 的定量特征^[11],对提取的特征进一步降维处理,使用 Z 分数进行标准化,消除每个特征数据的单位限制,将所有异常值替换为中位数。采用 LASSO 逻辑回归算法进行特征选择,筛选出高度相关的特征。最后计算 Rad-score。随机挑选 10 例患者(5 例肿瘤反应和 5 例未反应)分别由 2 名放射科医师独立进行放射组学分析,计算 Rad-score,评估观察者间的一致性;每例患者间隔 1 个月后由同一放射科医师重新分析并计算 Rad-score,评估观察者内的一致性,以组内相关系数(ICC)表示。

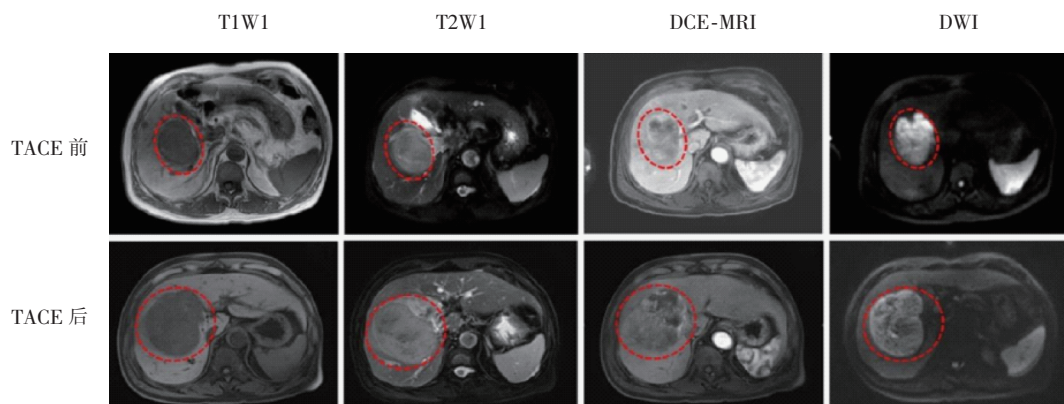
1.5 统计学方法

采用 SPSS 22.0 统计学软件。正态分布的计量资料以均数±标准差表示,比较采用 *t* 检验;计数资料以例(%)表示,比较采用 χ^2 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。LASSO 回归筛选放射组学的最优预测因子,并计算 Rad-score;ROC 计算肿瘤无反应的 AUC,比较采用 *Z* 检验;多因素 logistic 回归模型筛选肿瘤无反应的危险因素,采用逐步后退法;R 软件建立列线图模型,校正曲线进行吻合度验证。

2 结果

2.1 患者一般资料比较

训练组与验证组患者的临床资料比较差异无统计学意义($P>0.05$);无反应组比反应组 Child-Pugh 分级 B 和 BCLC 分期 C 增多,血清 AFP 水平升高,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 1。



红色圆圈为肿瘤靶区;化疗前肿瘤最大直径 45.5 mm,化疗后 3 个月肿瘤直径增大至 57.5 mm,为肿瘤无反应

图 1 HCC 患者 TACE 前后多模态 MRI 放射组学纹理分析

表 1 患者一般资料比较

参数	反应组(n=40)	无反应组(n=23)	χ^2 值	P 值	训练组(n=63)	验证组(n=42)	χ^2 值	P 值
男/女	24/16	13/10	0.073	0.787	37/26	24/18	0.026	0.872
年龄(岁)	54.6±6.7	56.4±7.2	0.756	0.352	55.9±6.8	56.3±7.1	0.634	0.329
Child-Pugh 分级(A/B)	27/13	9/14	4.799	0.028	36/27	22/20	0.231	0.631
BCLC 分期(B/C)	33/7	11/12	8.335	0.004	44/19	26/16	0.714	0.398
HBsAg 阳性[例(%)]	26(65.0)	15(65.2)	0.000	0.986	41(65.1)	26(61.9)	0.110	0.740
肿瘤最大直径(cm)	4.6±1.4	4.8±1.3	0.756	0.269	4.7±1.4	4.8±1.5	0.824	0.231
TBil(μ mol/L)	19.6±3.5	18.8±3.2	0.963	0.112	19.5±3.4	20.4±3.8	1.023	0.107
AFP (ng/mL)	34.6±12.3	85.6±23.4	21.325	<0.001	60.4±18.9	56.7±16.9	0.986	0.135
ALT(U/L)	84.6±26.7	80.4±22.6	0.857	0.326	82.3±25.5	83.9±26.7	0.754	0.326
白蛋白(g/L)	40.2±4.2	38.9±3.4	0.942	0.156	39.2±3.6	41.2±4.3	1.124	0.156
TACE(常规药物/DEB)	26/14	15/8	0.000	0.986	41/22	28/14	0.028	0.867

2.2 影像特征参数筛选

A.K.软件共提取 MRI 纹理特征 396 个,这些特征分为 5 类,包括直方图、形状因子、灰度大小区域矩阵(GLSZM)、灰度共生矩阵(GLCM)和游程矩阵(RLM)。利用 LASSO 回归筛选最优预测因子 6 个,根据各因子对应的非零系数相乘的线性组合计算放射组学评分(Rad-score),见表 2 和图 2。

表 2 放射组学特征参数及对应系数

特征名称	系数
variance	-0.4574
InverseDifferenceMoment_angle90_offset7	0.3763
LongRunEmphasis _ angle 90 _ offset7	0.9905
ShortRunEmphasis _ AllDirection _ offset4 _SD	-0.9054
ShortRunEmphasis _ angle 135 _ offset1	-0.4763
High Intensity Large Area Emphasis	-0.0684

2.3 放射组学评分

ROC 计算 Rad-score 预测 TACE 后肿瘤无反应的 AUC 分别为 0.842 和 0.803,见表 3。

2.4 logistic 回归分析肿瘤无反应的危险因素

多因素 logistic 回归模型显示,AFP \geq 50 ng/mL、Child-Pugh 分级 B、BCLC 分期 C 和 Rad-score 是肿瘤无反应的独立危险因素($P<0.05$),见表 4。

2.5 预测模型建立及比较

ROC 显示,临床-放射组学结合预测肿瘤无反应的 AUC 最高($Z>3.659$, $P<0.01$)。

2.6 列线图的建立

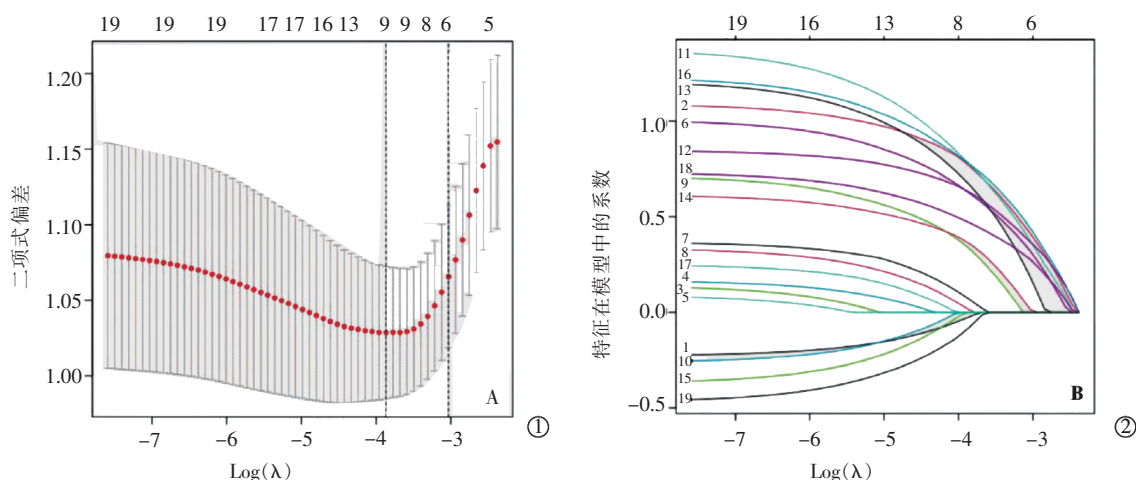
R 软件开发基于临床-放射组学的列线图模型,总分 110 分,见图 3。

2.7 列线图的验证

校正曲线显示列线图的吻合度较好,见图 4。

3 讨论

HCC 是我国主要的原发性肝癌类型,有较高的发病率和病死率,且呈年轻化趋势^[12]。50%~80%患者确诊时已处于中晚期,无手术根治机会。Cezanne 和细



①使用交叉验证法调节不同参数 λ 实现模型的二项式偏差最小,筛选出效能最好的特征集合;垂直虚线表示最佳 λ 取值对应的 $\log(\lambda)$ 值,选择标准为最小化标准;②筛选特征的特征系数收敛图,图中的每条曲线代表了自变量系数的变化轨迹,垂直线对应使用交叉验证后筛选出的非零特征

图 2 中晚期肝癌多模态 MRI 的放射组学纹理分析 LASSO 回归

表 3 各模型预测 TACE 后肿瘤无反应的 ROC

模型	训练组			验证组		
	AUC	95%CI	P 值	AUC	95%CI	P 值
Rad-score	0.842	0.789~0.896	<0.01	0.803	0.756~0.875	<0.01
临床模型	0.687	0.547~0.756	0.015	0.655	0.522~0.741	0.021
临床-放射组学结合	0.899	0.835~0.936	<0.01	0.867	0.812~0.905	<0.01

表 4 logistic 回归分析肿瘤无反应的危险因素

危险因素	β	Wald	P 值	OR 值	95%CI
AFP ≥ 50 ng/mL	0.645	4.561	0.003	1.906	1.055~3.445
Child-Pugh 分级 B	0.733	5.891	0.001	2.081	1.152~3.762
BCLC 分期 C	0.859	8.091	0.001	2.361	1.306~4.267
Rad-score	0.995	10.855	<0.001	2.705	1.496~4.899

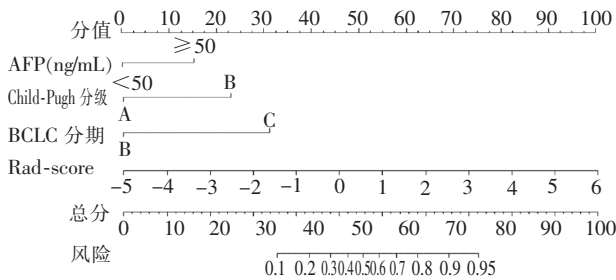


图 3 预测 TACE 后肿瘤无反应的列线图

胞因子信号 3 甲基化被证实与 TACE 肿瘤反应的高度异质性相关^[13-14],但是预测 TACE 肿瘤反应和患者预后的效能依然有限。TACE 是一种局部姑息性介入治疗,通过阻塞肿瘤供血动脉导致广泛坏死和抑制肿瘤进展,在中晚期肝癌治疗中发挥着关键作用。然而,肝癌患者对 TACE 的临床反应往往表现出很大的个体差异性,因此 TACE 前准确评估肿瘤反应尤为重要。

本研究显示,中晚期肝癌 TACE 后 3 个月肿瘤无反应率为 40.0%。MRI 放射组学的纹理分析共筛选出 396 个组学特征,包括 42 个直方图特征、9 个

形状因子特征、11 个 GLSZM 特征、180 个 RLM 特征和 154 个 GLCM 特征。基于直方图特征能够反映肿瘤的强度信息,形状因子特征可以描述肿瘤区域的三维大小和形状,GLSZM 特征反映具有特定灰度级别的像素与灰度值的另一个像素发生的次数,表示特定像素的联合概率,RLM 特征为具有不同灰度像素的运行次数和给定方向的运行长度^[15-16]。这些特征在人工分析中往往无法被识别,体现出放射组学的优越性。LASSO 缩小回归系数进一步整合形成 Rad-score,包含有效的生物学信息,反映肿瘤的异质性。Rad-score 与肿瘤的生物学特性高度相关,可以有效预测患者的预后,与 Kong 等^[17]的研究结果一致。

本研究显示,无反应组 Child-Pugh 分级 B 和 BCLC 分期 C 增多,血清 AFP 水平升高。BCLC 分期和 Child Pugh 分级被多个指南推荐作为 HCC 患者预后和治疗的分层依据^[18],实验室指标(如 AFP、HBsAg)与 HCC 预后也有重要联系^[19]。多因素 logistic 回归显示,AFP ≥ 50 ng/mL、Child-Pugh 分级 B、BCLC 分期 C 和 Rad-score 是肿瘤无反应的独立危险因素。临床 Rad-score 预测肿瘤无反应有更高的效能。ROC 证实,临床-放射组学结合预测肿瘤无反应的 AUC 最高。列线图将模型可视化,方便临床实践。校正曲线显示列线图预测概率与实际无反应发生率有较好的吻合度,提示列线图能够为临床早期

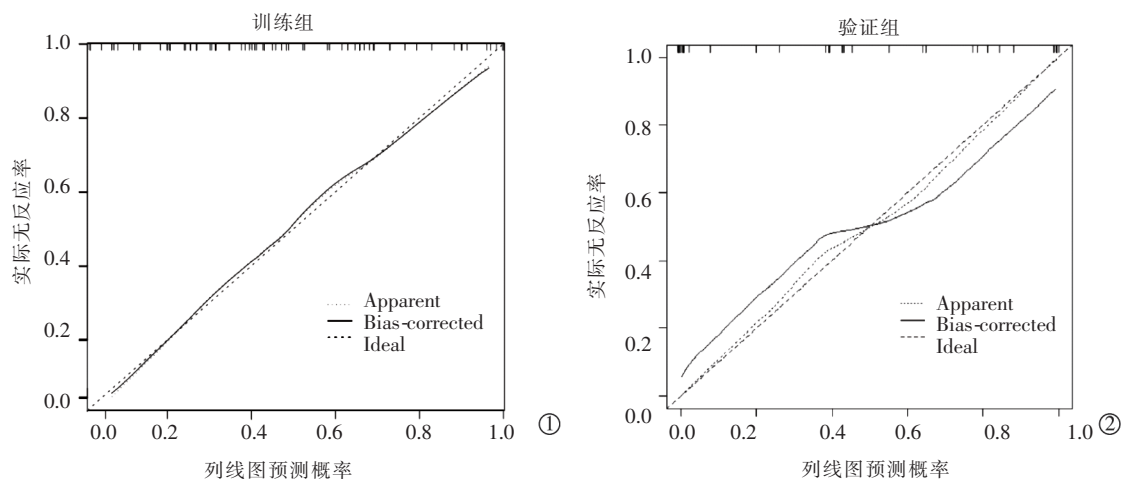


图 4 列线图的校正曲线

准确筛选肿瘤无反应患者,调整治疗方案,改善临床疗效。目前,尚缺乏关于常规药物与 DEB 在化疗疗效差异性方面的强效循证医学证据^[20]。

本研究仍有一些局限性:首先,是单中心回顾性研究,选择偏差不可避免;其次,样本量相对较小,需要外部验证和较大的数据集来完善结果。未来,应进行大样本、多中心队列和多模式研究,验证该放射组学特征的预测价值。

综上所述,多模态 MRI 的放射组学纹理分析量化评分对预测中晚期 HCC 患者 TACE 后 3 个月的肿瘤无反应有一定价值,结合临床因素构建的列线图模型有较好的可视化效果和临床实践潜能。

[参考文献]

- [1] 杨炜浩,仲斌演,杨 飞,等. 经动脉化疗栓塞联合卡瑞利珠单抗及酪氨酸激酶抑制剂治疗中晚期肝细胞癌的安全性及近期疗效[J]. 介入放射学杂志, 2022, 31:459-464.
- [2] Jiang C, Cheng G, Liao M, et al. Individual or combined transcatheter arterial chemoembolization and radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma: a time-to-event meta-analysis[J]. World J Surg Oncol, 2021, 19: 81.
- [3] Wei ZQ, Zhang YW. Transcatheter arterial chemoembolization followed by surgical resection for hepatocellular carcinoma: a focus on its controversies and screening of patients most likely to benefit[J]. Chin Med J (Engl), 2021, 134: 2275-2286.
- [4] Shao Z, Liu X, Peng C, et al. Combination of transcatheter arterial chemoembolization and portal vein embolization for patients with hepatocellular carcinoma: a review[J]. World J Surg Oncol, 2021, 19: 293.
- [5] Xiao L, Xiao E. Blood oxygen level - dependent functional magnetic resonance imaging can evaluate the efficiency of transcatheter arterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma[J]. J Interv Med, 2019, 2:5-7.
- [6] Kovac JD, Milovanovic T, Dugalic V, et al. Pearls and pitfalls in magnetic resonance imaging of hepatocellular carcinoma[J]. World J Gastroenterol, 2020, 26: 2012-2029.
- [7] 翁 炜,吕秀玲,张倩倩,等.基于磁共振影像组学技术对肝癌经肝动脉化疗栓塞术后短期疗效的预后价值分析[J]. 中华医学杂志, 2020, 100:828-832.
- [8] Stocker D, Hectors S, Bane O, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI perfusion quantification in hepatocellular carcinoma: comparison of gadoxetate disodium and gadobenate dimeglumine[J]. Eur Radiol, 2021, 31: 9306-9315.
- [9] 刘一萍,李新平,陈 磊,等. 基于人工智能的肝细胞癌精准影像学诊断和复发预测[J]. 临床肝胆病杂志, 2022, 38:521-527.
- [10] Wang Y, Liu Z, Xu H, et al. MRI-based radiomics model and nomogram for predicting the outcome of locoregional treatment in patients with hepatocellular carcinoma[J]. BMC Med Imaging, 2023, 23: 67.
- [11] Li YM, Zhu YM, Gao LM, et al. Radiomic analysis based on multi-phase magnetic resonance imaging to predict preoperatively microvascular invasion in hepatocellular carcinoma[J]. World J Gastroenterol, 2022, 28: 2733-2747.
- [12] El Jabbour T, Lagana SM, Lee H. Update on hepatocellular carcinoma: pathologists' review[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25: 1653-1665.
- [13] Yin Z, Yang L, Wu F, et al. Reactive oxygen species-mediated cezanne inactivation by oxidation of its catalytic cysteine residue in hepatocellular carcinoma[J]. Oncol Res, 2019, 27: 1069-1077.
- [14] Mao Y, Wang J, Zhu Y, et al. Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI radiomic features for predicting histological grade of hepatocellular carcinoma[J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2022, 11: 13-24.
- [15] Yang L, Gu D, Wei JW, et al. A radiomics nomogram for preoperative prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma[J]. Liver Cancer, 2019, 8: 373-386.
- [16] Liu A, Liu B, Duan X, et al. Development of a novel combined nomogram model integrating Rad - score, age and ECOG to predict the survival of patients with hepatocellular carcinoma treated by transcatheter arterial chemoembolization[J]. J Gastrointest Oncol, 2022, 13: 1889-1897.
- [17] Kong C, Zhao Z, Chen W, et al. Prediction of tumor response via a pretreatment MRI radiomics - based nomogram in HCC treated with TACE[J]. Eur Radiol, 2021, 31: 7500-7511.
- [18] Reig M, Forner A, Rimola J, et al. BCLC strategy for prognosis prediction and treatment recommendation: the 2022 update[J]. J Hepatol, 2022, 76: 681-693.
- [19] Luo P, Wu S, Yu Y, et al. Current status and perspective biomarkers in AFP negative HCC: towards screening for and diagnosing hepatocellular carcinoma at an earlier stage [J]. Pathol Oncol Res, 2020, 26: 599-603.
- [20] Tipaldi MA, Ronconi E, Lucertini E, et al. Hepatocellular carcinoma drug-eluting bead transarterial chemoembolization (DEB-TACE): outcome analysis using a model based on pre-treatment CT texture features[J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11: 956.

(收稿日期:2022-11-24)

(本文编辑:新 宇)