

基于 ADC 影像组学鉴别诊断儿童髓母细胞瘤与间变型室管膜瘤

庄义江, 黄钰纯, 唐雨曼, 曾洪武

【摘要】 目的:基于 ADC 影像组学特征,结合临床基本资料、常规影像学特征,利用支持向量机(SVM)构建模型以提高儿童髓母细胞瘤与间变型室管膜瘤术前鉴别诊断准确率。**方法:**分析本院 2011 年—2020 年经病理证实的髓母细胞瘤患者及间变型室管膜瘤患者临床基本资料及常规影像学特征,采用 Mann-Whitney *U* 检验分析其年龄差异,采用 Fisher 精确检验比较性别及常规影像特征差异,筛选有统计学意义特征作为临床特征组。由 2 名经专业培训医师手动勾画肿瘤最大层面 ROI,使用 3dslice 内部 radiomicsmodel 提取影像组学特征,采用一致性检验及最小绝对收缩与选择算子算法(LASSO)筛选组学特征作为组学特征组。将筛选所得的临床特征及影像组学特征作为综合组。采用 SVM 分别构建 3 个模型并利用留一法进行验证。通过受试者操作特征曲线下面积(AUC)及决策曲线(DCA)验证其鉴别诊断价值。**结果:**共搜集髓母细胞瘤 24 例,间变型室管膜瘤 14 例。临床特征组模型包括年龄、弥散受限及“融蜡征”(P<0.05),其 AUC 为 0.920(95% CI:0.8312~1),影像组学特征组模型 AUC 为 0.938(95% CI:0.8666~1),综合组模型 AUC 为 0.979(95% CI:0.9438~1)。DCA 结果显示当风险阈值>23%时,综合组模型的临床应用价值最高。**结论:**基于 ADC 影像组学、结合发病年龄、弥散受限及“融蜡征”的 SVM 模型,能有效区分儿童髓母细胞瘤及间变型室管膜瘤,区分能力高达 97.9%。

【关键词】 髓母细胞瘤; 室管膜瘤; 磁共振成像; 影像组学

【中图分类号】 R739.4; R730.264; R445.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2021)10-1265-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.10.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Differential diagnosis of medulloblastoma and anaplastic ependymoma in children based on ADC radiomics ZHUANG Yi-jiang, HUANG Yu-chun, TANG Yu-man, et al. Department of Radiology, Shenzhen Children's Hospital, Guangdong 518027, China

【Abstract】 Objective: To construct a model by support vector machine (SVM) based on ADC radiomics, combined with clinical basic data and conventional imaging features, in order to improve the accuracy of diagnosis of medulloblastoma and anaplastic ependymoma in children. **Methods:** The clinical basic data and routine imaging characteristics of medulloblastoma and anaplastic ependymoma patients confirmed with pathology were retrospectively analyzed all patient were admitted in our hospital from 2011 to 2020. The age differences were analyzed by Mann-Whitney *U* test. The gender and routine imaging features differences were compared by fisher's exact test. The imaging features and the clinical data that reach statistical significance were selected as the clinical feature group. The tumor's ROI was delineated by two well trained radiologists, its radiomics features were extracted using 3D-slice radiomics. The radiomics features were screened using consistency test and the least absolute shrinkage and selection operator (LASSO), when those reach statistical significance were selected as the radiomics feature group. The clinical data and features that reached statistical significance were selected as the comprehensive group. Three models were constructed separately using support vector machine and validated using the leave-one-out cross validation. The differential diagnostic value was verified by the area under the receiver (AUC) and decision curve (DCA). **Results:** 24 cases of medulloblastoma and 14 cases of anaplastic ependymoma were collected. The clinical feature group model included age,

作者单位: 518027 广东, 深圳市儿童医院放射科

作者简介: 庄义江(1994—), 男, 广东普宁人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事儿童影像诊断工作。

通讯作者: 曾洪武, E-mail: homerzeng@126.com

基金项目: 深圳市医疗卫生三名工程项目(SZSM202011005)

diffusion restriction and "melting wax sign" ($P < 0.05$), and its AUC was 0.920 (95%CI: 0.8312~1). The AUC of the radiomics feature group model was 0.938 (95%CI: 0.8666~1), and the AUC of the comprehensive group model was 0.979 (95%CI: 0.9438~1). The results of DCA showed that the clinical application value of the comprehensive group model was the highest when the risk threshold was greater than 23%. **Conclusion:** SVM model based on ADC radiomics, combined with onset age, diffusion restriction and "melting wax sign" can effectively distinguish medulloblastoma from anaplastic ependymoma in children, with a discriminatory ability as high as 97.9%.

【Key words】 Medulloblastoma; Ependymoma; Magnetic Resonance Imaging; Radiomics

髓母细胞瘤是儿童幕下最常见的恶性肿瘤,约占儿童中枢神经系统恶性肿瘤的 20%^[1],容易发生远处转移^[2]。室管膜瘤是儿童第三常见中枢神经系统肿瘤^[3],间变型室管膜瘤是室管膜瘤的一个亚型。根据 2016 年 WHO 分型属于 III 型,同样具有侵袭性、易复发等特点^[4]。两者的治疗方法、预后及管理各有不同^[5]。常规影像学这两类肿瘤的表现有一定重叠,均好发于 10 岁以下儿童,影像学均可表现为囊实性占位、侵犯于第四脑室、弥散受限等特点。仅凭常规影像学难以鉴别两者。研究表明^[6] ADC 值对儿童后颅窝肿瘤的鉴别诊断具有一定价值^[7,8],但对部分低分化肿瘤如髓母细胞瘤及间变型室管膜瘤,其 ADC 值区间存在部分重叠,对其鉴别诊断的价值有限。影像组学基于影像图像数据的深层次挖掘得到肿瘤更多的影像特征,结合临床信息从而进行客观的无创诊治、预后分析^[9]。目前已广泛应用于直肠癌^[10]、胃癌^[11]等恶性肿瘤研究。本研究旨在探讨基于 ADC 的影像组学在儿童幕下髓母细胞瘤与间变型室管膜瘤的鉴别诊断价值。

材料与方法

1. 患者资料

搜集 2011 年—2020 年经病理证实的髓母细胞瘤患者及间变型室管膜瘤患者的临床资料及影像数据。纳入标准:行头颅磁共振检查;经手术后组织病理证实为髓母细胞瘤及间变型室管膜瘤。排除标准:ADC 图像有伪影;未进行 ADC 扫描者。

2. MRI 检查

扫描设备为 Siemens Skyra 3.0T 超导型 MR 扫描仪或 GE Signa 1.5T 超导型 MR 扫描仪。3.0T 超导型 MR 扫描仪 DWI 扫描参数: $b = 0$ s/mm² 及 $b = 1000$ s/mm², TR 3170 ms, TE 100 ms; T_1 WI 扫描参数: TR 1800 ms, TE 42 ms; T_2 WI 扫描参数: TR 2300 ms, TE 108 ms; FLAIR 扫描参数: TR 9000 ms, TE 134 ms;层厚均为 6 mm, FOV 230 mm。1.5T 超导型 MR 扫描仪 DWI 扫描参数: $b = 0$ s/mm² 及 $b = 800$ s/mm², TR 4000 ms, TE 82 ms; T_1 WI 扫描参数: TR 1800 ms, TE 30 ms; T_2 WI 扫描参数: TR

4600 ms, TE 122 ms; FLAIR 扫描参数: TR 8600 ms, TE 150 ms;层厚均为 6 mm, FOV 240 mm。增强扫描使用对比剂 Gd-DTPA,以 0.1 mmol/kg 手推静脉注射,注射后立即采集图像。 $ADC = \ln(S_{低}/S_{高}) / (b_{高} - b_{低})$, $S_{低}$ 与 $S_{高}$ 分别为低 b 值及高 b 值所测得的 DWI 信号强度。

3. MRI 常规影像学特征评价

由两名经专业培训的放射科医生分别评估患儿常规影像学特征。存在分歧时经讨论达成共识。常规 MRI 影像学特征:①囊变:圆形或类圆形病变, T_2 WI 呈高信号, T_1 WI 及 FLAIR 呈低信号或等信号,增强后无强化;②坏死:不规则病变, T_2 WI 呈高信号, T_1 WI 及 FLAIR 呈低信号,增强后无强化;③瘤周水肿:肿瘤周围 FLAIR 不规则片状高信号区;④弥散受限: DWI 呈高信号,同时 ADC 呈低信号;⑤融蜡征:肿瘤呈塑形生长,疝入枕骨大孔;⑥强化范围:与常规平扫对比,以强化区域是否 $> 50\%$ 为界限分为两类(图 1)。

4. 图像感兴趣区(regionsofinterest, ROI)分隔及特征提取

由两名经专业培训的放射科医生分别勾画肿瘤 ROI 以分析病灶及影像组学特征提取的一致性。将患儿的 FLAIR 图导入 ITK-SNAP 软件(3.8.0-beta, <http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php>),选取肿瘤最大层面手动勾画肿瘤边缘(包括囊变、坏死,不包括瘤周水肿),保存 ROI 为 segmentation。将 ROI 及 ADC 图导入 3D slice 软件(4.11.0, <https://www.slicer.org>),使用 3D slice 软件的 radiomics-model 进行特征提取。采用 sitkBSpline 插值对 ADC 图进行重采样,重采样体素为 (1,1,1);禁用 ADC 图像标准化(参考 https://github.com/Radiomics/pyradiomics/tree/master/examples/exampleSettings/exampleMR_3mm.yaml,标准化会改变图像 ADC 的绝对数值)。使用高斯滤波器(sigma 分别为 1.0、2.0 及 3.0)及小波变换,派生新的图像。在原始图像及派生图像上进行影像组学特征提取。特征提取公式见 <https://pyradiomics.readthedocs.io/en/latest/>。

5. 模型构建及评估

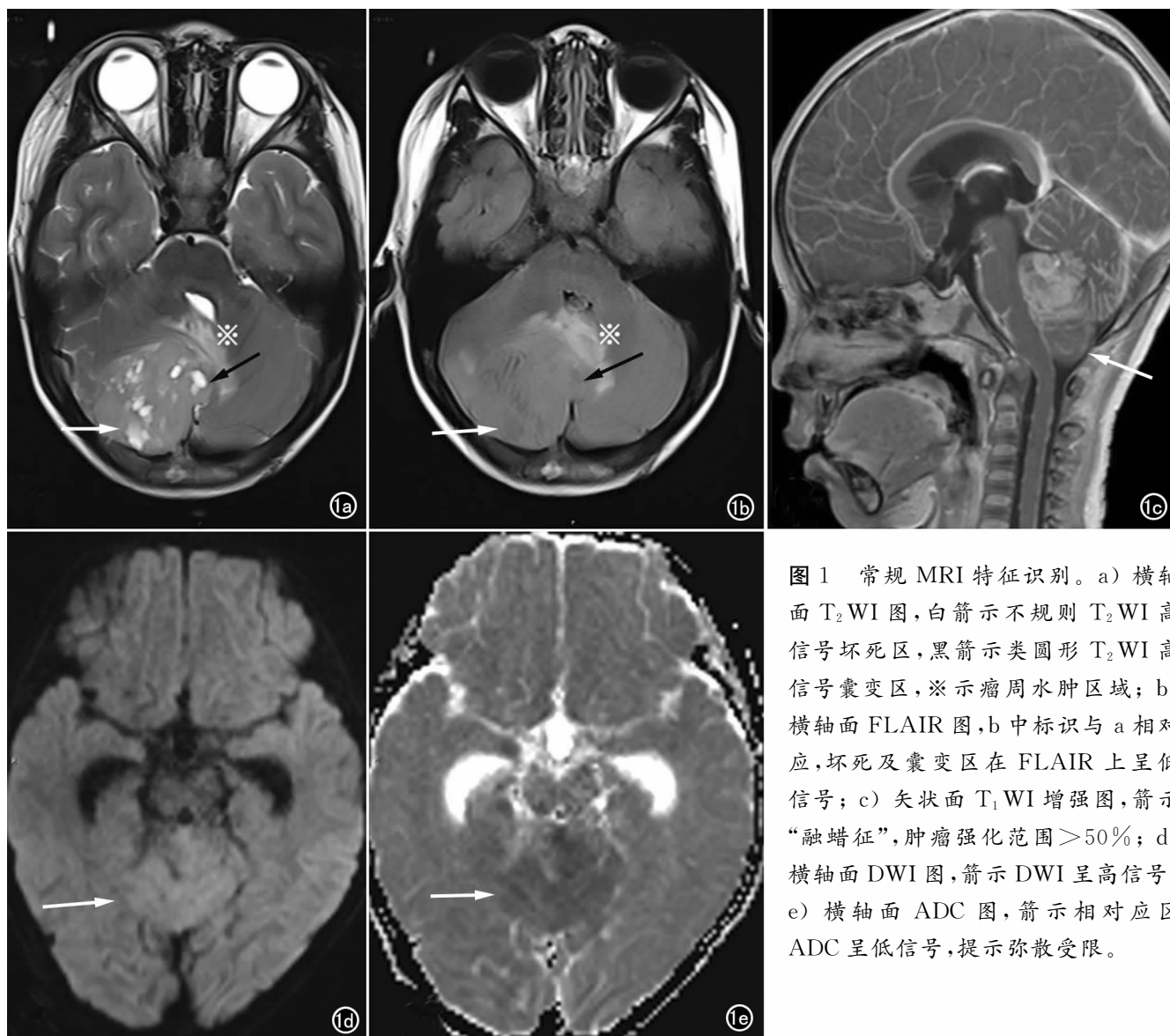


图 1 常规 MRI 特征识别。a) 横轴面 T_2 WI 图, 白箭示不规则 T_2 WI 高信号坏死区, 黑箭示类圆形 T_2 WI 高信号囊变区, ※ 示瘤周水肿区域; b) 横轴面 FLAIR 图, b 中标识与 a 相对应, 坏死及囊变区在 FLAIR 上呈低信号; c) 矢状面 T_1 WI 增强图, 箭示“融蜡征”, 肿瘤强化范围 $>50\%$; d) 横轴面 DWI 图, 箭示 DWI 呈高信号; e) 横轴面 ADC 图, 箭示相对应区 ADC 呈低信号, 提示弥散受限。

利用支持向量机(support vector machine, SVM)进行模型构建, 采用留一法(leave-one-out cross validation)进行模型验证。首先进行两名医师组间影像组学特征的一致性检验, 选取 $ICC > 0.75$ 的特征^[12]; 然后采用 log 函数转换对筛选后的影像组学特征进行标准化, 最后采用最小绝对收缩与选择算子算法(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)筛选影像组学特征。将筛选所得影像组学特征作为组学特征组; 将有统计学意义的临床资料及常规 MRI 影像学特征作为临床特征组; 将上述经筛选后的所有特征及临床资料作为综合组; 利用 SVM 分别构建 3 个模型, 采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估模型的分类效能, 并计算其曲线下面积(area under the curve, AUC)。采用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA), 计算不同阈值概率下的净效益, 进一步评估该模型的临床用途。

6. 统计学方法

使用 SPSS 22.0 版本分析临床基本资料、常规影像学特征。性别、常规 MRI 影像学特征为计数资料, 用频数表示, 因总样本量 < 40 , 故采用 fisher 精确检验比较两组间各未知参数间的差异。年龄为计量资料, 用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 本研究年龄不符合正态分布, 故采用 Mann-Whitney U 检验。

使用 R 软件(版本 3.5.3 <https://www.r-project.org>)分析影像组学特征、构建模型及评价模型。采用“irr”库进行两观察者间一致性检验; 采用“glmnet”库进行 LASSO 回归分析; 采用“e1071”库进行 SVM 模型构建; 采用“pROC”库绘制 ROC 曲线; 采用“rmda”库计算 DCA。

结 果

1. 临床资料与常规 MRI 影像学特征

经纳排标准, 共纳入髓母细胞瘤 24 例(男 13 例, 女 11 例), 间变型室管膜瘤 14 例(男 8 例, 女 6 例), 年

龄分别为 3~13 岁(7.25 ± 2.83)、1~13 岁(3.93 ± 3.2)。两组间年龄、弥散受限及融蜡征差异具有统计学意义($P < 0.05$, 表 1)。

2. 影像组学分类器构建和验证

基于 ADC 图,每幅图像提取 1130 个影像组学特征,经一致性检验及 LASSO 回归分析,最终筛选了 8 个组学特征作为组学特征组(图 3a、b)。分别为 original_firstorder_10Percentile、logsigma1.0mm3D_glcml_Cluster-Shade、logsigma2.0mm3D_firstorder_Median、waveletLLH_glcml_Contrast、wavelet-LLH_glcml_Imc1、waveletLHL_firstorder_Mean、waveletLLL_firstorder_10Percentile、waveletLLL_gldm_LowGrayLevelEmphasis。

基于有统计学意义的临床特征、有统计学意义的常规 MRI 影像特征、筛选的影像组学特征,分临床特征组、组学特征组及综合组构建分类器。其中临床特征组的 AUC 面积为 0.920(95% CI:0.8312~1,图 4a),组学特征组的 AUC 面积为 0.938(95% CI:0.8666~1,图 4b),综合组的 AUC 面积为 0.979(95% CI:0.9438~1,图 4c)。决策曲线分析显示当风险阈值>23%时(图 5 中影像组学特征组与综合组的交点),综合预测模型对患者的收益始终高于单独使用。

表 1 临床资料、常规 MRI 影像学特征比较

类型	髓母细胞瘤	间变型室管膜瘤	P 值
性别			1.000
男	13	8	
女	11	6	
年龄(岁)	7.25 ± 2.83	3.93 ± 3.2	0.001
影像学特征			
囊变			1.000
无	8	5	
有	16	9	
坏死			1.000
无	6	3	
有	18	11	
弥散受限			<0.001
不受限	0	8	
受限	24	6	
瘤周水肿			0.488
无	16	11	
有	8	3	
融蜡征			<0.001
无	20	1	
有	4	13	
强化范围			1.000
<50%	9	6	
≥50%	15	8	

讨 论

本研究基于 ADC 影像组学特征,结合临床基本资料及常用的影像学征象,采用 SVM 构建分类模型,能有效区分髓母细胞瘤及间变型室管膜瘤,其区分能力高达 97.9%。通过决策曲线进一步验证当风险阈

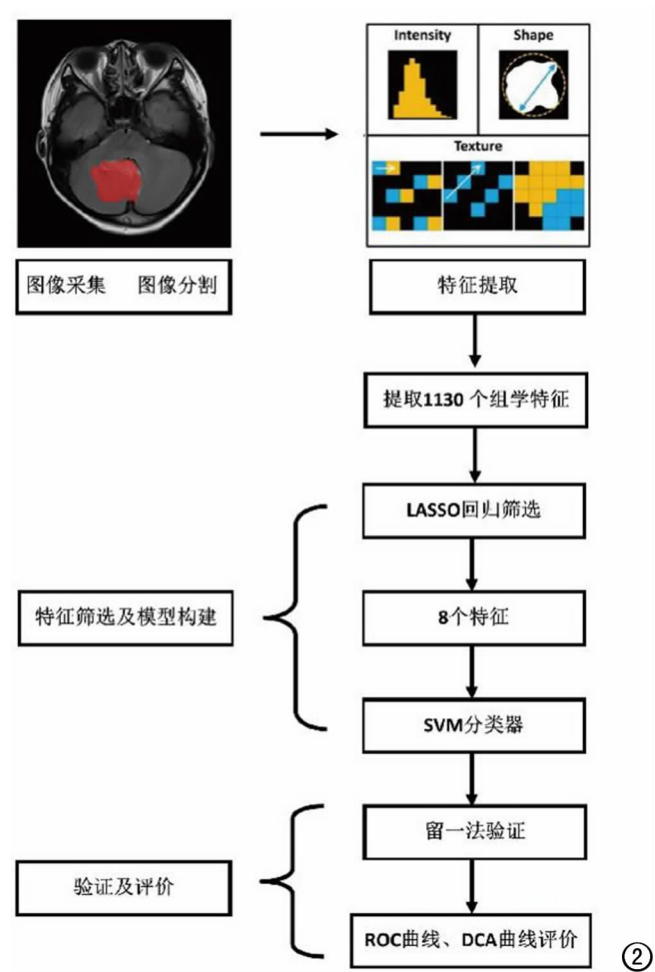


图 2 流程图分别表示图像搜集及 ROI 分割、特征提取、特征筛选、模型构建、模型验证及评价。

值>23%时,综合预测模型对患者的收益始终高于单独使用。结论为综合采用临床特征、常规影像特征及影像组学特征的分类器优于单独应用其中某一类特征的分类器。基于 ADC 影像组学能有效区分儿童幕下髓母细胞瘤及间变型室管膜瘤,对儿童肿瘤的术前评估具有较大临床价值。

儿童幕下髓母细胞瘤及室管膜瘤是最常见的两类肿瘤^[2],间变型室管膜瘤是室管膜瘤的一类亚型,属于 WHO III 级。髓母细胞瘤根据其组织病理学可分 5 型^[13]:①经典型髓母细胞瘤,呈典型或不典型菊团排列,由形态一致的致密圆形或卵圆形小细胞构成;②促纤维增生/结节型,表现为由致密的网状纤维围绕的圆形或卵圆形结节样苍白岛结构;③广泛结节型,表现为已分化神经细胞结节,形状不规则,肿瘤细胞排列成线状,被未分化的细胞间质分开,形似大理石图案;④大细胞型,细胞核大而圆呈空泡状,细胞质呈嗜酸性;⑤间变型,细胞之间相互包裹,核仁体积增大明显,高度核分裂性。间变型室管膜瘤镜下示瘤细胞呈“菊”形团样排列,核分裂活跃,异形明显,围绕血管排列,伴血管

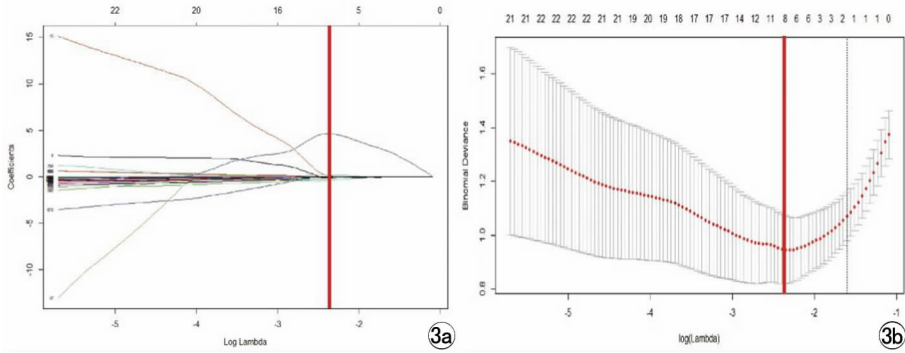


图 3 采用最小绝对收缩与选择算子算法(LASSO)筛选纹理特征。a) 纵坐标代表可调参数(λ)的变化。横坐标上方数字代表选择的特征数目,下方代表可调参数 $\log\lambda$ 的大小;b)纵坐标代表不同的纹理特征系数随可调参数 $\log\lambda$ 的变化情况;红色线代表 λ 最小值为 0.09 时所选择特征数目。

增生及假栅栏状坏死^[14]。

MRI 是术前评估这两类肿瘤的重要方法。影像学上两类肿瘤均可有囊变、坏死;可伴或不伴有瘤周水肿;两者强化程度多变^[15]。“融蜡征”(钻缝样生长)能否鉴别这两类肿瘤仍存在争议^[16]。同时间变型室管膜瘤属于 WHO III 级肿瘤,恶性程度较高,影像上同样可存在 DWI 弥散受限。本研究通过对患儿的临床信息(年龄、性别)及常规影像征象(囊变、坏死、弥散受限、强化程度、瘤周水肿、“融蜡征”)进行统计学分析,结果表明年龄、弥散受限、“融蜡征”具有统计学意义($P<0.05$)。取这 3 类特征组成临床特征组,采用 SVM 构建分类模型,其 AUC 面积 0.920(95% CI: 0.8312~1)。表明年龄、弥散受限及“融蜡征”可有效鉴别髓母细胞瘤及间变型室管膜瘤。

影像组学由 Lambin^[17]等首次提出,该方法基于影像图像感兴趣区提取定量的影像组学特征(形状特征、一阶特征、二阶纹理特征),利用机器学习、回归分

析等方式构建模型,实现对疾病客观的量化分析。基于常规 T₁WI、T₂WI、T₁WI 增强及 ADC 的影像组学在鉴别儿童肿瘤方面具有重要价值^[18-20]。许珂等^[18]比较了 49 例室管膜瘤及 48 例髓母细胞瘤的 T₂WI 灰度直方图特征,结果表明该特征能有效鉴别两类肿瘤,其 AUC 最高达 0.93。Fetit 等^[19]基于 T₁WI 及 T₂WI 的影像组学特征(直方图及一阶特征)构建的 SVM 模型,在儿童后颅窝肿瘤的鉴别效能达 0.86。Dong 等^[21]基于 T₁WI 增强及 ADC 图提取 188 个影像组学特征(包括形态特征、

直方图特征、一阶特征),用 3 种不同的特征筛选方式及 4 种不同的机器学习模型构建了 12 个分类模型。结果显示 AUC 最高可达 0.91(特征筛选使用逐步回归法,机器学习模型使用随机森林),同时发现使用随机森林及支持向量机构建模型时,两者鉴别诊断效能差异不具有统计学意义($P=0.627$)。本研究基于 ADC 图像提取更多的影像组学特征(形态特征、直方图特征、一阶特征及二阶纹理特征共 1130 个),利用一致性分析及 LASSO 回归筛选特征,采用 SVM 构建模型,其 AUC 达 0.94(95% CI: 0.8666~1)。证明了 ADC 影像组学的鉴别诊断价值,同时也表明更多的影像组学特征及特征筛选方法,有助于提高模型的鉴别诊断效能。

影像组学特征结合临床基本信息及常规影像学特征,能进一步提高模型预测的准确性。Huang^[22]等研究表明基于 CT 的影像组学列线图,结合临床基本信

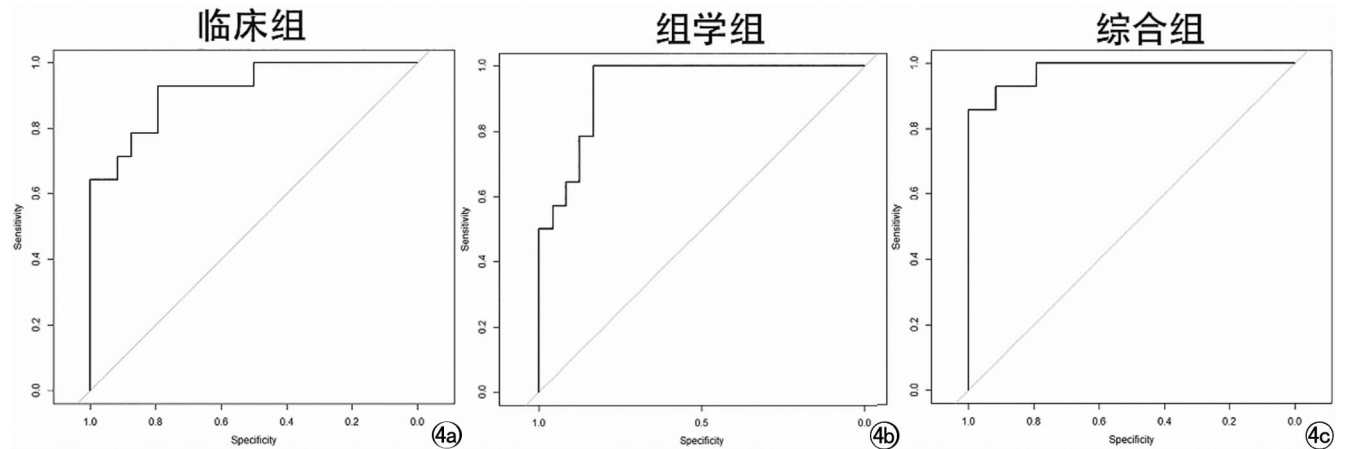


图 4 ROC 曲线图,横坐标代表特异性,纵坐标代表敏感性。a)临床特征组 ROC 曲线,AUC 面积 0.920(95% CI:0.8312~1);b)组学特征组 ROC 曲线,AUC 面积 0.938(95% CI:0.8666~1);c)综合组 ROC 曲线,AUC 面积 0.979(95% CI:0.9438~1)。

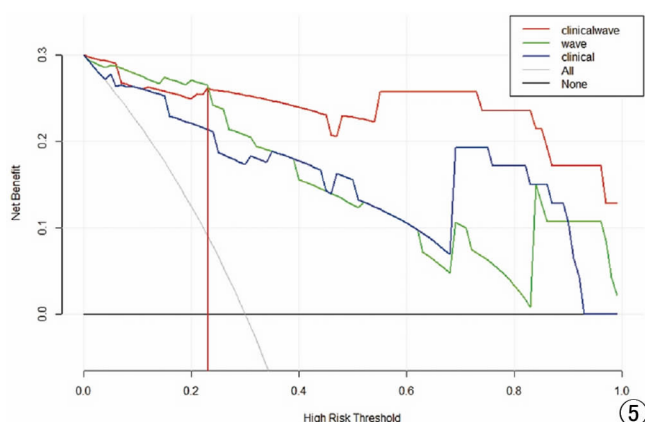


图5 三组不同特征的决策曲线分析,横坐标代表疾病发生风险,纵坐标代表患者净收益率。当风险阈值 $>23\%$ 时(图中组学特征组与综合组的交点),综合组预测模型对患者收益始终高于单独使用。

息后明显提高了预测模型的准确度,使患者收益最大化。本研究证实了影像组学标签结合常规 MRI 特征、临床特征后,其预测模型 AUC 面积为 0.979(95% CI:0.9438~1),优于单独使用。采用决策曲线表明当风险阈值 $>23\%$ 时,综合预测模型对患者的收益始终高于单独使用。

本研究的局限性:①共搜集髓母细胞瘤 24 例,间变型室管膜瘤 14 例。两者比例为 12:7,样本量仍有进一步提升空间。②所有案例均来自于深圳市儿童医院,缺少其他医学影像中心的外部验证。在其他医学影像中心,本研究的重复性、泛化性仍有待进一步验证。③对肿瘤感兴趣区的勾画,仍采用人眼识别最大层面,手工勾画的方式进行,无法避免人为主观因素影像。未来我们期待能与其他医学影像中心合作并采用全自动分隔图像方法,自动提取组学特征,构建新的预测模型;进一步验证本研究的鲁棒性及有效性。

综上所述,本研究首次基于 ADC 图提取影像组学特征并结合年龄、弥散受限、“融蜡征”构建 SVM 分类器模型。该模型对儿童髓母细胞瘤与间变型室管膜瘤的区分能力高达 97.9%,在儿童髓母细胞瘤与间变型室管膜瘤的鉴别诊断中具有重要价值,能为儿童后颅窝肿瘤的术前分类提供可靠依据。

参考文献:

- [1] Bhattacharya D, Pomeroy SL, Pomeranz Krummel DA, et al. Epigenetics and survivorship in pediatric brain tumor patients[J]. J Neuro-oncology, 2020, 150(1): 77-83.
- [2] Ward E, DeSantis C, Robbins A, et al. Childhood and adolescent cancer statistics, 2014[J]. CA: a cancer journal for clinicians, 2014, 64(2): 83-103.
- [3] Ostrom QT, Gittleman H, Fulop J, et al. CBTRUS statistical report: primary brain and central nervous system tumors diagnosed in the united states in 2008-2012[J]. Neuro-oncology, 2015, 17 (Suppl 4): iv1-iv62.

- [4] 白洁,程敬亮,高安康,等. 2016 年 WHO 中枢神经系统肿瘤分类解读[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(12): 1000-1005.
- [5] Pollack IF, Agnihotri S, Broniscer A. Childhood brain tumors: current management, biological insights, and future directions[J]. J Neurosurgery Pediatrics, 2019, 23(3): 261-273.
- [6] Jaremko JL, Jans LB, Coleman LT, et al. Value and limitations of diffusion-weighted imaging in grading and diagnosis of pediatric posterior fossa tumors[J]. American J Neuroradiology, 2010, 31 (9): 1613-1616.
- [7] 胡杉,梁长虹,刘再毅,等. 纹理分析及影像组学在非肿瘤病变的研究应用及进展[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(6): 526-529.
- [8] Liu Z, Meng X, Zhang H, et al. Predicting distant metastasis and chemotherapy benefit in locally advanced rectal cancer[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 4308.
- [9] Dong D, Tang L, Li ZY, et al. Development and validation of an individualized nomogram to identify occult peritoneal metastasis in patients with advanced gastric cancer[J]. Annals of Oncology: Official J the European Society for Medical Oncology, 2019, 30(3): 431-438.
- [10] 李涛,周兴,海莉丽,等. 儿童后颅窝髓母细胞瘤组织病理分型与预后的相关性分析[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2019, 22(11): 1173-1178.
- [11] 白玉贞,韩晓东,牛广明. 脑实质间变性室管膜瘤的 MRI 表现[J]. 放射学实践, 2012, 27(12): 1304-1307.
- [12] 顾卫彬,侯欣怡,马丁,等. 磁共振扩散加权成像在儿童髓母细胞瘤诊断中的价值[J]. 放射学实践, 2018, 33(9): 956-960.
- [13] 王林红,刘丹丹,巴照贵. 幕下室管膜瘤与髓母细胞瘤的鉴别诊断[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2017, 15(3): 323-325.
- [14] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. Eur J Cancer (Oxford, England; 1990), 2012, 48(4): 441-446.
- [15] 汪卫建,程敬亮,张勇,等. 增强 MRI 直方图鉴别儿童后颅窝髓母细胞瘤和室管膜瘤的价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2018, 29(5): 305-308.
- [16] 许珂,张勇,程敬亮,等. 基于 T₂WI 的灰度直方图分析在儿童后颅窝肿瘤诊断中的价值[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(9): 696-700.
- [17] Fetit AE, Novak J, Rodriguez D, et al. Radiomics in paediatric neuro-oncology: A multicentre study on MRI texture analysis[J]. NMR Biomedicine, 2018, 31(1): e3781.
- [18] 李娅,张勇,李蒙蒙,等. 纹理分析在鉴别儿童髓母细胞瘤和室管膜瘤中的价值[J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(3): 447-450.
- [19] Bull JG, Saunders DE, Clark CA. Discrimination of paediatric brain tumours using apparent diffusion coefficient histograms[J]. Eur Radiology, 2012, 22(2): 447-457.
- [20] 徐瑞,赵志勇,周青,等. 最小 ADC 值对后颅窝不典型髓母细胞瘤与室管膜瘤的鉴别诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39 (5): 885-889.
- [21] 贝天霞,程敬亮,白洁,等. ADC 值鉴别诊断脑实质室管膜瘤与胶质母细胞瘤[J]. 中国医学影像技术, 2016, 32(1): 44-47.
- [22] Huang YQ, Liang CH, He L, et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer[J]. J Clinical oncology: Official J Am Society of Clinical Oncology, 2016, 34(18): 2157-2164.