

3D-ASL 的 $rCBF_{max}$ 值在儿童后颅窝肿瘤鉴别诊断中的价值

盛思思, 邵剑波, 彭雪华, 郭豫, 朱百奇

【摘要】 目的:探讨三维动脉自旋标记成像(3D-ASL)参数 $rCBF_{max}$ 对儿童后颅窝肿瘤的诊断价值。**方法:**回顾性分析 2018 年 1 月—2022 年 12 月在本院经手术病理证实的 52 例后颅窝肿瘤患儿的临床和术前 MRI 资料(平扫、增强和 3D-ASL)。其中,髓母细胞瘤 28 例,毛细胞星形细胞瘤 11 例,室管膜瘤 13 例。测量肿瘤实性区域的最大脑血流量(CBF_{max})值,并计算最大相对脑血流量($rCBF_{max} = CBF_{max}/CBF_{健侧正常脑灰质}$)。采用 Kruskal-Wallis 检验比较 3 组肿瘤的 $rCBF_{max}$ 值,采用 ROC 曲线和约登指数来确定 $rCBF_{max}$ 鉴别肿瘤病理类型的最佳阈值、敏感度、特异度和曲线下面积(AUC)。**结果:**室管膜瘤的 $rCBF_{max}$ 值最高,为 1.53(1.27, 2.04),毛细胞星形细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值最低,为 0.69(0.56, 0.76),髓母细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值为 0.90(0.84, 1.00)。三组肿瘤的 $rCBF_{max}$ 值比较,差异有统计学意义($P < 0.001$)。ROC 曲线分析显示鉴别室管膜瘤与髓母细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 最佳阈值为 1.13,相应的诊断敏感度为 100%,特异度为 82.1%,AUC 为 90.7%;鉴别髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 最佳阈值为 0.80,相应的诊断敏感度为 85.7%,特异度为 100%,AUC 为 97.1%。**结论:**3D-ASL 定量参数 $rCBF_{max}$ 对常见儿童后颅窝肿瘤的鉴别诊断具有较高的临床应用价值。

【关键词】 后颅窝肿瘤; 儿童; 动脉自旋标记成像; 脑血流量; 磁共振成像

【中图分类号】 R445.2; R739.41 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)04-0523-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.04.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Value of $rCBF_{max}$ of 3D-ASL for differential diagnosis of pediatric posterior fossa tumors SHENG Si-si, SHAO Jian-bo, PENG Xue-hua, et al. Department of Radiology, Wuhan Children's Hospital (Wuhan Maternal and Child Healthcare Hospital), Tongji Medical College, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan Clinical Research Center for Children's Medical Imaging, Wuhan 430016, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of maximum relative cerebral blood flow ($rCBF_{max}$) of three-dimensional arterial spin labeling (3D-ASL) imaging in the differential diagnosis of posterior fossa tumors in children. **Methods:** Clinical and preoperative MRI data (plain scan, enhanced scan and 3D-ASL) of 52 children with posterior cranial fossa tumors confirmed by surgery and pathology in our hospital from January 2018 to December 2022 were retrospectively analyzed, including 28 cases of medulloblastoma, 11 cases of pilocytic astrocytoma and 13 cases of ependymoma, which were divided into three corresponding groups. All the children underwent MRI brain scan before surgery, including plain scan, enhanced scan and 3D-ASL. Maximum cerebral blood flow (CBF_{max}) was measured in the solid part of the tumor and the ratio was compared with the cerebral blood flow (CBF) of normal gray matter on the healthy side to obtain the maximum relative cerebral blood flow ($rCBF_{max}$). Kruskal-Wallis test was used to compare $rCBF_{max}$ values of the three groups of tumors, and ROC curve and Jorden index were used to determine the optimal threshold, sensitivity, specificity and area under the curve (AUC) of $rCBF_{max}$ in differentiating tumor pathological types. **Results:** The $rCBF_{max}$ value of ependymoma was the highest [1.53 (1.27, 2.04)], the $rCBF_{max}$ value of pilocytic astrocytoma was the lowest [0.69 (0.56, 0.76)], and that of medulloblastoma [0.90 (0.84, 1.00)] was between the two. Comparisons of $rCBF_{max}$ values among the three groups showed statistically significant differences (all $P < 0.001$). Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis showed that the best $rCBF_{max}$ cut-off for distinguishing ependymoma from medulloblastoma was 1.13, the corresponding diagnostic sen-

作者单位: 430016 湖北武汉, 华中科技大学同济医学院附属武汉儿童医院(武汉市妇幼保健院)影像中心/武汉市儿童影像医学临床医学研究中心

作者简介: 盛思思(1996—), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事儿科影像诊断工作。

通讯作者: 邵剑波, E-mail: shaojb2002@sina.com

sitivity was 100%, the specificity was 82.1%, and the AUC was 90.7%. The best $rCBF_{max}$ cut-off for distinguishing medulloblastoma from pilocytic astrocytoma was 0.80, with a corresponding diagnostic sensitivity of 85.7%, specificity of 100%, and AUC of 97.1%. **Conclusion:** The $rCBF_{max}$ value of 3D-ASL has applicable clinical value in the differential diagnosis of common posterior fossa tumors in children.

【Key words】 Posterior fossa tumor; Children; Arterial spin labeling; Cerebral blood flow; Magnetic resonance imaging

中枢神经系统肿瘤在儿童肿瘤中居第二位,其中约 60%起源于后颅窝^[1]。髓母细胞瘤、毛细胞星形细胞瘤和室管膜瘤是三种常见的儿童后颅窝肿瘤。肿瘤的类型、恶性程度及侵袭性的识别对治疗和预后至关重要^[2]。常规 MRI 可以发现后颅窝肿瘤,但鉴别诊断的敏感性和特异性不高^[3]。功能 MRI 技术提供了有关肿瘤生物学和生理学的重要附加信息^[4]。近年来 DWI 获得的定量参数——表观扩散系数(ADC)已被广泛应用于儿童后颅窝肿瘤的鉴别诊断^[5-7]。然而,基于灌注成像的儿科脑肿瘤研究相对较少,主要是由于传统的脑灌注成像多采用动态磁敏感对比增强 MRI (dynamic susceptibility contrast-enhanced MRI, DSC-MRI),需要注射对比剂,对儿童构成挑战^[8]。三维动脉自旋标记(three-dimensional arterial spin labeling, 3D-ASL)成像因其无创、无辐射且不需要外源性对比剂的优势,尤其适用于儿童中枢神经系统的检查^[9-10]。3D-ASL 成像获得定量参数脑血流量(cerebral blood flow, CBF),能够定量评估肿瘤的灌注情况,目前已应用于儿童脑肿瘤的术前分级^[9]。因此,本研究旨在探讨 3D-ASL 成像获得的 $rCBF_{max}$ 值对常见儿童后颅窝肿瘤的鉴别诊断价值。

材料与方法

1. 一般资料

搜集 2018 年 1 月—2022 年 12 月在本院经手术病理证实的 52 例后颅窝肿瘤患儿的临床和影像资料。其中,髓母细胞瘤 28 例,男 18 例,女 10 例,年龄 0.5~12.0 岁,平均(5.7±3.1)岁;毛细胞星形细胞瘤 11 例,男 7 例,女 4 例,年龄 1.3~8.5 岁,平均(3.7±2.6)岁;室管膜瘤 13 例,男 9 例,女 4 例,年龄 0.7~6.0 岁,平均(2.1±1.4)岁。所有患儿接受 MRI 检查前未接受过放化疗等任何抗肿瘤治疗。

检查前均取得患儿家属同意,并为之签订知情同意书。

2. 检查方法

使用 GE Discovery MR750 3.0T 磁共振仪和 8 通道头部专用线圈。患儿取仰卧位,对于不能配合的患儿给予 10%水合氯醛溶液(0.3~0.5 mL/kg)口服。行常规序列 MRI 平扫、对比增强 MRI 及 3D-ASL 扫描。

增强扫描使用 Gd-DTPA 作为对比剂,经肘静脉快速推注,剂量 0.2 mL/kg,注射流率 2.0 mL/s。3D-ASL 扫描参数:TR 4613 ms, TE 10.6 ms,视野 200 mm×200 mm,层厚 4 mm,标记后延迟时间 1525 ms,激励次数 3。

3. 图像分析

影像评估由一位研究生和一位具有 5 年以上工作经验的放射科医师采用双盲法独立进行阅片分析。将 3D-ASL 序列获取的原始图像导入 GE AW4.6 工作站,获得 CBF 伪彩图。参考平扫及增强图像,于肿瘤实性部分血流灌注最大的区域分别放置 3 个 ROI,大小约 50 mm²,注意避开肿瘤内的坏死、囊变、钙化和出血区及大血管,测得肿瘤的最大脑血流量(maximum CBF, CBF_{max}),取 3 个 ROI 的平均值,并计算其与健侧额叶 CBF 的比值,即最大相对脑血流量(maximum relative cerebral blood flow, $rCBF_{max}$)。

4. 统计学分析

使用 SPSS 26.0 统计分析软件。采用 Shapiro-Wilk 检验分析计量资料是否服从正态分布,服从正态分布的计量资料采用均数±标准差表示,对于偏态分布的计量资料以 M(Q1, Q3)表示,三组间 $rCBF_{max}$ 值的比较采用 Kruskal-Wallis 检验,采用 Bonferroni 法校正显著性水平并进行事后两两比较,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。应用 ROC 曲线分析和约登指数来确定 $rCBF_{max}$ 值鉴别三种肿瘤的最佳阈值及相应的敏感度、特异度和曲线下面积。

结 果

1. MRI 表现

髓母细胞瘤 28 例,24 例起源于中线处小脑蚓部,4 例位于小脑半球;肿瘤多呈圆形或类圆形,边界较清晰; T_1 WI 呈低信号, T_2 WI 呈等高信号;增强扫描显示 27 例有明显强化,其中 22 例强化欠均匀,1 例未见明显强化;ASL 序列上病灶呈等~低灌注(图 1)。22 例伴有不同程度脑积水,18 例伴有脑室周围水肿。

毛细胞星形细胞瘤 11 例,8 例位于小脑半球,2 例位于小脑蚓部,1 例位于第四脑室;形状欠规则,呈类圆形; T_1 WI 呈低信号, T_2 WI 呈不均匀高信号;6 例为囊实性,3 例为实性,2 例为囊性壁结节性;增强扫描示肿瘤壁结节或实性部分有明显强化,囊性部分无强化;

ASL 图像上肿瘤呈低灌注(图 2)。8 例伴有脑积水。

室管膜瘤 13 例,9 例起源于第四脑室(肿瘤呈舌状延伸至正中孔和侧孔),2 例位于小脑蚓部,2 例位于小脑半球; T_1 WI 呈等、低混杂信号, T_2 WI 呈等、高混杂信号;增强扫描示肿瘤呈中等不均匀强化;ASL 图像上肿瘤呈等~高灌注(图 3)。13 例均伴有脑积水和脑室周围水肿。

2. 三组肿瘤 $rCBF_{max}$ 值的比较

三组肿瘤的 $rCBF_{max}$ 值箱图见图 4。三组肿瘤中室管膜瘤的 $rCBF_{max}$ 值最高,为 1.53(1.27,2.04),毛细血管星形细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值最低,为 0.69(0.56,0.76),髓母细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值位于两者之间,为 0.90(0.84,

1.00)。三组之间 $rCBF_{max}$ 值的差异具有统计学意义($H=34.692, P<0.0001$);进一步采用 Bonferroni 法校正显著性水平进行事后分析,结果显示 $rCBF_{max}$ 值在毛细胞星形细胞瘤与髓母细胞瘤之间(调整后 $P=0.001$)、毛细胞星形细胞瘤与室管膜瘤(调整后 $P<0.0001$)、髓母细胞瘤与室管膜瘤(调整后 $P=0.003$)的差异均有统计学意义。

3. ROC 曲线分析

根据 3 组肿瘤的 $rCBF_{max}$ 值绘制 ROC 曲线(图 5)。以 $rCBF_{max}=1.13$ 为临界值时鉴别室管膜瘤与髓母细胞瘤的约登指数值最大,相应的 AUC 为 0.907 (95%CI:0.816~0.997),敏感度为 100%,特异度为

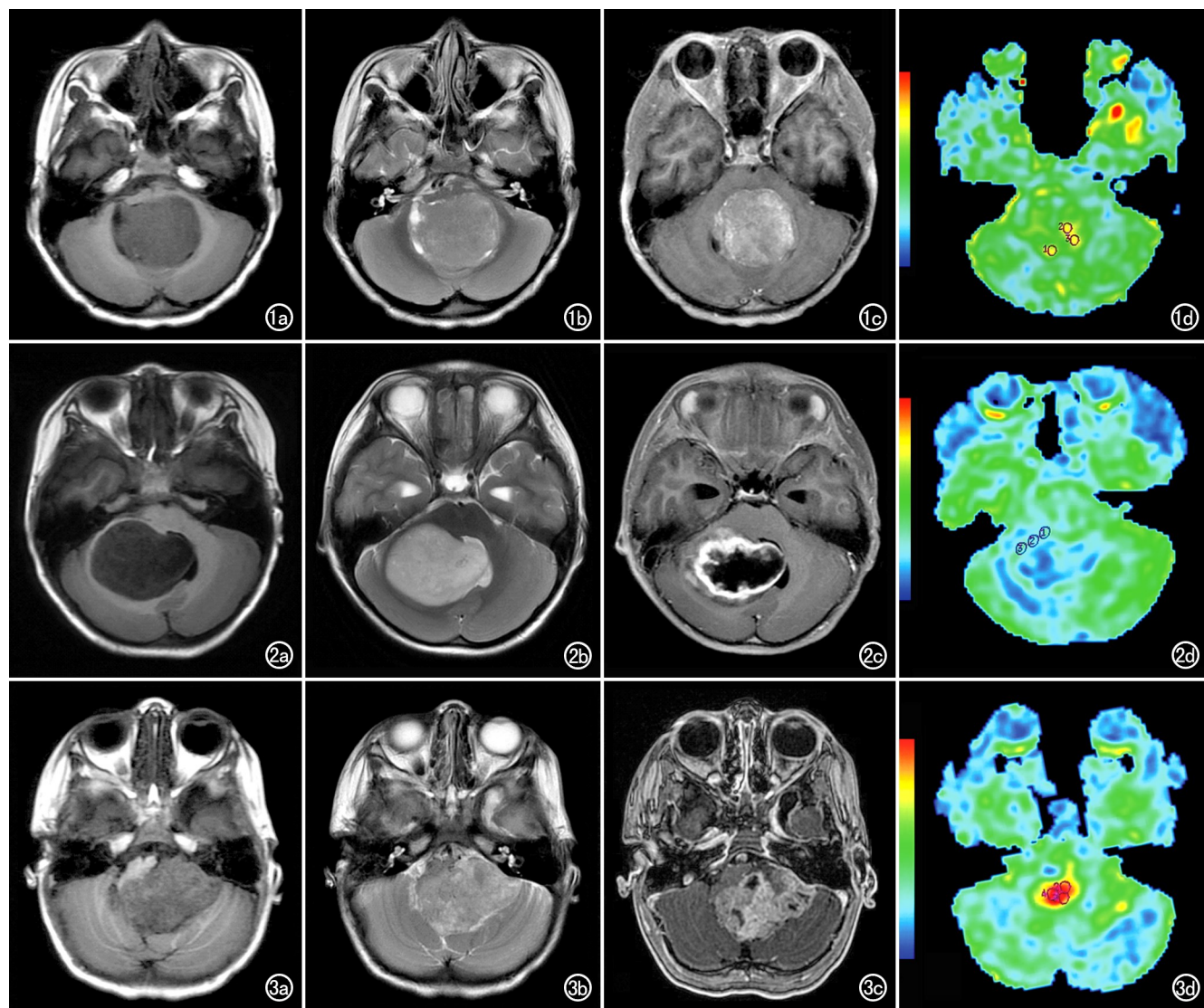


图 1 患儿,男,7 岁,后颅窝髓母细胞瘤。a) T_1 WI 上肿块呈低信号;b) T_2 WI 上肿块以等信号为主;c)对比增强 T_1 WI 图像上肿块呈不均匀强化;d)3D-ASL 序列伪彩图像上肿块呈等~高灌注。图 2 患儿,女,5 岁,后颅窝毛细胞星形细胞瘤。a) T_1 WI 上肿块呈低信号;b) T_2 WI 上肿块呈稍高信号;c)对比增强 T_1 WI 图像上肿块呈环形强化,环壁不规则,中央区无强化;d)3D-ASL 序列伪彩图像上肿块呈低灌注。图 3 患儿,女,1 岁,后颅窝室管膜瘤。a) T_1 WI 上肿块呈低~高混杂信号;b) T_2 WI 上肿块呈低~高混杂信号;c)对比增强 T_1 WI 图像上肿块呈不均匀强化;d)3D-ASL 序列伪彩图像上肿块呈高灌注。

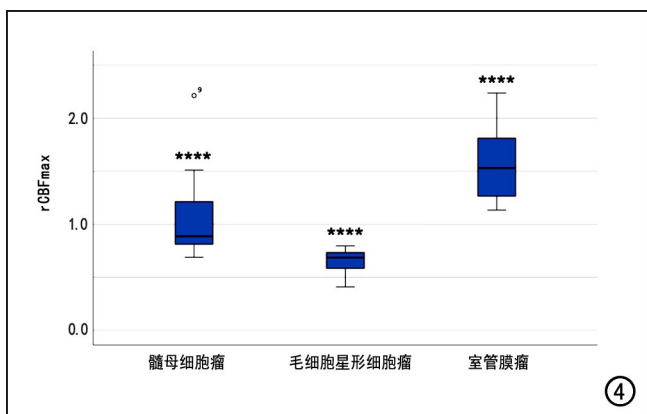


图4 三组肿瘤患儿的 $rCBF_{max}$ 值箱式图(****代表 $P < 0.0001$),显示三组肿瘤的 $rCBF_{max}$ 值有较明显的差异,三组中室管膜瘤的 $rCBF_{max}$ 值最高,髓母细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值次之,毛细胞星形细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值最低。

82.1%;以 $rCBF_{max} = 0.80$ 为临界值时鉴别髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤的约登指数值最大,相应的 AUC 为 0.971(95%CI:0.926~1.00),敏感度为 85.7%,特异度为 100%;以 $rCBF_{max} = 0.97$ 为临界值时鉴别室管膜瘤与毛细胞星形细胞瘤约登指数值最大,相应的 AUC 为 1.00(95%CI:1.00~1.00),敏感度为 100%,特异度为 100%。

讨论

MRI 灌注成像可评估脑肿瘤的血流灌注、肿瘤分级和分类、治疗反应和预后^[11]。3D-ASL 成像利用磁性标记的动脉血中的氢质子作为内源性示踪剂来获得脑灌注信息,无需使用外源性对比剂,且没有电离辐射,尤其适用于儿童这类特殊人群^[12]。对于儿童患者,考虑到年龄和性别依赖的脑灌注差异,需要进行归一化处理。相对脑血流量(定义为肿瘤血流量与健侧正常脑实质血流量之比)在各研究中显示的变异性小于脑血流量绝对值^[8,13]。对于 ROI 的勾画,研究表明

脑灰质比脑白质具有更高的信噪比和更短的动脉传输时间,故本研究中选择在脑灰质内进行 ROI 的勾画;其次,与勾画整个实体肿瘤区域相比,ROI 范围在 25~100 mm² 时对脑肿瘤分级的准确性更高^[14]。

在本研究中,三种肿瘤中室管膜瘤的 $rCBF_{max}$ 值最高,毛细胞星形细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值最低,髓母细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 值介于二者之间。新血管的生成对肿瘤的生长和转移至关重要,同时也影响药物的分布和治疗或手术的效果。肿瘤的发展导致血管生成因子(如碱性成纤维细胞生长因子和血管内皮生长因子)与抗血管生成因子(如血管抑制素)之间的失衡^[15-17]。Pang 等^[18]研究显示 3D-ASL 测量胶质瘤的 CBF 与肿瘤的 VEGF 表达呈正相关,且 CBF 和 VEGF 的表达在高级别和低级别胶质瘤组间有显著差异,高级别胶质瘤的 VEGF 表达和 CBF 高于低级别胶质瘤。Kikuchi 等^[19]发现 ASL 成像测量的儿童脑肿瘤的 CBF 值与肿瘤组织的血管密度之间存在显著的正相关关系,并可以准确的进行脑肿瘤的分级,高级别肿瘤的血管密度高,相应的 CBF 值也高。因此,高级别肿瘤及部分富血供肿瘤的血管密度高,导致高血流量。室管膜瘤为富血供肿瘤,肿瘤细胞常围绕中央血管细胞减少的纤维区域排列,形成“血管周围假菊团”,所以其血流灌注较高^[20];髓母细胞瘤是后颅窝最常见的胚胎性、恶性肿瘤,被 WHO 归类为 4 级肿瘤,其特征是肿瘤细胞密度高,细胞分裂迅速,血管密度高,其血流灌注次之^[21];毛细胞星形细胞瘤被 WHO 归类为 1 级肿瘤,细胞增殖和有丝分裂弱,肿瘤组织内仅由少量细胞组成,且多发生囊变,血管密度低,因此其血流灌注最低^[22]。

据报道,评估脑肿瘤 WHO 分级的最佳灌注参数常使用 $rCBF_{max}$ 而不是 $rCBF_{mean}$ ^[14]。因此,本研究中采用的是 $rCBF_{max}$ 。我们的研究结果显示,ROC 曲线区分室管膜瘤与髓母细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 最佳阈值为

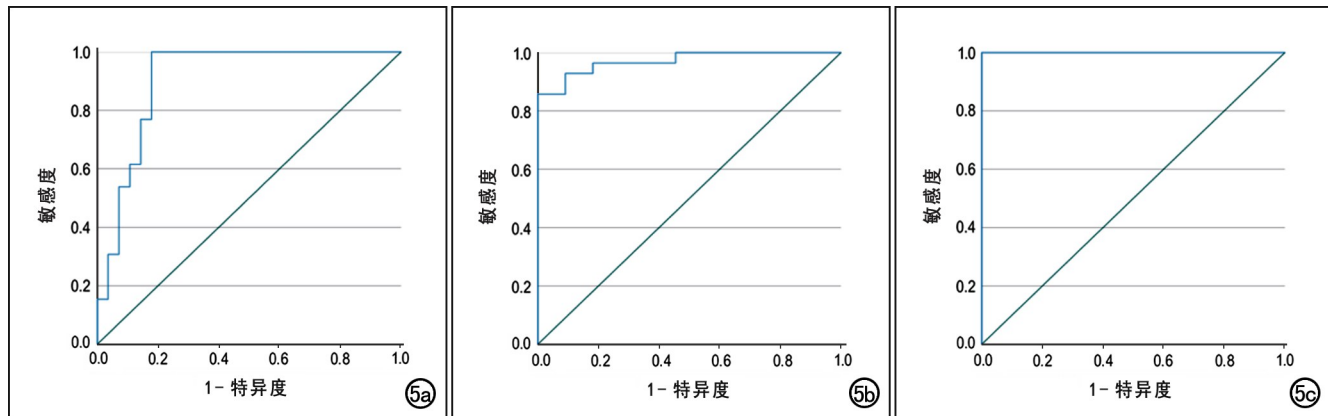


图5 $rCBF_{max}$ 值鉴别肿瘤病理类型的 ROC 曲线。a) $rCBF_{max}$ 值鉴别室管膜瘤与髓母细胞瘤的 AUC 为 0.907;b) $rCBF_{max}$ 值鉴别髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤的 AUC 为 0.971;c) $rCBF_{max}$ 值鉴别室管膜瘤与毛细胞星形细胞瘤的 AUC 为 1.00。

1.13,其敏感度为 100%,特异度为 82.1%,AUC 为 90.7%;区分髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤的 $rCBF_{max}$ 最佳阈值为 0.80,其敏感度为 85.7%,特异度为 100%,AUC 为 97.1%。即在儿童三大常见后颅窝肿瘤中, $rCBF_{max}$ 值大于等于 1.13,多考虑为室管膜瘤, $rCBF_{max}$ 值在 1.13 与 0.80 之间,多考虑为髓母细胞瘤, $rCBF_{max}$ 值小于等于 0.80,多考虑为毛细胞星形细胞瘤。Duc 等^[23]采用 $rCBF_{mean}$ 鉴别髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤,结果显示髓母细胞瘤的 CBF 值及 $rCBF_{mean}$ 值明显高于毛细胞星形细胞瘤,当 $rCBF_{mean}$ 的截断值为 0.51 时,可以较准确地鉴别髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤,敏感度为 88%,特异度为 75%,AUC 为 83.5%。与 Duc 等的研究相比,本研究中采用 $rCBF_{max}$ 值来鉴别髓母细胞瘤与毛细胞星形细胞瘤,敏感度为 85.7%,特异度为 100%,AUC 为 97.1%, $rCBF_{max}$ 值对儿童常见后颅窝肿瘤的鉴别诊断效能更高,更有助于临床治疗方式的选择及评估患者的预后。

综上所述,3D-ASL 成像作为一种无创、安全的灌注成像方法,可作为常规 MRI 检查的有效补充手段。 $rCBF_{max}$ 值对鉴别儿童后颅窝三大类型肿瘤的特异性和敏感性都较高,是一项有价值的灌注参数。

参考文献:

- [1] Takeishi Y, Takayasu T, Kolakshyapati M, et al. Advantage of high b value diffusion-weighted imaging for differentiation of common pediatric brain tumors in posterior fossa[J/OL]. EJMR, 2020,128: e108983[Epub 2020 May 5]. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.108983.
- [2] Wang S, Wang G, Zhang W, et al. MRI-based whole-tumor radiomics to classify the types of pediatric posterior fossa brain tumor[J]. Neurochirurgie, 2022,68(6): 601-607.
- [3] Gonçalves FG, Zandifar A, Ub Kim JD, et al. Application of apparent diffusion coefficient histogram metrics for differentiation of pediatric posterior fossa tumors[J]. Clin Neuroradiol, 2022, 32(4):1097-1108.
- [4] Kerleroux B, Cottier JP, Janot K, et al. Posterior fossa tumors in children: radiological tips & tricks in the age of genomic tumor classification and advance MR technology[J]. J Neuroradiol, 2020,47(1): 46-53.
- [5] Zitouni S, Koc G, Doganay S, et al. Apparent diffusion coefficient in differentiation of pediatric posterior fossa tumors[J]. Jpn J Radiol, 2017,35(8): 448-453.
- [6] 张岚,张勇,王怀立.磁共振弥散加权成像表观弥散系数值在儿童后颅窝肿瘤鉴别诊断中的价值[J].中华实用儿科临床杂志, 2017,32(11): 828-832.
- [7] Phuttharak W, Wannasarnmetha M, Wara-Asawapati S, et al. Diffusion MRI in evaluation of pediatric posterior fossa tumors[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2021,22(4): 1129-1136.
- [8] Delgado AF, De Luca F, Hanagandi P, et al. Arterial spin-labeling in children with brain tumor: a meta-analysis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018,39(8): 1536-1542.

- [9] 陈佩瑶,金超,杨健.动脉自旋标记技术在儿童中枢神经系统检查中的应用进展[J].中华放射学杂志,2022,56(1):103-107.
- [10] 唐红梅,汪星宇,谭欢,等.青少年抑郁症脑血流改变与临床特征评分的相关性[J].放射学实践,2023,38(4):401-405.
- [11] Troudi A, Tensaouti F, Baudou E, et al. Arterial spin labeling perfusion in pediatric brain tumors: a review of techniques, quality control, and quantification[J]. Cancers, 2022, 14(19): e4734[Epub 2022 Sep 28]. DOI: 10.3390/cancers14194734.
- [12] Kitajima M, Uetani H. Arterial spin labeling for pediatric central nervous system diseases: techniques and clinical applications[J]. Magn Reson Med Sci, 2023,22(1): 27-43.
- [13] 赵倩倩,杨秋霞,许桂晓,等.全脑 3D 动脉自旋标记成像在颅脑肿瘤诊断中的应用价值[J].中华医学杂志,2017,97(23): 1801-1804.
- [14] Hales PW, D'arco F, Cooper J, et al. Arterial spin labelling and diffusion-weighted imaging in paediatric brain tumours[J/OL]. Neuroimage Clin, 2019,22: e101696[Epub 2019 Jan 29]. DOI: 10.1016/j.nicl.2019.101696.
- [15] Wang J, Bettgowda C. Genomic discoveries in adult astrocytoma[J]. Curr Opin Genet Dev, 2015,30: e17-e24[Epub 2015 Jan 20]. DOI: 10.1016/j.gde.2014.12.002.
- [16] Najbauer J, Tietze A, Mouridsen K, et al. Perfusion MRI derived indices of microvascular shunting and flow control correlate with tumor grade and outcome in patients with cerebral glioma[J/OL]. Plos One, 2015,10(4): e0123044[Epub 2015 Apr 13]. DOI: 10.1371/journal.pone.0123044.
- [17] 王旭,魏强,刘义军,等.肺癌脑转移瘤 DSC-PWI: ASL 最佳标记延迟时间分析[J].放射学实践,2023,38(4): 394-400.
- [18] Pang H, Dang X, Ren Y, et al. 3D-ASL perfusion correlates with VEGF expression and overall survival in glioma patients: comparison of quantitative perfusion and pathology on accurate spatial location-matched basis[J]. JMIR, 2019,50(1): 209-220.
- [19] Kikuchi K, Hiwatashi A, Togao O, et al. Correlation between arterial spin-labeling perfusion and histopathological vascular density of pediatric intracranial tumors[J]. J Neurooncol, 2017, 135(3): 561-569.
- [20] Rudà R, Reifenberger G, Frappaz D, et al. EANO guidelines for the diagnosis and treatment of ependymal tumors[J]. Neuro Oncol, 2018,20(4): 445-456.
- [21] Tural S, Gercek A, Konya D, et al. Microvessel density and vascular endothelial growth factor expression as predictors of children's survival from cerebellar medulloblastoma[J]. J Clin Neurosci, 2009,16(9): 1199-1202.
- [22] Kurokawa R, Kurokawa M, Baba A, et al. Differentiation of pilocytic astrocytoma, medulloblastoma, and hemangioblastoma on diffusion-weighted and dynamic susceptibility contrast perfusion MRI[J/OL]. Medicine, 2022, 101(44): e31708[Epub 2022 Nov 4]. DOI: 10.1097/MD.00000000000031708.
- [23] Duc NM. Three-dimensional pseudo-continuous arterial spin labeling parameters distinguish pediatric medulloblastoma and pilocytic astrocytoma[J/OL]. Front Pediatr, 2021, 8: e598190[Epub 2021 Mar 2]. DOI: 10.3389/fped.2020.598190.

(收稿日期:2023-06-13 修回日期:2023-11-07)