

• 中枢神经影像学 •

脑肿瘤周水肿 MSCT 灌注成像的定量研究

任广, 陈爽, 耿道颖

【摘要】 目的:探讨脑肿瘤周水肿的 MSCT 灌注特点及其在脑肿瘤诊断与鉴别诊断中的临床应用价值。**方法:**对 58 例脑肿瘤(胶质瘤 20 例,转移瘤 17 例,脑膜瘤 21 例)患者进行常规 CT 扫描和 CT 灌注扫描。瘤周水肿区分为近侧和远侧两个部分,对照分析近侧、远侧水肿区以及正常脑组织的 CT 灌注参数的差异及相关性。**结果:**高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤的近侧瘤周水肿区的 CBF、CBV、PS 值高于低级别胶质瘤、转移瘤、脑膜瘤的近侧瘤周水肿区($P < 0.05$);各种脑肿瘤近侧瘤周水肿区的 CBF、CBV 值明显低于对侧相应部位脑白质的 CBF、CBV 值,其间差异有统计学意义($P < 0.05$)。高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤近侧瘤周水肿区的 PS 值高于对侧相应部位脑白质的 PS 值,其间差异有统计学意义($P < 0.05$)。低级别胶质瘤、转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区与对侧相应部位脑白质的 PS 值比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**近侧瘤周水肿区的灌注参数有助于准确评价脑肿瘤周水肿区的血流动力学改变及良恶性脑肿瘤的鉴别。

【关键词】 脑肿瘤; 脑水肿; 体层摄影术, X 线计算机; 血液动力学

【中图分类号】 R739.41; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2011)05-0483-05

The quantitative evaluation of multislice CT perfusion imaging in peritumoral brain edema REN Guang, CHEN Shuang, GENG Dao-ying. Department of Radiology, Huashan Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the potential of CTP in diagnosing brain tumors and defining the tumor boundary by analysing the parameters obtained from peritumoral edema. **Methods:** Fifty-eight patients with brain tumors underwent routine and perfusion CT imaging. The peritumoral low-attenuation region was divided into two regions. Comparisons of CBF, CBV, and PS were done among distant peritumoral region, immediate peritumoral region, and contrallateral normal white matter. **Results:** CBF, CBV, PS in immediate peritumoral edema of high-grade gliomas and malignant meningiomas were significantly higher than those of low-grade gliomas, metastases and benign meningiomas ($P < 0.05$). PS in immediate peritumoral edema of high-grade gliomas and malignant meningioma were higher than that of contrallateral normal white matter ($P < 0.05$). PS in immediate peritumoral edema of low-grade gliomas, metastases and benign meningiomas were not different from that of contrallateral normal white matter ($P > 0.05$). **Conclusion:** Hemodynamic changes in peritumoral brain edema could be accurately evaluated by CT perfusion examination.

【Key words】 Brain neoplasms; Brain edema; Tomography, X-ray computed; Hemodynamics

瘤周水肿通常定义为肿瘤周边 CT 无强化的低密度或常规 MRI 上肿瘤周边无强化的 T_1 WI 低信号、 T_2 WI 高信号区域。以往很多研究是将传统的影像学表现与病理结果相结合,探讨瘤周水肿与肿瘤大小、发生部位、病理分型、分级之间的关系,也有学者将瘤周水肿与脑膜瘤和高级别胶质瘤的强化程度联系分析,认为血脑屏障(blood brain barrier, BBB)破坏是引起胶质瘤周水肿的原因^[1]。近年来 CT 灌注(CT perfusion, CTP)引起广泛关注,本文回顾性分析 58 例脑肿瘤周水肿的 MSCT 灌注成像资料,旨在探讨 CTP 成像在脑肿瘤诊断与鉴别诊断中的临床应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

搜集 2008 年 1 月~2009 年 1 月术前行 MRI 平

扫及增强扫描,常规 CT 平扫及 CTP 成像的脑肿瘤患者,要求符合以下指标:①无碘对比剂过敏;②常规 CT 或 MRI 证明瘤周水肿区大于 1 cm,有明显近侧及远侧瘤周水肿区;③临床资料完整并有明确的病理学诊断。本组共入选 58 例,其中男 36 例,女 22 例,年龄 22~79 岁,平均年龄 55.15 岁,其中胶质瘤 20 例,转移瘤 17 例,脑膜瘤 21 例,均经手术和病理证实。按世界卫生组织(WHO)2007 年分类^[2],根据胶质瘤和脑膜瘤不同级别间的组织学和生物行为特点,将胶质瘤分为低级别(Ⅱ级,4 例)和高级别(Ⅲ级和Ⅳ级,共 16 例);将脑膜瘤分为良性脑膜瘤(Ⅰ级和Ⅱ级,共 15 例)和恶性脑膜瘤(Ⅲ级,6 例)。

2. 成像系统及扫描方法

采用 Siemens Somatom Sensation 64 层螺旋 CT 扫描机,首先行常规层厚 10 mm、层间距 10 mm 的横轴面扫描,定位肿瘤瘤体及瘤周水肿代表性区域,使用 Medrad 高压注射器,以 5 ml/s 流率经肘静脉快速团注非离子型对比剂(Omnipaque 300 mg I/ml)50 ml,延迟时间 6 s,同时开始连续 40 s 的双层动态扫描,图

像按时间顺序进行重建。管电压 80 kV,管电流 180 mAs,矩阵 512×512,扫描层厚 10 mm,扫描 4 层。

3. 图像后处理

将扫描的动态图像传入 Siemens syngo MultiModality Workplace 工作站,经 Syngo Neuro Perfusion CT 软件处理,设定适当的域值,将 CT 值<20 HU 或>300 HU 排除在外,消除颅骨、脑脊液的影响,并使用 256 彩色显示每个像素的血流灌注状态,再人工勾画兴趣区(ROI),避开肿瘤坏死区,选择肿瘤实质血供丰富区,获得 ROI 动态时间-密度曲线(time-density curve,TDC),再结合上矢状窦参照血管的 TDC,采用 Patlak 模型计算脑肿瘤实质区、瘤周水肿区和对侧脑组织的 CBF、CBV、PS 值。

4. 数据定量分析

瘤周水肿区的定义为:①近侧瘤周水肿区:靠近脑白质侧,紧邻瘤体强化区域 1 cm 以内。②远侧瘤周水肿区:靠近脑白质侧,近侧瘤周区以外,与强化区域相距 1 cm 以上。③正常脑组织:病变兴趣区对侧脑白质组织。依据 CBF、CBV、PS 图及常规 CT 图像,分别于近侧瘤周区、远侧瘤周区各选取 3 个 ROI,同时于该 ROI 对侧半球正常脑白质区取同样大小、同等数量的 3 个 ROI,每个 ROI 大小为 30~50 个像素。ROI 的选择应注意:①应尽量避免坏死、囊变、出血、钙化等信号不均匀区域。②圆形 ROI 的边缘距增强肿瘤强化区的外缘至少 5 mm,以除外部分容积效应。③病变应尽量选择 在脑白质区,远离脑灰质。取每个 ROI 内测量值的平均值作为相应各参数的绝对值,计算出近侧瘤周区、远侧瘤周区及对侧脑白质灌注参数值如脑血流量(CBF)、脑血容量(CBV)、表面通透性(PS)等。

5. 统计学方法

统计学处理采用 SPSS 13.0 统计分析软件,不同病变在相同区域处的差异用单因素 ANOVA 方差分析,同种病变不同区域之间的差异采用配伍组方差分析,两两比较方差齐性时采用最小显著差异法(least-significant difference,LSD),方差不齐则采用 Dunnett T3 法。统计结果均以 $\bar{x}\pm s$ 表示,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义, $P<0.01$ 为差异有高度统计学意义。

结 果

1. 瘤周水肿常规 CT 及 MRI 表现

脑肿瘤瘤周水肿 CT 平扫呈低密度区,T₁WI 上呈稍低信号;T₂WI 上呈稍高信号,FLAIR 呈高信号;DWI 上为稍低信号。注入对比剂后,水肿区无明显强化。近侧瘤周水肿和远侧瘤周水肿区平扫及增强扫描后未见明显密度、信号差别。

2. 不同脑肿瘤瘤体及近侧、远侧瘤周水肿区的

CT 灌注值

脑肿瘤瘤体及瘤周各区的 CBF、CBV、PS 值经正态性检验符合正态分布。各种脑肿瘤瘤体及近侧、远侧瘤周水肿区 CBF、CBV、PS 值见表 1。

表 1 不同脑肿瘤近侧、远侧瘤周水肿的 CBF、CBV、PS 值

类型	CBF	CBV	PS
近瘤周水肿区			
高级别胶质瘤	6.10±3.77	11.73±3.24	2.13±0.64
低级别胶质瘤	3.40±0.89	6.70±1.23	1.05±0.26
转移瘤	2.97±1.39	5.06±1.46	1.06±0.43
恶性脑膜瘤	8.63±3.11	13.85±3.39	2.30±0.89
良性脑膜瘤	2.58±1.28	4.10±2.01	1.06±0.50
远瘤周水肿区			
高级别胶质瘤	4.02±0.79	7.09±1.01	1.16±0.36
低级别胶质瘤	3.80±0.60	7.17±0.78	1.00±0.25
转移瘤	3.83±0.76	6.92±1.28	1.11±0.35
恶性脑膜瘤	4.06±0.73	6.88±1.42	1.23±0.45
良性脑膜瘤	3.63±0.94	6.54±1.72	1.13±0.44
对侧脑白质	11.67±2.39	16.05±3.06	1.19±0.23

注:CBF [ml/(100ml·min)],CBV (ml/1000ml),PS [0.5ml/(100ml·min)]

不同脑肿瘤的近侧瘤周水肿之间 CBF、CBV、PS 值比较:高级别胶质瘤近侧瘤周水肿区 CBF、CBV 及 PS 值高于低级别胶质瘤、转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区($P<0.05$),高级别胶质瘤与恶性脑膜瘤近侧瘤周水肿区差异无统计学意义($P>0.05$),恶性脑膜瘤近侧瘤周水肿区 CBF 值高于低级别胶质瘤、转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区 CBF 值($P<0.05$)。低级别胶质瘤、转移瘤、良性脑膜瘤之间近侧瘤周水肿区差异无统计学意义($P>0.05$)。

高级别胶质瘤、低级别胶质瘤、转移瘤、恶性脑膜瘤、良性脑膜瘤远侧瘤周水肿区之间的 CBF、CBV、PS 值比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。

3. 同种脑肿瘤近侧、远侧的瘤周水肿及对侧脑白质 CT 灌注值

同种脑肿瘤近侧、远侧瘤周水肿区的 CBF、CBV、PS 值比较:高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤的近侧瘤周水肿区 CBF、CBV 及 PS 值高于远侧瘤周水肿区,差异具有统计学意义($P<0.05$)。低级别胶质瘤近、远侧瘤周水肿区之间差异无统计学意义($P>0.05$)。转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区 CBF 及 CBV 值低于远侧瘤周水肿区,差异具有统计学意义($P<0.05$),PS 值比较差异无统计学意义($P>0.05$)。

同种脑肿瘤近侧瘤周水肿区与对侧脑白质的 CBF、CBV、PS 值比较:各种脑肿瘤的近侧瘤周水肿区的 CBF、CBV 值均明显低于对侧脑白质,差异有统计学意义($P<0.05$)。高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤的近侧瘤周水肿区的 PS 值明显高于对侧脑白质,差异有统计学意义($P<0.05$)。低级别胶质瘤、转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区与对侧脑白质的 PS 值之间差异无统计学意义($P>0.05$,图 1~3)。

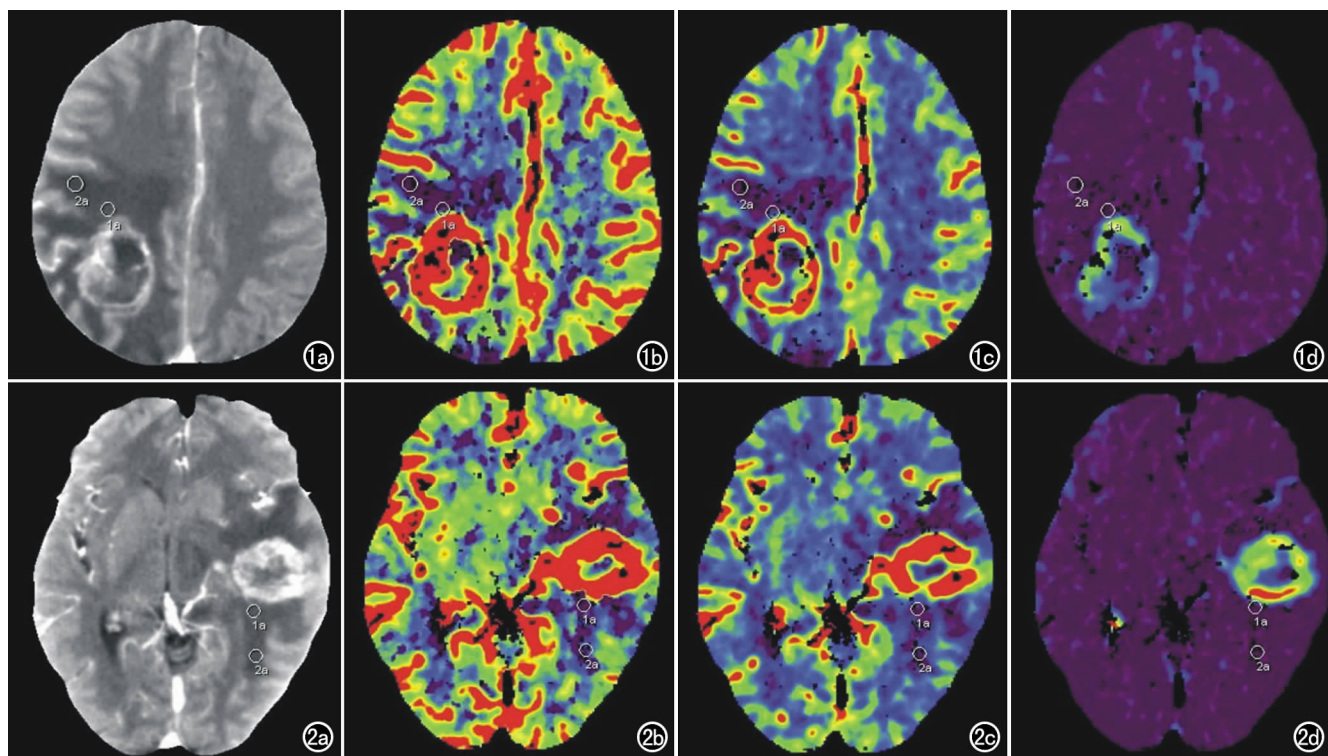


图 1 右顶叶胶质瘤(WHO IV级)。近侧瘤周水肿区的 CBV、CBF、PS 值较远侧瘤周水肿区的 CBV、CBF、PS 值明显增高。近侧瘤周水肿区的 CBV、CBF 值较对侧脑白质的 CBV、CBF 值低,PS 值较对侧脑白质高。a) MIP 示肿瘤瘤体呈环形强化,中间可见未强化的坏死、囊变区,瘤周水肿区呈低密度; b) CBV 图; c) CBF 图; d) PS 图。图 2 左颞叶转移瘤(转移性鳞癌)。近侧瘤周水肿区的 CBV、CBF 值较远侧瘤周水肿区的 CBV、CBF 值减低,PS 值无明显差别。近侧瘤周水肿区的 CBV、CBF 值较对侧脑白质的 CBV、CBF 值低,PS 值无明显差别。a) MIP 示肿瘤瘤体呈环形强化,强化较明显,中间为坏死,瘤周水肿区表现为片状低密度区; b) CBV 图; c) CBF 图; d) PS 图。

4. 各种脑肿瘤瘤体及近侧、远侧瘤周水肿区 CBF、CBV、PS 值的相关关系

各种脑肿瘤瘤体及近侧、远侧瘤周水肿区 CT 灌注参数 CBF 值与 CBV 值、CBF 值与 PS 值及 CBV 值与 PS 值之间统计学处理均呈显著正相关, r 值分别为 0.494、0.598 和 0.569; P 值均 <0.01 。

讨 论

瘤周水肿是脑肿瘤的常见并发症,以胶质瘤、转移瘤、脑膜瘤多见。常规 CT 及 MRI 检查方法虽然在显示颅内肿瘤的形态学信息方面有价值,却难以获得肿瘤的病理学分级及肿瘤微血管生成等功能性信息,CTP 成像作为一种便捷、无创且能在活体上重复使用的反映肿瘤微血管功能状况的影像检查方法,对于肿瘤的诊疗弥补了传统成像方法的不足。

1. MSCT 灌注成像技术的新发展

MSCT 灌注成像技术具有许多优点,为评估脑血流灌注提供了一种很好的方法,容积 CT 的出现为全脑灌注扫描提供了可能^[3];相对 MR 灌注成像,组织密度与对比剂浓度成明显的线性关系及对流动的不敏感,使得 MSCT 灌注成像对肿瘤的微血管特征的描述

更具潜在的、确切的价值^[4]。脑肿瘤及瘤周水肿区的灌注情况涉及到体循环及肿瘤(瘤体+水肿)的微循环,在脑肿瘤灌注成像研究中,已经试验了很多定量灌注值,结论不尽相同^[5]。本试验的灌注软件采用 Patlak 分析,遵循对比剂首过性原理,运用改良的两隔室模型(血管内和组织间隙)计算,设定在注射对比剂后最初的 1~2 min 忽略对比剂从血管外空间向血管内空间的返流,更有效地评价对比剂通过毛细血管的单向传递速率,即毛细血管的通透性,要求较高的对比剂注射流率。

2. 脑肿瘤瘤周水肿形成的病理生理基础

瘤周水肿多为血管源性水肿。由于肿瘤毛细血管比正常毛细血管通透性更大,新生的肿瘤血管结构不完整,管壁薄弱,内皮细胞稀疏,紧密连接增宽,易于泄漏,血浆和一些大分子物质可通过破损的血脑屏障渗透到细胞间隙;加之引流静脉受压和受侵蚀,回收功能降低,使其在瘤体周围聚集,形成瘤周水肿。

胶质瘤内肿瘤新生血管 BBB 不完整,低级别胶质瘤内血管内皮细胞结合较紧密,BBB 较为良好;高级别胶质瘤内血管内皮细胞结合不良,瘤细胞恶性度高,呈侵袭性生长,瘤-脑间缺乏明显的界限。手术标本观

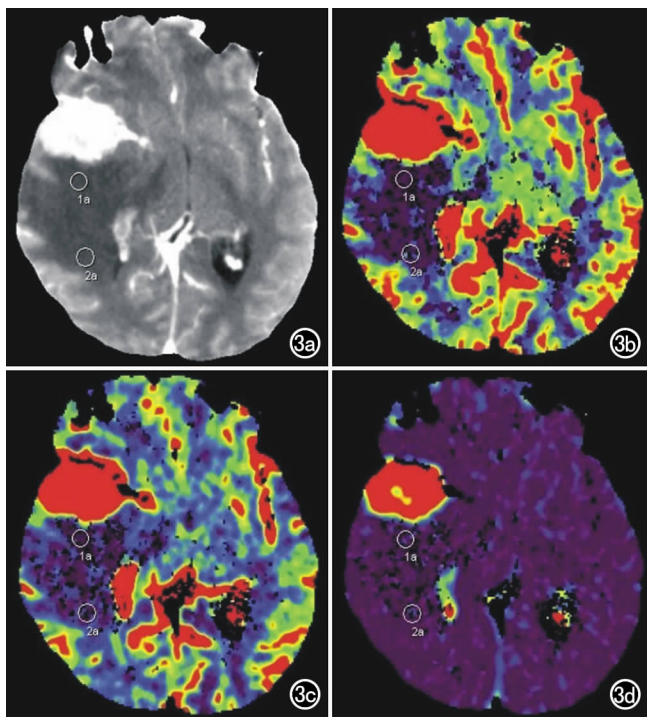


图3 右蝶骨嵴脑膜瘤(WHO I级)。近侧瘤周水肿区的CBV、CBF值较远侧瘤周水肿区的CBV、CBF值减低,PS值无明显差别。近侧瘤周水肿区的CBV、CBF值较对侧脑白质的CBV、CBF值低,PS值无明显差别。a) MIP示肿瘤瘤体呈椭圆形明显强化区,强化较均匀,瘤周水肿区表现为片状低密度区; b) CBV图; c) CBF图; d) PS图。

察发现,在胶质瘤周水肿及邻近脑组织的非强化区可见肿瘤细胞散在浸润,肿瘤侵袭范围与瘤周水肿程度相一致^[6],瘤周组织中可见明显增生的微血管内皮细胞,并以出芽方式发出新的肿瘤性血管。瘤周水肿有利于与侵袭相关的细胞基质及黏附分子的运动,从而促进肿瘤细胞浸润,故胶质瘤周水肿越严重,肿瘤细胞的浸润也越明显。转移瘤有窗性血管,与起源组织血管相似,不具BBB,是水肿形成的基础^[7]。转移瘤本身的占位、生长及由此引起的“原发性水肿”造成的占位效应,导致引流静脉的回流受阻,从而产生广泛的“继发性水肿”。脑膜瘤属颅内脑外肿瘤,其瘤周水肿的产生机制如下:脑膜瘤对脑皮层的机械压迫导致局部缺血或静脉回流障碍,BBB受损,液体漏出加上瘤体内的水肿液向白质扩散,形成瘤周水肿,尤其在肿瘤体积较大时更明显。肿瘤细胞的“排泄-分泌”现象,肿瘤分泌的物质如前列腺素、溶酶体酶等在邻近脑组织聚集而产生水肿。软脑膜破裂,肿瘤内液体外渗至瘤周组织^[8]。

3. CT灌注成像在评价脑肿瘤瘤周水肿中的应用

高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤瘤周水肿区的CT灌注特点:CBV被认为是一种活体评价肿瘤微血管的指标^[6],CBF在一定程度上可反映出对比剂首通过后的

再循环情况^[9],PS与肿瘤的良恶性有关,即对比剂从毛细血管进入血管外间隙的速率,反映毛细血管内皮细胞的完整性,血脑屏障破坏的情况^[10]。Law等^[11]进行瘤周磁共振灌注研究时发现高级别胶质瘤的近侧瘤周水肿区rCBV值大于转移瘤的近侧瘤周水肿区rCBV值,且近侧瘤周水肿区rCBV值大于远侧瘤周水肿区rCBV值。Zhang等^[12]MR灌注成像研究发现恶性脑膜瘤瘤周水肿区的rCBV值高于良性脑膜瘤瘤周水肿区rCBV值。本组资料的结果与上述报道的结果相似,进一步研究发现,高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤的近侧瘤周水肿区的CBF、CBV、PS值大于远侧瘤周水肿区的CBF、CBV、PS值。

CBV反映了高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤瘤周水肿区新生毛细血管的密度增加,CBF与瘤周浸润血管迂曲有关,PS反映了新生微血管壁的通透性增加,提示新生毛细血管壁不完整;低级别胶质瘤、转移瘤、脑膜瘤、血管外皮细胞瘤瘤周区域只有很少或者无肿瘤细胞浸润,为液体渗出^[8],水肿区新生肿瘤微血管较少,故理论上其瘤周水肿区的CBF、CBV、PS值应较低,符合病理学的发现。另外,脑膜瘤分子病理学的研究^[13]表明恶性脑膜瘤血管上皮细胞FLT1、血管内皮细胞生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)阳性率与瘤周侵犯的程度呈正相关,恶性脑膜瘤和恶性胶质瘤类似,在血管源性水肿的基础上存在肿瘤浸润性水肿。

另外,高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤的近侧瘤周水肿区的CBF、CBV、PS值无明显差异,所以仅凭瘤周水肿区的CTP成像无法对两者进行鉴别。本研究还发现两者的近侧瘤周水肿区的CBF、CBV值明显低于对侧脑白质的CBF、CBV值,PS值无明显差异,考虑高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤近侧瘤周区浸润,但是血管源性水肿导致CBF、CBV减少的绝对值大于新生血管导致CBF、CBV增大的绝对值,两者对于瘤周区灌注的影响表现为血流量和血容量的减少,但是新生血管是不成熟的血管,血管壁不完整,存在对比剂的漏出,所以高级别胶质瘤、恶性脑膜瘤的近侧瘤周水肿区的PS值较对侧脑白质的PS值高。

低级别胶质瘤瘤周水肿区的CT灌注特点:Lamszus等^[14]认为低级别星形细胞瘤与间变型星形细胞瘤、胶质母细胞瘤相比,具有血管增殖活性低及生长缓慢的特点。本组资料中低级别胶质瘤、血管外皮细胞瘤近、远侧瘤周水肿区之间的CBF、CBV、PS值无明显差异;CBF、CBV及PS值介于上述两种肿瘤之间,考虑这两种肿瘤都有一定的恶性倾向,瘤周存在一定程度的肿瘤新生血管浸润,然而,新生微血管的密度较低,新生毛细血管的存在,部分补偿了水肿对于脑白质

的压迫所致的灌注降低,但又不至于产生高灌注。且新生血管的分化程度较好,通透性较高级别胶质瘤及恶性脑膜瘤低,PS 值无明显增高。随着远离肿瘤实体,水肿液对于脑组织的压迫程度逐渐降低,脑血容量及血流量逐渐恢复,同时瘤周浸润的微血管也逐渐减少。

转移瘤、良性脑膜瘤瘤周水肿区的 CT 灌注特点: Bitzer^[8]和 Law 等^[11]对转移瘤和良性脑膜瘤进行瘤周磁共振灌注研究时对近侧和远侧瘤周水肿区的 rCBV 值进行比较分析,发现转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区的 rCBV 值较远侧瘤周水肿区的 rCBV 值低。本组资料中转移瘤、良性脑膜瘤近侧瘤周水肿区的 CBF、CBV 值低于远侧瘤周水肿区,且低于对侧脑白质的 CBF、CBV 值,三者之间的 PS 值无明显差异,病理学已经证实这两种肿瘤瘤周为单纯的血管源性水肿,水肿液对于脑组织的压迫,导致 CBF、CBV 值降低,随着远离肿瘤实体,水肿液对于脑组织的压迫程度逐渐减少,脑血容量及血流量逐渐恢复。对 PS 值的报道,以往的文献不多,考虑瘤周虽然缺乏新生的肿瘤微血管,然而脑白质本身也有正常供血的微血管,且这些正常血管壁的完整性没有发生明显改变,血脑屏障基本保持完整,所以 PS 值没有明显异常变化。

CT 灌注成像与恶性瘤周肿瘤细胞浸润的渐变现象:在统计结果中还发现,各种脑肿瘤远侧瘤周水肿区的 CBF、CBV、PS 值互相比差异均无统计学意义,考虑这和瘤周肿瘤细胞浸润的渐变现象有关。对活体脑胶质瘤行单克隆抗体荧光标记,瘤周水肿区存在一个显著的荧光辉度渐变带^[15],提示恶性肿瘤细胞及微血管浸润数量距离瘤体越近,数量越多,距离瘤体越远,数量越少,距离瘤体越近的水肿区肿瘤细胞及微血管浸润愈明显,反之则愈不明显。瘤周水肿 CBF、CBV、PS 值在高级别胶质瘤鉴别诊断方面可以提供可靠信息,但因为胶质瘤瘤周浸润的渐变现象,需要采集近侧瘤周水肿区内的数据才具有较高诊断价值。

近年来,影像学与手术病理的对照研究表明,CT 或 MR 增强扫描中,病灶的强化部分与恶性肿瘤的实际范围并不一致,在瘤周水肿中仍可找到肿瘤细胞,这是恶性肿瘤术后复发的原因之一。现有学者提出“强化周边区域”的概念,可以更合理地描述 T₂WI 上的异常信号区^[11],本研究的结果支持这种概念,而且证实了 CTP 也是研究“强化周边区域”的一种有效方法。

参考文献:

- [1] Holodny AI, Nusbaum AO, Festa S, et al. Correlation between the degree of contrast enhancement and the volume of peritumoral edema in meningiomas and malignant gliomas[J]. *Neuroradiology*, 1999, 41(11): 820-825.
- [2] Louis DN, Ohgaki H, Wiestler OD, et al. The 2007 WHO classification of tumours of the central nervous system[J]. *Acta Neuropathol*, 2007, 114(2): 97-109.
- [3] Gupta R, Cheung AC, Bartling SH, et al. Flat-panel volume CT: fundamental principles, technology, and applications[J]. *RadioGraphics*, 2008, 28(7): 2009-2022.
- [4] Eastwood JD, Provenzale JM. Cerebral blood flow, blood volume, and vascular permeability of cerebral glioma assessed with dynamic CT perfusion imaging[J]. *Neuroradiology*, 2003, 45(6): 373-376.
- [5] Goh V, Halligan S, Bartram CI. Quantitative tumor perfusion assessment with multidetector CT: are measurements from two commercial software packages interchangeable[J]. *Radiology*, 2007, 242(3): 777-782.
- [6] 林志雄, 张鹏飞, 江常震, 等. 人脑胶质瘤侵袭微生态系统的形态学观察[J]. *解剖学报*, 2002, 33(4): 355-359.
- [7] Zhang M, Olsson Y. Hematogenous metastases of the human brain changes[J]. *J Neurooncol*, 1997, 35(1): 81-89.
- [8] Bitzer M, Klose U, Geist-Barth B, et al. Alterations in diffusion and perfusion in the pathogenesis of peritumoral brain edema in meningiomas[J]. *Eur Radiol*, 2002, 12(8): 2062-2072.
- [9] Dudgeon PE, Miles KA, Bunce I. CT measurement of perfusion and permeability within lymphoma masses and its ability to assess grade, activity and chemotherapeutic response[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1999, 23(4): 540-547.
- [10] Roberts HC, Roberts TP, Braseh RC, et al. Quantitative measurement of microvascular permeability in human brain tumors achieved using dynamic contrast-enhanced MR imaging: correlation with histologic grade[J]. *AJNR*, 2000, 21(5): 891-899.
- [11] Law M, Cha S, Knopp EA, et al. High-grade gliomas and solitary metastases: differentiation by using perfusion and proton spectroscopic MR imaging[J]. *Radiology*, 2002, 222(3): 715-721.
- [12] Zhang H, Lars A, Rödiger, Shen T, et al. Perfusion MR imaging for differentiation of benign and malignant meningiomas[J]. *Neuroradiology*, 2008, 50(6): 525-530.
- [13] Arai M, Kashiwara K, Kaizaki Y. Enhancing gliotic cyst wall with microvascular proliferation adjacent to a meningioma[J]. *J Clin Neurosci*, 2006, 13(1): 136-139.
- [14] Hakyemez B, Erdogan C, Ercan I, et al. High-grade and low-grade gliomas: differentiation by using perfusion MR imaging[J]. *Clin Radiol*, 2005, 60(4): 493-502.
- [15] 庄明华, 高立达, 李明远, 等. H12 单克隆抗体荧光标记活体脑胶质瘤的实验研究[J]. *中国临床神经科学*, 2002, 10(1): 16-19.

(收稿日期: 2010-04-27 修回日期: 2011-01-13)