

• 中枢神经影像学 •

流动敏感黑血序列三维 T₁WI 增强扫描在脑转移瘤中的应用价值

冉红芹, 向正东, 段庆红, 陈振涛, 徐军, 杨洁

【摘要】 目的:探讨 3.0T 磁共振流动敏感黑血序列三维 T₁ 加权增强扫描(FSBB 3D CE-T₁WI)在脑转移瘤中的应用价值。**方法:**回顾性将 2021 年 1 月—2022 年 8 月在本医院就诊且经临床和影像检查证实的 52 例脑转移患者纳入研究。所有患者分别行颅脑 FSBB 3D CE-T₁WI、FSE CE-T₁WI 和快速梯度回波序列三维 T₁ 加权对比增强(FFE 3D CE-T₁WI)扫描,采用卡方检验或 Fisher 精确概率检验比较 3 个序列之间病灶检出率的差异。**结果:**经随访证实颅内转移灶总数为 371 个,FSBB 3D CE-T₁WI 的检出率 99.73%(370/371),FFE 3D CE-T₁WI 的检出率为 83.02%(308/371),FSE CE-T₁WI 的检出率为 78.44%(291/371),三者之间检出率的差异有统计学意义($\chi^2=82.748, P<0.05$)。分层分析:直径<3 mm 的转移灶共 160 个,FSE CE-T₁WI、FFE 3D CE-T₁WI 和 FSBB 3D CE-T₁WI 的检出率分别为 50.62%、60.62%和 99.37%,三个序列之间检出率的差异有统计学意义($\chi^2=101.436, P<0.05$);对于直径 3~10 mm 的转移灶,FSE CE-T₁WI、FFE 3D CE-T₁WI 和 FSBB 3D CE-T₁WI 的检出率分别为 99.38%、100%和 100%,三个序列之间检出率的差异无统计学意义($P>0.05$);对直径>10 mm 的转移灶,三个序列的检出率均为 100%,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**FSBB 3D CE-T₁WI 在检出脑转移瘤方面要优于常规和高分辨序列 MR 增强扫描,值得临床推广。

【关键词】 脑转移瘤;流动敏感黑血序列;对比增强;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)02-0169-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.02.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Application value of 3D contrast-enhanced T₁WI flow-sensitive black-blood sequence in brain metastases**

RAN Hong-qin, XIANG Zheng-dong, DUAN Qing-hong, et al. School of Medical Imaging, Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou, China

【Abstract】 Objective: To explore the diagnostic application value of 3.0T MR 3D contrast-enhanced T₁WI flow sensitive black-blood sequence (FSBB 3D CE-T₁WI) in brain metastases. **Methods:** Fifty-two patients with brain metastases who were admitted to our hospital from January 2021 to August 2022 and confirmed by clinical and imaging examination were retrospectively included in the study. All patients underwent brain FSBB 3D CE-T₁WI, FSE CE-T₁WI and fast gradient echo sequence 3D T₁-weighted contrast enhancement (FFE 3D CE-T₁WI) scanning, respectively. Chi-square test or Fisher exact probability test were used to compare the difference in lesion detection rates between the 3 sequences. **Results:** A total of 371 lesions were confirmed by follow-up. The detecting rate of FSBB 3D CE-T₁WI, FFE 3D CE-T₁WI and FSE CE-T₁WI was 99.73% (370/371), 83.02% (308/371) and 78.44% (291/371), respectively. Chi-square test or Fisher exact probability test showed a significant difference in detecting rate among the three groups ($\chi^2=82.748, P<0.05$). Further stratified analysis showed that a total of 160 lesions with diameter <3mm were detected, of which the detection rate of FSE CE-T₁WI, FFE 3D CE-T₁WI and FSBB 3D CE-T₁WI was 50.62%, 60.62% and 99.37%, respectively. Chi-square test or Fisher exact probability test showed that there was a significant difference in detecting rate among the three groups ($\chi^2=101.436, P<0.05$). For 3~10mm lesions, the detection

作者单位: 550004 贵州贵阳, 贵州医科大学医学影像学院(冉红芹); 550000 贵州贵阳, 贵州医科大学附属肿瘤医院影像科(冉红芹、段庆红、杨洁); 430022 湖北武汉, 华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科、分子影像湖北省重点实验室(向正东、徐军); 100015 北京, 佳能医疗系统(中国)有限公司磁共振临床科研部(陈振涛)

作者简介: 冉红芹(1990—), 女, 贵州铜仁, 硕士研究生, 主管技师, 主要从事 CT 和 MRI 技术的临床应用研究。

通讯作者: 段庆红, E-mail: duanqinghong@gmc.edu.cn

rates of FSE CE-T₁ WI, FFE 3D CE-T₁ WI and FSBB 3D CE-T₁ WI were 99.38%, 100% and 100%, respectively, and there was no difference among them ($P > 0.05$). For metastases with diameter $>10\text{mm}$, the detection rates of all three were 100%, with no statistical difference ($P > 0.05$). **Conclusion:** FSBB 3D CE-T₁ WI sequence is superior to conventional sequence CE-MRI and high-resolution CE-MRI in detection of brain metastases, and is worthy of clinical application.

[Key words] Brain metastases; Blood flow sensitive black-blood sequence; Contrast enhanced; Magnetic resonance imaging

脑转移瘤是成人中枢神经系统最常见的继发性恶性肿瘤之一,占颅内恶性肿瘤的 20%^[1]。患者预后较差,早期发现脑转移是患者治疗成功的决定性因素之一^[2]。目前 MRI 增强检查是检出脑转移瘤的最佳方法^[3],但临床上进行增强扫描常规采用的 2D FSE T₁ WI 序列具有层厚较大、层间距宽、易受血管搏动伪影干扰等缺点,对微小病灶的检出存在一定的局限性。流动敏感黑血(flow sensitive black blood, FSBB)序列三维 T₁ 加权对比增强(3D CE-T₁ WI)扫描在科研和临床应用中存在潜在的优势。有研究结果显示 FSBB 3D CE-T₁ WI 扫描对脑转移瘤的检出能力高于常规增强扫描(2D FSE CE-T₁ WI)^[4]。但该研究中是与厚层(层厚 5~6 mm)扫描进行的对比,目前尚无与薄层 T₁ WI 增强扫描进行对比的研究。Cao 等^[5]的研究结果表明 FSBB 3D CE-T₁ WI 序列可用于检出颅内原发肿瘤内的微出血灶,推测使用此序列也可用于转移瘤与瘤内微出血的鉴别。因此本研究中拟通过对比 FSBB 3D CE-T₁ WI、FSE CE-T₁ WI 及高分辨率的快速梯度回波(fast field echo, FFE)序列 3D CE-T₁ WI 这三个序列对脑转移瘤的检出率,旨在探讨 FSBB 3D CE-T₁ WI 在脑转移瘤中的临床应用价值。

材料与方法

1. 临床资料

回顾性分析 2021 年 1 月—2022 年 8 月在本院经临床及影像资料明确诊断为脑转移的 52 例患者的病例资料。其中,男 22 例,女 30 例,年龄 30~77 岁,平均(56.96±11.4)岁;原发肿瘤为肺癌者 44 例,乳腺癌 7 例,妊娠滋养细胞肿瘤 1 例;单发脑转移瘤 4 例(4/52, 7.69%),多发 48 例(48/52, 92.31%)。患者接受

了 FSE CE-T₁ WI、FSBB 3D CE-T₁ WI、FFE 3D CE-T₁ WI 扫描,所有 MRI 检查均在患者和家属知情同意的情况下进行。

病例纳入标准:①原发恶性肿瘤经病理确诊;② FSE CE-T₁ WI 上显示脑转移瘤;③所有病例均为肿瘤治疗前获得。

排除标准:①有颅内原发恶性肿瘤;②脑转移瘤经放疗或手术治疗后;③ FSBB 3D CE-T₁ WI 序列上可见较小的多发低信号, FSE CE-T₁ WI 与 FFE 3D CE-T₁ WI 序列上未见强化,无后续随访且不能与脑转移瘤鉴别。④有 MR 检查绝对禁忌证(如心脏起搏器、人工电子耳蜗等)或钆对比剂过敏史。

2. MRI 检查方法

MRI 检查使用 Canon Vantage Titan 3.0T 磁共振扫描仪。扫描序列包括头颅 MRI 平扫(横轴面 T₂ WI、T₁ WI、T₂-FLAIR 及矢状面 T₂ WI)及三个序列增强扫描,增强扫描序列的扫描平面和成像参数见表 1。对比剂使用钆喷酸葡胺,剂量 0.2 mL/kg,使用高压注射器经右侧肘静脉以 2.0 mL/s 的流率注入。

3. 观察指标及评估标准

所有图像数据在影像诊断工作站进行分析。由两位具有 10 年以上影像诊断经验的主治医师在不知检出结果的情况下独立分别对 FSE CE-T₁ WI、FSBB 3D CE-T₁ WI 及 FFE 3D CE-T₁ WI 进行分析。两位医师先独立阅读 FSE CE-T₁ WI 图像,测量病灶的直径并据此将病灶分为 A、B、C 三个组,分别为直径 $<3\text{mm}$ 、 $3\sim10\text{mm}$ 及 $>10\text{mm}$ ^[6];记录脑转移瘤的发生部位和数目。至少间隔一周后阅读 FSBB 3D CE-T₁ WI 图像,再次间隔 7 天后阅读 FFE 3D CE-T₁ WI 图像。由于颅内微小出血灶具有磁敏感性,在 FSBB 3D CE-

表 1 MR 增强序列扫描参数

扫描序列	TR/ ms	TE/ ms	扫描层厚/ mm	重建层厚/ mm	层间距/ mm	视野/ mm ²	矩阵	激励 次数
FSBB 3D CE-T ₁ WI (轴)	29.0	20.0	3.0	1.5	0	230×230	256×256	1
FFE 3D CE-T ₁ WI (轴)	5.7	1.9	3.0	1.5	0	230×230	256×256	2
FSE CE-T ₁ WI (轴)	2000.0	9.5	6.0	—	1	230×230	256×272	1
FSE CE-T ₁ WI (冠)	2000.0	9.5	6.0	—	1	240×240	256×272	1
FSE CE-T ₁ WI (矢)	2000.0	9.5	6.0	—	1	240×240	256×272	1

注:轴、矢、冠分别指横轴面、矢状面和冠状面。

T₁WI 上表现低信号,因此需对照 8 个月内的至少两次头颅 MRI 随访图像,确定病灶是否为转移瘤内微出血灶。两位医师意见不同时经相互讨论达成一致意见,最终得出基于三种序列可检出的脑转移瘤的总数。

诊断标准:经病理检查确诊或多次随访,在随访图像上显示病灶在治疗前增大,在治疗后增大、减小或消失的强化病灶被判定为脑转移(图 1a~f)^[7]。转移瘤内微出血的判定:在平扫 MRI 序列上,呈短 T₁、短 T₂ 信号作为辅助诊断标准;在 FSBB 3D CE-T₁WI 图像上,基于其原理,该技术具有磁敏感效应,出血表现为低信号,而强化的肿瘤区呈高信号。

4. 统计方法

使用 SPSS 26.0 软件对数据进行统计学分析。计数资料采用频数(n)及百分比描述。对三个序列病灶检出率的比较采用卡方检验或 Fisher 精确概率检验,两两比较采用 Bonferroni 校正法(即调整后显著性水平 $\alpha'=\alpha/\text{比较次数}$)。对两位医师诊断水平的一致性分析采用 Kendall-W 协调系数检验,Kendall-W 协调系数<0.2 为一致性较差,0.2~0.4 为一致性一般,0.4~0.6 为一致性中等,0.6~0.8 为一致性较高,0.8~1.0 为一致性很高。

结 果

1. 一致性分析

本研究中两位影像科医师对(FSE CE-T₁WI、FFE 3D CE-T₁WI 和 FSBB 3D CE-T₁WI 三种序列的诊断一致性非常好(W=0.993,P<0.001;W=0.996,P<0.001;W=0.997,P<0.001)。

2. 三种序列对不同直径脑转移瘤检出率的比较

经三个序列及随访资料的综合分析,52 例患者共确定有 371 个转移灶,三个序列对不同直径转移灶的

检测数量及组间比较结果详见表 2。经卡方检验或 Fisher 精确概率检验,三个序列对脑转移瘤总体检出率有统计学意义($\chi^2=82.748,P<0.05$)。分层分析结果显示,对直径<3 mm 的转移灶,三个序列对脑转移灶总体检出率有统计学差异($\chi^2=101.436,P<0.05$),FSBB 3D CE-T₁WI 的检出率显著高于 FSE CE-T₁WI 和 FFE 3D CE-T₁WI(P<0.05);而对于 3~10 mm 及大于 10 mm 的转移灶,三个序列对脑转移瘤总体检出率均无统计学差异(P>0.05)。

3. 转移瘤内微出血、肿瘤血管与肿瘤区显示

在 371 个转移灶中,在常规平扫 T₁WI 呈低或稍信号,T₂WI 呈稍高信号,在常规增强和 FFE 3D CE-T₁WI 上病灶呈均匀或不均匀强化,部分周围伴水肿(图 1~2)。FFE 3D CE-T₁WI 与 FSBB 3D CE-T₁WI 存在信号差异的有 20 例合计 62 个病灶,病灶在 FFE 3D CE-T₁WI 上呈均匀或不均匀强化,而 FSBB 3D CE-T₁WI 上呈混杂信号影,其内呈结节状、条状低信号;结合平扫 MRI 图像上结节呈短 T₁、短 T₂ 信号,以及 FSBB 3D CE-T₁WI 图像上因磁敏感效应,出血灶呈低信号,强化的肿瘤呈高信号(图 2d、h);此外,FSBB 3D CE-T₁WI 上转移瘤内多发迂曲低信号,走行连续,则为肿瘤供血血管(图 2h)。

4. 脑转移瘤的位置分布特点及不同部位病灶检出率比较。

52 例共计 371 个病灶,位于脑浅表及交界区(241 个,64.9%),小脑及脑干(93 个,25.1%),脑白质区(19 个,5.1%),基底节区(18 个,4.9%)。52 例患者共确定有 371 个转移灶中,在脑浅表区,3 个序列的总体检出率有统计学差异($\chi^2=69.022,P<0.001$),在小脑及脑干,3 个序列的总体检出率存在统计学差异($\chi^2=12.2387,P<0.05$),见表 3。在脑白质区及基底节区,

表 2 三个序列对不同直径脑转移瘤检出率的比较

病灶直径	脑转移瘤数量	脑转移瘤检出率			χ^2 值	P 值
		FSE CE-T ₁ WI	FFE 3D CE-T ₁ WI	FSBB3D CE-T ₁ WI		
<3mm	160	50.62%(81/160) ^b	60.62%(97/160) ^b	99.37%(159/160) ^a	101.436	<0.001
3~10mm	162	99.38%(161/162) ^a	100%(162/162) ^a	100%(162/162) ^a	—	>0.999 [*]
>10mm	49	100%(49/49) ^a	100%(49/49) ^a	100%(49/49) ^a	—	—
合计	371	78.44%(291/371) ^b	80.02%(308/371) ^b	99.73%(370/371) ^a	82.748	<0.001

注:同一行中字母相同表示组间差异无统计学意义(P>0.05),而字母不相同则表示组间差异有统计学意义(P<0.05);^{*}表示采用 Fisher 精确检验。

表 3 三个序列对不同部位病灶检出率的比较

部位	FSE CE-T ₁ WI	FFE 3D CE-T ₁ WI	FSBB3D CE-T ₁ WI	χ^2 值	P 值
脑浅表区	73.03%(176/241) ^a	79.25%(191/241) ^a	99.59%(240/241) ^b	69.022	<0.001
脑白质区	89.47%(17/19) ^a	89.47%(17/19) ^a	100%(19/19) ^a	—	0.531 [*]
小脑及脑干	87.09%(81/93) ^a	89.25%(83/93) ^a	100%(93/93) ^b	12.2387	0.002
基底节区	94.44%(17/18) ^a	94.44%(17/18) ^a	100%(18/18) ^a	—	>0.999 [*]
总检出率	78.44%(291/371) ^a	83.02%(308/371) ^a	99.73%(370/371) ^b	82.748	<0.001

注:不同组别(序列)之间的比较,显著水平采用字母(a、b)标注,字母相同表示差异无统计学意义(P>0.05),字母不同表示组间差异有统计学意义(P<0.001)。^{*}表示采用 Fisher 精确检验。

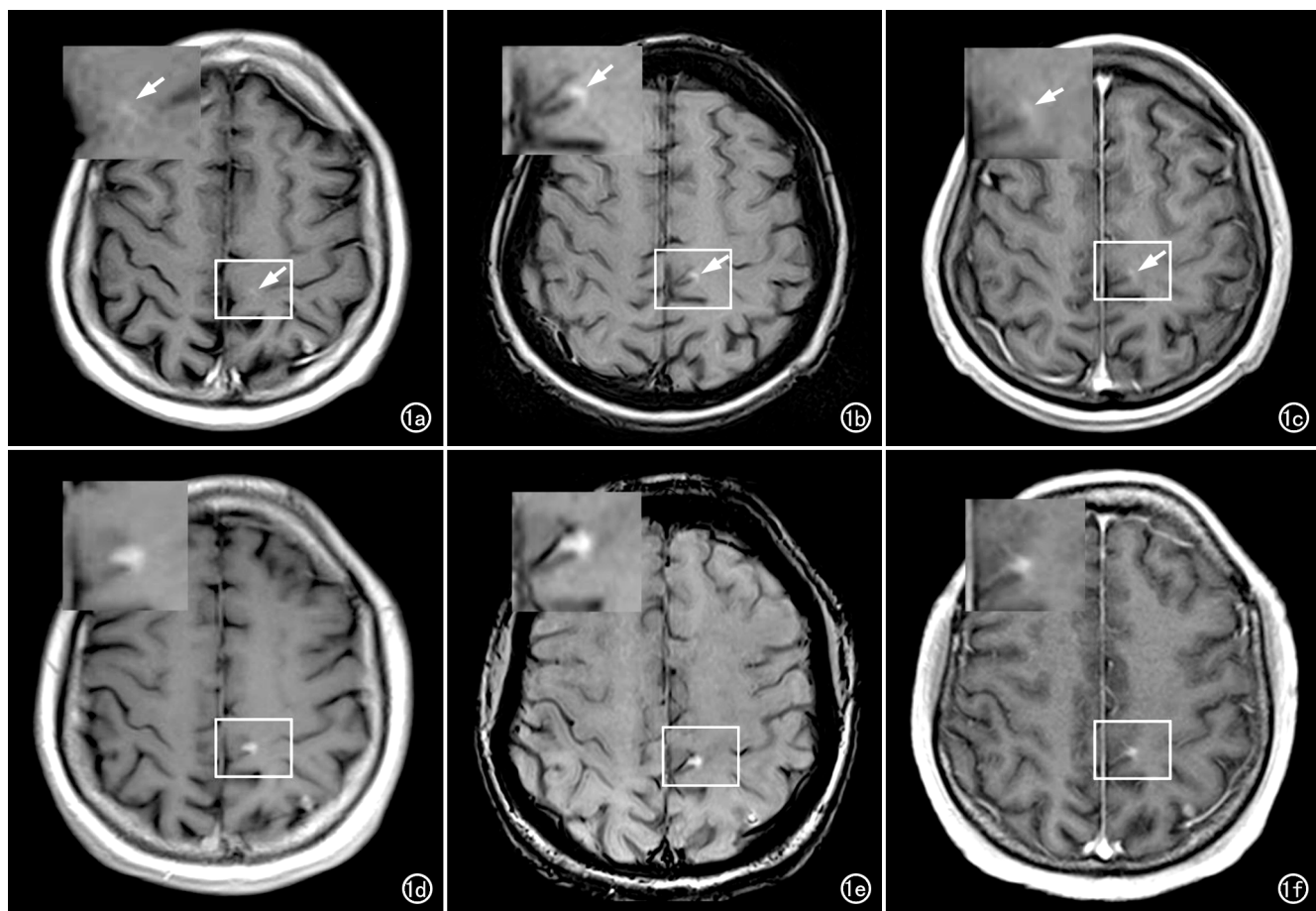


图1 患者,女,42岁,左肺腺癌。a)FSE CE-T₁WI,显示左侧顶叶内似可见一个高信号灶(箭),边缘模糊,周围无水肿,对此小病灶的诊断信心不高;b)FSBB 3D CE-T₁WI,显示左侧顶叶可见小结节状高信号(箭),边界尚清;c)FFE 3D CE-T₁WI,显示左侧顶叶可见较小的条索状高信号(箭),边界不清,与小血管不易鉴别。随访三个月后复查MRI,在FSE CE-T₁WI(1d)、FSBB 3D CE-T₁WI(1e)及FFE 3D CE-T₁WI(1f)图像上病灶呈结节状高信号,边界清楚,较前体积增大,可较明确的诊断为转移灶。

三个序列对脑转移的检出率均无统计学差异($P > 0.05$)。

讨论

流动敏感黑血序列三维 T₁ 加权(FSBB 3D T₁WI)是基于3D梯度回波结合运动探测梯度产生体素内失相位,扰相梯度回波序列会在每个TR的末端进行梯度散相及射频散相,使每个体素内的横向磁化矢量被充分散相,在下次射频脉冲激发时,所产生的磁共振信号只取决于纵向磁化矢量的恢复情况,从而得到T₁WI图像,与常规T₁WI相比,FSBB 3D T₁WI序列具有TR较短、空间分辨率高、4 min以内即可完成全脑扫描并能多方位重建观察等优点。

本研究结果显示FSBB 3D CE-T₁WI序列对脑转移的检出率显著优于FSE CE-T₁WI及FFE 3D CE-T₁WI,尤其是对直径 <3 mm的病灶。已有研究结果表明不同类型脑转移瘤的影像表现不同^[8],本研究中

患者的原发病灶包括肺癌44例、乳腺癌7例和妊娠滋养细胞肿瘤1例。既往研究结果显示影响转移灶检出率的因素主要有病灶的大小、瘤内有无出血和扫描序列等^[9,10],而本文主要探讨3个序列对脑转移瘤检出率的差异。FSBB 3D CE-T₁WI为三维容积薄层无间距扫描,且具有磁敏感效应,有利于转移瘤内微出血及血管的显示。而FSE CE-T₁WI层厚大,层间距宽,空间分辨率较低,易导致部分容积效应,对微小病灶的检出存在一定局限性。有学者使用扰相梯度回波的稳态自由进动序列(FFE, FSPGR, FLASH)来提高对脑转移瘤的检出率,这类序列成像时间短,空间分辨率高,但血管呈高信号,对同样呈高信号的强化病灶的诊断可能形成干扰^[11]。FSBB 3D CE-T₁WI的流动相位损毁脉冲可以抑制流动血液的信号,这种黑血对比度能有效区分皮层及深部结构中较小的病灶与血管。因此,笔者推测薄层T₁WI增强图像漏诊转移灶的主要原因是受血管为高信号的影响,使皮层及皮层深部较

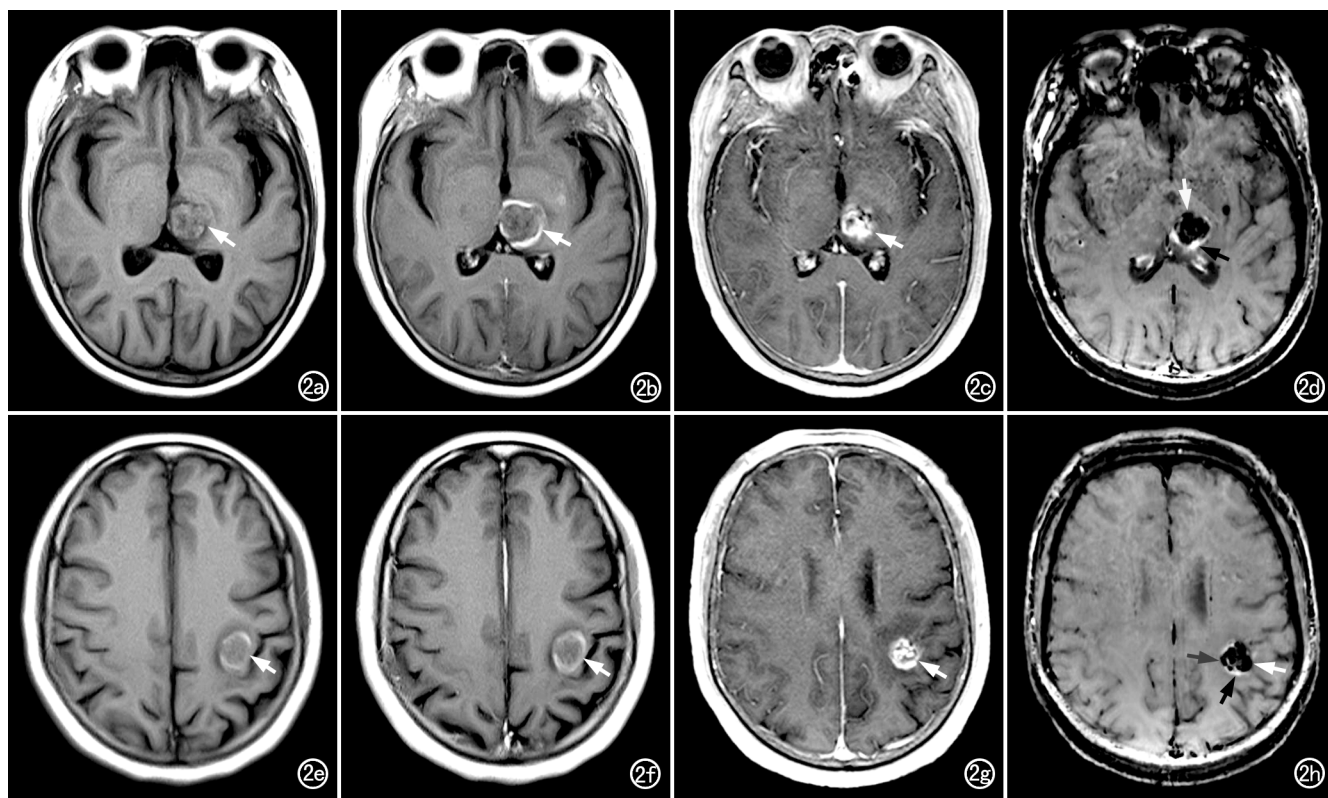


图2 患者,女,53,右肺上叶腺癌脑转移。三个序列显示转移瘤及瘤内出血的对比。图a~d为三脑室层面,图e~h为侧脑室顶部层面。左背侧丘脑及顶叶病灶在平扫 T_1 WI(2a和2e)上呈稍高信号(白箭),在常规 T_1 WI增强图像(2b和2f)及FFE 3D CE- T_1 WI(2c和2g)上呈不均匀强化的高信号(白箭),在FSBB 3D CE- T_1 WI(2d和2h)上可见呈结节状低信号的出血灶(白箭)、高信号的肿瘤区(黑箭)和呈低信号的迂曲肿瘤血管(灰箭)。

小强化灶与小血管难以鉴别。有研究发现肺鳞癌及乳腺癌的转移灶往往体积较大,因此大部分病灶在磁共振常规序列上即可被发现;而肺腺癌和小细胞癌发生脑转移的时间较早,病灶数目多且病灶偏小(一般在1 cm以内),而且较早破坏血脑屏障,形成较多肿瘤血管^[12-13]。

本研究中发现转移瘤内出血及肿瘤血管者共20例,合计62个病灶。由于长TE采集,MR信号会增强图像的磁敏感效应,血液中血红蛋白及相关物质与铁代谢产物易引起局部磁场的相位变化,尤其对微出血病灶与周围组织产生的磁敏感差异能较好地显示^[14-15],表现为在增强的肿瘤病灶中可见斑点状低信号。既往有研究结果显示SWI对瘤内静脉及瘤内出血的显示优于常规 T_1 WI增强扫描,但对于直径 <2 mm或无瘤内出血的转移灶的显示往往不及常规增强^[16]。Cao等^[17]的研究中使用FSBB 3D CE- T_1 WI来量化分析术前脑膜瘤和神经鞘瘤病灶的血管和微出血,结论显示FSBB 3D CE- T_1 WI可以鉴别神经鞘瘤和脑膜瘤。神经鞘瘤比脑膜瘤具有更高的瘤内出血发生率和更高的微出血密度指数(microbleed density in-

dex,MDI)值。而本研究结果亦显示使用它鉴别转移瘤和瘤内微出血也是可行的。女性、放疗前瘤周渗血及大剂量放疗是发生转移瘤卒中的危险因素^[18],而FSBB 3D CE- T_1 WI能及早发现转移灶和识别瘤内出血,为临床治疗选择提供一定的参考,避免转移瘤卒中风险的发生。另外,肿瘤血管不仅能为肿瘤的诊断提供参考,同时也是监测肿瘤放化疗疗效的重要指标^[19]。目前,对于磁共振功能成像序列用于脑转移瘤的诊断及鉴别诊断的相关研究较多,如相对表观扩散系数(rADC)、波谱联合多b值等^[20-21],但是这些序列尚未完全取代常规 T_1 WI序列,临床上对脑转移瘤的标准增强扫描序列仍是常规 T_1 WI。

脑转移瘤在颅内的分布与供血动脉的解剖结构、位置和大小密切相关。有研究结果表明脑皮质的血供较髓质丰富,供血动脉在脑皮、髓质交界处发生形态学改变,使得瘤栓易于停留在此区域^[22]。本研究结果显示脑转移瘤颅内分布多见于浅表区及皮髓质交界区(241个,64.9%),与既往文献报道一致。

本研究的不足之处:①若病灶在颅底区或颅骨等磁敏感差异较大的位置,其FSBB 3D CE- T_1 WI序列

检出率会受到一定影响。②本研究中样本数偏小,后续可增加样本量并按不同类型的脑转移瘤进行前瞻性研究。③由于本研究为回顾性研究,3 个序列的扫描顺序依次是 FSE CE T₁WI、FSBB 3D T₁WI 和 FFE 3D CE T₁WI,延迟强化可能会对结果产生一定的影响,存在一定的不足,后续研究我们将前瞻性的收集病例,数据采集时三个序列采用无序扫描,以尽量减少延迟强化对研究结果的影响。④我们只获得了原发肿瘤的病理结果,而没有以瘤内血管或微出血的确切病理数量作为金标准,我们将在未来的研究中以组织病理学测量进行进一步研究。

综上所述,FSBB 3D CE-T₁WI 序列在检出脑转移瘤方面要优于常规 CE-T₁WI 和高分辨增强序列,具有一定的优势,值得临床推广。

参考文献:

- [1] Jeevanandham B, Kalyanpur T, Gupta P, et al. Comparison of post-contrast 3D-T₁-MPRAGE, 3D-T₁-SPACE and 3D-T₂-FLAIR MR images in evaluation of meningeal abnormalities at 3T MRI[J/OL]. BJR, 2017, 90(1074): e20160834 [2017 Apr 26]. DOI: 10.1259/bjr.20160834.
- [2] Dikici E, Nguyen XV, Bigelow M, et al. Augmented networks for faster brain metastases detection in T₁-weighted contrast-enhanced 3D MRI[J/OL]. Comput Med Imaging Graphics, 2022, 98: e102059 [2022 Mar 26]. DOI: 10.1016/j.compmedimag. 2022.102059.
- [3] Kaufmann TJ, Smits M, Boxerman J, et al. Consensus recommendations for a standardized brain tumor imaging protocol for clinical trials in brain metastases[J]. Neuro Oncol, 2020, 22(6): 757-772.
- [4] 彭丹丹, 王立莎, 郭振华, 等. 流动敏感黑血成像序列在颅内微小转移瘤诊断中的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(11): 2334-2336.
- [5] Cao X, Lv K, Yin X, et al. Preoperative assessment of blood vessels and intratumoral microbleeds in brain tumors based on a 3D contrast-enhanced T₁-weighted flow-sensitive black-blood sequence[J]. JMRI, 2023, 57(5): 1543-1551.
- [6] Kakeda S, Korogi Y, Hiai Y, et al. Detection of brain metastasis at 3T: comparison among SE, IR-FSE and 3D-GRE sequences[J]. Eur Radiol, 2007, 17(9): 2345-2351.
- [7] Deike-Hofmann K, Thünemann D, Breckwoldt MO, et al. Sensitivity of different MRI sequences in the early detection of melanoma brain metastases[J/OL]. PLoS One, 2018, 13(3): e0193946 [2018 Mar 29]. DOI: 10.1371/journal.pone.0193946.
- [8] 高玉岭, 王帅文, 张艳利, 等. 不同病理类型脑转移瘤 MRI 表现特点[J]. 兰州大学学报(医学版), 2021, 47(2): 65-70.
- [9] 吴立业, 刘军, 黄子龙, 等. 对比增强 SWI 对不同病理类型肺癌脑转移瘤检出的初步研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2019, 25(1): 1-7.
- [10] Kwak HS, Hwang S, Chung GH, et al. Detection of small brain metastases at 3T: comparing the diagnostic performances of contrast-enhanced T₁-weighted SPACE, MPRAGE, and 2D FLASH imaging[J]. Clin Imaging, 2015, 39(4): 571-575.
- [11] Kaufmann TJ, Smits M, Boxerman J, et al. Consensus recommendations for a standardized brain tumor imaging protocol for clinical trials in brain metastases[J]. Neuro Oncol, 2020, 22(6): 757-772.
- [12] Kuremsky JG, Urbanic JJ, Petty WJ, et al. Tumor histology predicts patterns of failure and survival in patients with brain metastases from lung cancer treated with gamma knife radiosurgery[J]. Neurosurgery, 2013, 73(4): 641-647.
- [13] Mills MN, Figura NB, Arrington JA, et al. Management of brain metastases in breast cancer: a review of current practices and emerging treatments[J]. Breast Cancer Res Treat, 2020, 180(2): 279-300.
- [14] Hatzoglou V, Tisnado J, Mehta A, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI perfusion for differentiating between melanoma and lung cancer brain metastases[J]. Cancer Med, 2017, 6(4): 761-767.
- [15] Kellner E, Mader I, Mix M, et al. Arterial input function measurements for bolus tracking perfusion imaging in the brain[J]. Magn Reson Med, 2013, 69(3): 771-780.
- [16] 刘子珊, 詹茸婷, 王明磊, 等. 磁敏感加权成像在肺癌脑转移瘤诊断中的应用价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2016, 22(3): 198-203.
- [17] Cao X, Lv K, Xu S, et al. Preliminary exploration on the differential diagnosis between meningioma and schwannoma using contrast-enhanced T₁WI flow-sensitive black-blood sequence[J/OL]. Fron Oncol, 2023, 12: e1006190 [2023 Jan 5]. DOI: 10.3389/fonc.2022.1006190.
- [18] 曹建平, 孙鹏, 谷春雨, 等. 41 例脑转移瘤出血性瘤卒中的相关临床因素分析[J]. 肿瘤学杂志, 2023, 29(4): 308-313.
- [19] 孟存忠, 赵帆, 王玉磊, 等. 单发脑转移瘤 3.0T MR 动脉自旋标记与动态磁敏感增强的对照研究[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(12): 1846-1848.
- [20] 徐敬慈, 汪登斌, 杨利霞. 相对表观扩散系数在脑转移瘤疗效评估中的价值[J]. 放射学实践, 2014, 29(5): 513-516.
- [21] 罗旭琳, 彭俊红, 李雷, 等. MRS 联合多 b 值 DWI 对高级别胶质瘤与单发脑转移瘤的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2020, 35(11): 1396-1402.
- [22] Kalkanis SN, Kondziolka D, Gaspar LE, et al. The role of surgical resection in the management of newly diagnosed brain metastases: a systematic review and evidence-based clinical practice guideline[J]. J Neurooncol, 2010, 96(1): 33-43.
- [23] Grøvik E, Yi D, Iv M, et al. Deep learning enables automatic detection and segmentation of brain metastases on multisequence MRI[J]. JMRI, 2020, 51(1): 175-182.

(收稿日期: 2023-01-28 修回日期: 2023-05-07)