❖中枢神经影像学

One-stop multimodal MR examinations for diagnosing cerebral venous thrombosis

DUAN *Miao*[1,2], ZHANG *Kaiyuan*[1,3], WU *Chunxue*[1,3], LI *Jingkai*[1,3], ZHANG *Yue*[1,3], WANG *Chen*[1,3], ZHANG *Miao*[1,3*], LU *Jie*[1,3]
(1. *Department of Radiology and Nuclear medicine*, *Xuanwu Hospital*, *Capital Medical University*, *Beijing* 100053, *China*; 2. *Department of Radiology*, *Shunyi Hospital*, *Beijing Traditional Chinese Medicine Hospital*, *Beijing* 100300, *China*; 3. *Beijing Key Laboratory of Magnetic Resonance Imaging and Brain Informatics*, *Beijing* 100053, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To observe the value of one-stop multimodal MR examinations for diagnosing cerebral venous thrombosis (CVT). **Methods** Imaging data, including contrast-enhanced MRI (CE-MRI), contrast-enhanced MR venography (CE-MRV) and MR black-blood thrombus imaging (MRBTI) of 80 cases of CVT were retrospectively analyzed, and the diagnostic efficacy of different MRI techniques were evaluated and compared. **Results** CE-MRI revealed cerebral parenchymal changes in 37 cases, including 17 cases of venous cerebral edema, 12 cases of venous cerebral infarction and 8 cases of cerebral hemorrhage. The interobserver consistency for diagnosing CVT was good (k=0.850—0.927, all P<0.001). The detection rate of cortical venous thrombosis of MRBTI was higher than that of CE-MRV (χ^2=11.182, P=0.001). The detection rate of CE-MRI+CE-MRV+MRBTI for cortical venous and total segmental thrombosis were both higher than that of CE-MRI+CE-MRV (both P<0.05). The sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value of CE-MRI+CE-MRV for diagnosing segmental CVT was 83.02%, 94.19%, 92.12% and 87.12%, respectively, of CE-MRI+CE-MRV+MRBTI was 97.85%, 98.98%, 98.76% and 98.23%, respectively. The diagnostic performance of CE-MRI+CE-MRV+MRBTI (area under the curve=0.980) was superior to that of CE-MRI+CE-MRV (area under the curve=0.880, Z=4.159, P<0.001). **Conclusion** One-stop multimodal MR examinations could effectively diagnose CVT.

[**Keywords**] intracranial thrombosis; magnetic resonance imaging; retrospective studies
DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2025.12.010

多模态 MR 一站式检查诊断颅内静脉血栓

段　森[1,2]，张开元[1,3]，武春雪[1,3]，李京凯[1,3]，张　越[1,3]，王　臣[1,3]，张　苗[1,3*]，卢　洁[1,3]
（1.首都医科大学宣武医院放射与核医学科，北京　100053；2.北京中医医院顺义医院放射科，北京　101300；3.磁共振成像脑信息学北京市重点实验室，北京　100053）

［摘　要］ **目的**　观察多模态 MR 一站式检查诊断颅内静脉血栓(CVT)的价值。**方法**　回顾性分析 80 例 CVT 的影像学资料，包括增强 MRI(CE-MRI)、增强 MR 静脉成像(CE-MRV)及 MR 黑血血栓成像(MRBTI)；评估并比较不同 MRI 技术的诊断效能。**结果**　CE-MRI 显示 37 例存在脑实质改变，包括 17 例静脉性脑水肿、12 例静脉性脑梗死及 8 例脑出血。观察者间诊断 CVT 的一致性较好(k=0.850～0.927，P 均<0.001)。MRBTI 对皮层静脉血栓的检出率高于 CE-MRV(χ^2=11.182、P=0.001)。CE-MRI+CE-MRV+MRBTI 对皮层静脉和全部节段血栓的检出率均高于 CE-MRI+

[基金项目] 首都医科大学宣武医院“汇智”人才工程学者计划(HZ2021ZCLJ005)。
[第一作者] 段森(1988—)，男，北京人，硕士，主治医师。研究方向：神经系统疾病影像学。E-mail：18810836356@163.com
[通信作者] 张苗，首都医科大学宣武医院放射与核医学科，100053；磁共振成像脑信息学北京市重点实验室，100053。
E-mail：zhangmiao_smile@163.com
[收稿日期] 2024-12-23　[修回日期] 2025-06-16

CE-MRV（P 均＜0.05）。CE-MRI＋CE-MRV 诊断静脉节段 CVT 的敏感度为 83.02%、特异度为 94.19%、阳性预测值为 92.12%、阴性预测值为 87.12%；CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI 分别为 97.85%、98.98%、98.76%及 98.23%；CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI 对于静脉节段 CVT 的诊断效能（曲线下面积＝0.980）优于 CE-MRI＋CE-MRV（曲线下面积＝0.880，Z＝4.159，P＜0.001）。**结论**　多模态 MR 一站式检查可有效诊断 CVT。

［**关键词**］　颅内血栓形成；磁共振成像；回顾性研究
［**中图分类号**］　R543.6；R445.2　［**文献标识码**］　A　［**文章编号**］　1003-3289(2025)12-1985-05

颅内静脉血栓形成（cerebral venous thrombosis，CVT）是由脑静脉或静脉窦部分或完全阻塞引起的相对少见的特殊类型脑血管病[1]，临床表现多样、缺乏特异性，早期诊断困难[2]。MRI 与 MR 静脉成像（MR venography，MRV）是诊断 CVT 的主要方法，但因不易与静脉窦内的慢血流区分而无法直接显示血栓，且可能因静脉窦局部狭窄或先天发育不良而出现信号缺失[3]。增强 MRV（contrast-enhanced MRV，CE-MRV）更适用于显示直径较小的静脉窦血栓或血流较慢的静脉窦，但对皮层静脉血栓的敏感性较低。平扫 MR 黑血血栓成像（MR black-blood thrombus imaging，MRBTI）能准确显示血栓形态、位置和范围[4]，增强扫描可显示静脉血栓和静脉窦壁强化。本研究观察多模态 MR 一站式检查，包括 MRI、MRV 及 MRBTI 联合诊断 CVT 的价值。

1　资料与方法

1.1　研究对象　回顾性分析 2023 年 6 月—2024 年 6 月首都医科大学宣武医院 80 例 CVT 患者，男 33 例、女 47 例，年龄 9～68 岁、平均(38.4±15.4)岁。纳入标准：①符合 CVT 诊断标准；②首次就诊且未曾接受相关治疗；③存在 CVT 相关症状，如头痛、呕吐、视盘水肿、局灶性神经功能缺损等；④影像学资料完整，包括颅脑增强 MRI(contrast-enhanced MRI，CE-MRI)、CE-MRV 及 MRBTI。排除标准：①图像质量未能满足诊断标准；②临床资料不全；③合并其他严重脑血管疾病。本研究经医院伦理委员会批准(临研审[2022]079 号-001-年审 1)；检查前患者均签署知情同意书。

1.2　仪器与方法　采用 Philips Ingenia 1.5T MR 扫描仪、15 通道头颅线圈行颅脑平扫，采集轴位 T1WI、T2WI、液体衰减反转恢复（fluid attenuated inversion recovery，FLAIR）图像，行弥散加权成像（diffusion weighted imaging，DWI）及 3D T1WI MRBTI。经外周静脉团注钆喷酸葡胺 0.2 ml/kg 体质量后，先后行颅脑轴位 T1W、3D CE-MRV 及 3D T1WI MRBTI。参数：T1WI，TR 120 ms，TE 1.5 ms；T2WI，TR 2 500 ms，TE 120 ms；FLAIR，TR 9 500 ms，TE 120 ms；DWI，TR 2 600 ms，TE 8 6 ms；CE-MRV，TR 4.5 ms，TE 1.5 ms；MRBTI，采用 3D 可变反转角度快速自旋回波 T1W 序列，各向同性，TR 550 ms，TE 28 ms，双反转时间 TI1 150 ms，TI2 300 ms；FOV 均为 256 mm×256 mm。

1.3　图像处理与分析　由 2 名具有 10 年以上经验的影像科医师综合评估临床及影像学资料，以双盲法确定有无 CVT 并于其后达成一致意见；评估内容包括脑实质损害、静脉血栓位置和信号特征及有无侧支循环。

1.4　统计学分析　采用 SPSS 26.0 统计分析软件。以 $\bar{x}\pm s$表示符合正态分布且方差齐的计量资料。采用 Cohen's Kappa 系数(k)评估观察者间诊断血栓的一致性；以 χ^2 检验比较 CE-MRI＋CE-MRV、CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI 诊断 CVT 的效能。绘制受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线，计算曲线下面积（area under the curve，AUC），以 DeLong 检验加以比较。P＜0.05 为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　临床资料　80 例 CVT 临床表现包括头痛 71 例、癫痫发作 8 例、局灶性神经功能缺损 16 例、视觉异常 8 例、昏迷 4 例、恶心呕吐 22 例及意识异常 4 例；4 例存在已知风险因素，包括感染及口服避孕药各 2 例。

2.2　影像学表现　CE-MRI 显示 37 例存在脑实质改变，包括 29 例静脉性脑水肿（n＝17）或静脉性脑梗死（n＝12）及 8 例脑出血。17 例静脉性脑水肿表现为脑实质内片状或脑回状异常信号，形态不规则、边界模糊，T1WI 呈低信号，T2WI 及 FLAIR 图均呈高信号（图 1），其中 6 例 DWI 呈高或稍高信号、11 例呈等或稍低信号；12 例静脉性脑梗死病灶内可见点片状 T1WI 高信号；8 例脑出血表现为大脑半球表浅区域的片状异常信号，信号不均匀，呈 T1WI 高、T2WI 低或高信号，其中 2 例合并蛛网膜下腔出血，T1WI 及 FLAIR 图均见脑沟裂内线状高信号。

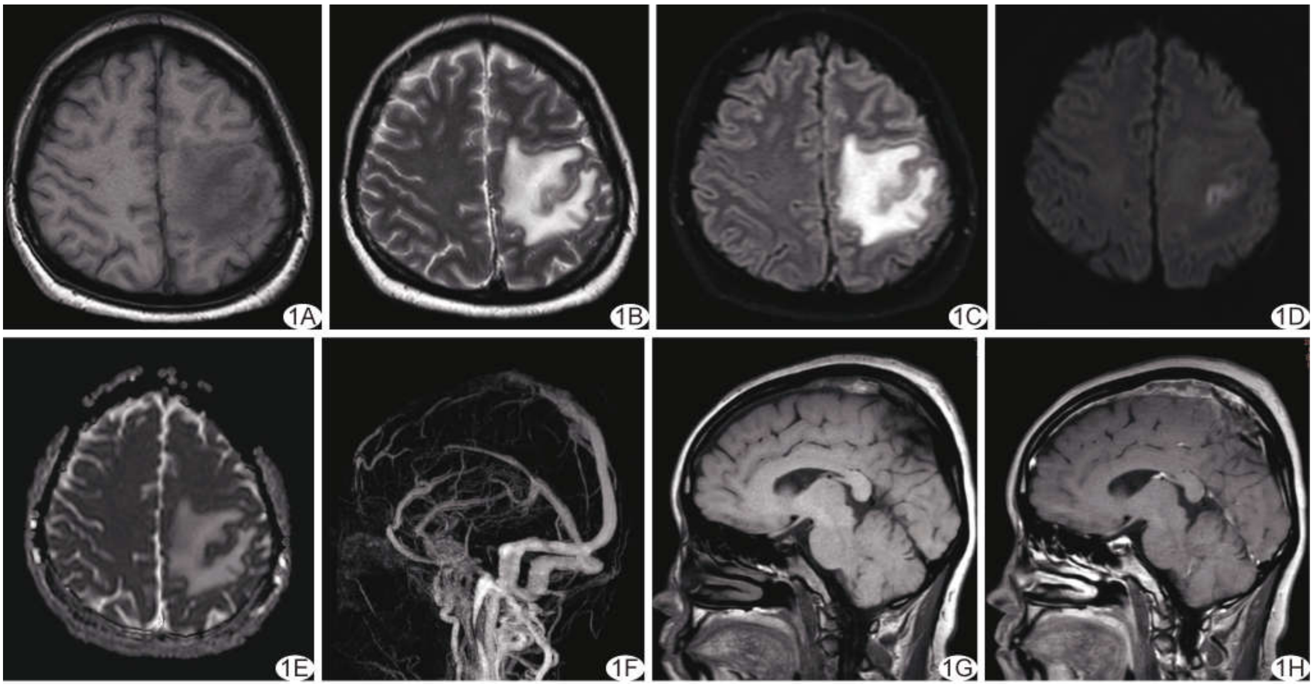

图 1 患者女,41 岁,上矢状窦静脉血栓,静脉性梗死 A～E.颅脑轴位 CE-MRI 示左侧额顶叶片状异常信号,呈 T1WI 低信号(A)、T2WI 及 FLAIR 高信号(B、C)、DWI 部分呈高信号(D),而表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图未见低信号(E); F.颅脑 CE-MRV 示上矢状窦前中段狭窄; G、H.颅脑平扫 MRBTI 示上矢状窦前中段腔内不均匀等-高信号(G),增强后上矢状窦管壁增厚、强化(H)

2.3 诊断一致性 观察者间诊断 CVT 一致性较好(CE-MRI:k=0.850,P<0.001;CE-MRV:k=0.870,P<0.001;MRBTI:k=0.927,P<0.001)。

2.4 血栓显示及分布 CE-MRI 显示颅内静脉窦走行区 237 处充盈缺损。CE-MRV 显示 281 处静脉狭窄,52 例见侧支循环形成及引流静脉异常扩张、提示颅内静脉血栓形成。MRBTI 显示 322 处静脉血栓。MRBTI 对皮层静脉血栓的检出率高于 CE-MRV(χ^2=11.182、P=0.001)。见表 1。CE-MRI+CE-MRV+MRBTI 对皮层静脉和全部节段血栓的检出率均高于 CE-MRI+CE-MRV(P 均<0.05),而对其他节段静脉血栓的检出率与后者差异均无统计学意义(P 均>0.05)。见表 2。

2.5 2 种联合检查模式诊断静脉节段 CVT 效能 CE-MRI+CE-MRV 诊断静脉节段 CVT 的敏感度为 83.02%、特异度为 94.19%、阳性预测值为 92.12%、阴性预测值为 87.12%;CE-MRI+CE-MRV+MRBTI 分别为 97.85%、98.98%、98.76%及 98.23%。CE-MRI+CE-MRV+MRBTI(AUC=0.980)诊断静脉节段 CVT 效能优于 CE-MRI+CE-MRV(AUC=0.880,Z=4.159,P<0.001)。见图 2。

3 讨论

CVT 为复杂脑血管疾病,影像学变现多样且具有一定特异性[5]。MRI+MRV 是影像学诊断 CVT 的主要方法。相比于常规平扫 MRI,CE-MRI 可提高诊断 CVT 准确率,并显示脑膜继发改变等更多影像学信

表 1 CE-MRI、CE-MRV 及 MRBTI 检出各静脉节段 CVT 比较(处,n=720)

成像方式	上矢状窦	下矢状窦	横窦	乙状窦	直窦	窦汇	深静脉	皮层静脉	颈内静脉	全部节段
CE-MRI	51	1	69	58	10	11	2	15	20	237
CE-MRV	56	0	70	66	15	18	3	10	43	281
MRBTI	58	3	74	70	21	18	8	28	42	322
χ^2值*	0.705	1.006	0.055	2.294	1.185	2.064	0.000	1.85	20.338	5.837
P值*	0.401	0.316	0.815	0.130	0.276	0.151	1.000	0.276	<0.001	0.016
χ^2值#	1.410	0.256	1.645	5.625	2.259	2.064	3.840	5.375	12.745	21.126
P值#	0.235	0.631	0.200	0.010	0.071	0.151	0.050	0.020	<0.001	0.000
χ^2值▲	0.122	1.359	1.111	0.784	1.290	0.000	2.441	11.182	0.025	4.796
P值▲	0.727	0.244	0.292	0.376	0.256	1.000	0.181	0.001	0.874	0.029

注:*:CE-MRI *vs.* CE-MRV;#:CE-MRI *vs.* MRBTI;▲:CE-MRV *vs.* MRBTI

表 2　CE-MRI＋CE-MRV 与 CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI 检出各静脉节段 CVT 比较（处，n＝720）

成像方式	上矢状窦	下矢状窦	横窦	乙状窦	直窦	窦汇	深静脉	皮层静脉	颈内静脉	全部节段
CE-MRI＋CE-MRV	56	1	71	67	19	16	4	15	43	292
CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI	58	3	74	70	21	18	8	28	44	324
χ^2值	0.122	0.262	0.662	0.457	0.133	0.149	1.441	5.375	0.025	22.906
P值	0.727	0.613	0.416	0.499	0.715	0.499	0.230	0.020	0.874	＜0.001

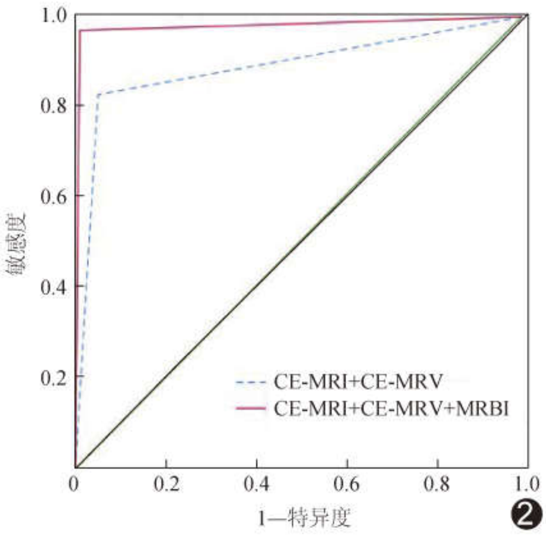

图 2　CE-MRI＋CE-MRV 与 CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI 诊断静脉节段 CVT 的 ROC 曲线

息。既往研究[6]显示，CE-MRV 诊断 CVT 的敏感度为 93％，明显高于平扫 MRV 的 79％。

MRBTI 是基于三维快速自旋回波序列的无创性血栓直接成像技术，能区分血栓与管腔内的血流及管壁周围组织[7-8]。本研究结果显示，MRBTI 对于 CVT 的检出率最高，其次是 CE-MRV 和 CE-MRI。CE-MRI 的优势在于能够清晰显示脑实质内病变如出血、梗死等，对于初步判断病情严重程度具有重要意义。本组 CE-MRI 显示 37 例存在脑实质改变，其中 29 例为静脉性脑水肿（n＝17）或静脉性脑梗死（n＝17），呈片状或脑回状 T1WI 低信号、T2WI 高信号，DWI 及 ADC 表现不一，或以血管源性水肿为主，或细胞毒性水肿为主[9]；8 例为脑出血，影像学表现与颅内血肿相同。静脉血栓在 CE-MRI 中表现为强化血管内的充盈缺损，多可见"空三角征"及"条带征"等，邻近脑膜充血可使大脑镰及小脑幕出现异常强化[10]；病程延续，信号不断发生变化而易造成漏诊，尤其是慢性期血栓。此外，受扫描层厚限制，CE-MRI 显示皮层静脉等较细小静脉及靠近颅底的乙状窦内血栓的能力不足；本组 12 例皮层静脉血栓及 3 例乙状窦血栓 CE-MRI 均呈阴性。

CE-MRV 能清晰显示血栓所致静脉狭窄、闭塞及充盈缺损等，其主要优势在于显示引流静脉扩张及侧支循环形成[11]。本研究 CE-MRV 显示 52 例侧支循环形成及引流静脉异常扩张。蛛网膜颗粒、静脉变异及个体发育差异（如一侧横窦发育不良、皮层静脉细小纡曲）等均可致 CE-MRV 误诊或漏诊 CVT[12]。本研究中 CE-MRV 误诊 2 例横窦发育不良为血栓，且其对皮层静脉血栓的检出率低于 MRBTI，与既往报道相符[13]。此外，受限于慢性期 CVT 的血管增强效应，CE-MRV 对于 CVT 的敏感度相对较低[14]。

MRBTI 可直接显示不同阶段静脉血栓的信号特征，对亚急性血栓更有优势，7～30 天内血栓在 MRBTI 中均呈高信号；但常难以鉴别超急性期血栓及慢性期血栓。利用 CE-MRBTI 可进一步区别急、慢性期血栓：急性期血栓无强化或仅表现为静脉壁增厚强化，慢性期则因血栓内新生微血管壁不完整、对比剂渗出至机化血栓内而呈显著强化。MRBTI 还可用于诊断皮层静脉或深静脉血栓。既往研究[15]报道，MRBTI 能减少 MRV 因流动伪影造成的假阳性，显示皮层静脉血栓良好。本研究中 MRBTI 对皮层静脉血栓的检出率明显高于 CE-MRV（P＝0.001）。

本研究对比 CE-MRI＋CE-MRV 与 CE-MRI＋CE-MRV＋MRBTI 诊断静脉节段 CVT 效能，发现后者诊断效能更高，提示多模态 MR 一站式检查能够精准显示血栓位置、形态和信号，以及静脉窦血栓形成所致继发性改变，进而减少漏、误诊。

综上，MR 一站式联合检查用于诊断 CVT 具有显著优势，能有效弥补单一成像方式的局限性，为准确诊断和治疗 CVT 提供有力支持。本研究的主要局限性：①为单中心、回顾性分析，不能排除病例选择偏倚；②仅由 2 名影像科医师基于影像学结合临床进行诊断；③未单独设立 MRBTI 组进行效能分析。未来可通过开展前瞻性、多中心研究，结合人工智能辅助诊断系统，以增强研究结果的可靠性和精确度。

利益冲突：全体作者声明无利益冲突。

作者贡献：段森研究设计、统计分析、撰写文章；张开元和武春雪图像分析和处理；李京凯、张越和王臣研

究实施；张苗指导、研究设计、统计分析；卢洁审阅和修改文章、经费支持。

［参考文献］

[1] ULIVI L, SQUITIERI M, COHEN H, et al. Cerebral venous thrombosis: A practical guide[J]. Pract Neurol, 2020,20(5):356-367.

[2] WASAY M, KAUL S, MENON B, et al. Asian study of cerebral venous thrombosis [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28 (10):104247.

[3] GHONEIM A, STRAITON J, POLLARD C, et al. Imaging of cerebral venous thrombosis [J]. Clin Radiol, 2020, 75 (4): 254-264.

[4] YANG X, WU F, LIU Y, et al. Diagnostic performance of MR black-blood thrombus imaging for cerebral venous thrombosis in real-world clinical practice [J]. EurRadiol, 2022, 32 (3): 2041-2049.

[5] ORDIERES-ORTEGA L, MORAGÓN-LEDESMA S, DEMELO-RODRÍGUEZ P. Cerebral venous thrombosis[J]. Rev Clin Esp (Barc), 2024,224(4):237-244.

[6] 苏鑫，李育，蔡赛男，等．MR 二维时间飞跃法，三维梯度毁损回波序列及时间分辨对比剂动态显像诊断颅内静脉窦血栓[J]．中国医学影像技术，2022,38(12):1786-1790.

[7] FANDLER-HÖFLER S, GATTRINGER T. Magnetic resonance black-blood imaging to facilitate diagnosis of cerebral venous thrombosis?[J]. Eur Radiol, 2022,32(3):2010-2011.

[8] 赵兵，张超，朱梅佳，等．3D-CUBE T1 磁共振序列在颅脑非急性期静脉血栓成像中的应用[J]．临床放射学杂志，2019,38(4):603-607.

[9] 张守华，樊红光，常琼，等．脑静脉窦血栓形成的影像学表现及脑实质病变预测[J]．中国实用神经疾病杂志，2020,23(1):45-49.

[10] SADIK J C, JIANU D C, SADIK R, et al. Imaging of cerebral venous thrombosis[J]. Life (Basel), 2022,12(8):1215.

[11] CARLETTI F, VILELA P, JÄGER H R. Imaging approach to venous sinus thrombosis[J]. Radiol Clin of North Am, 2023,61 (3):501-519.

[12] WU X, SUN J, CHEN Z, et al. Magnetic resonance black-blood thrombus imaging can confirm chronic cerebral venous thrombosis: A case report and literature review[J]. J Int Med Res, 2021,49(5):3000605211017001

[13] MAHAL S, YADAV T, PANDA S, et al. Multimodality imaging in cerebral venous thrombosis: A synopsis for emergency radiologist[J]. Jpn J Radiol, 2024,42(5):437-449.

[14] WANG G, YANG X, DUAN J, et al. Cerebral venous thrombosis: MR black-blood thrombus imaging with enhanced blood signal suppression[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019,40 (10):1725-1730.

[15] TUNLAYADECHANONT P, CHOBAROON A, CHANSAKUL T. Contrast-enhanced 3D black-blood magnetic resonance imaging for diagnosis of cerebral venous thrombosis[J]. Neuroradiol J, 2024,37 (6):738-743.