

磁敏感加权成像 SWAN 序列在儿童颅脑疾病中的应用价值

陈静, 李欣, 王春祥, 赵滨, 刘俊刚

【摘要】 目的:探讨 MR 磁敏感加权 T_2^* 加权血管成像(SWAN)在儿童颅脑疾病诊断中的应用价值。方法:经临床确诊的颅脑疾病患儿 77 例,其中新生儿缺氧缺血性脑病(HIE)伴出血性病变 8 例,颅脑外伤 47 例,脑血管畸形 22 例。所有患儿均行 SWAN 序列及常规 MRI 平扫,16 例行增强扫描。所有图像由 3 位有经验的影像诊断医师进行评估。结果:SWAN 序列对 HIE 伴出血性病变中脑实质内微出血、室管膜下出血、脑室内积血及蛛网膜下腔出血的显示优于常规 MRI 序列;对颅脑外伤中脑挫裂伤、弥漫性轴索损伤、蛛网膜下腔出血的显示优于 MRI 常规序列,对硬膜下血肿和硬膜外血肿的显示欠佳;对脑血管畸形的显示优势主要体现在海绵状血管瘤、发育性静脉异常和 Sturge-Weber 综合征中,发现海绵状血管瘤的数量明显增多,尤其是体积较小的海绵状血管瘤,可发现隐匿性的发育性静脉异常及 Sturge-Weber 综合征脑表面的异常血管网。结论:SWAN 序列对血管畸形、出血及血液代谢产物的显示有较高的敏感性和特异性,是儿童颅脑疾病 MRI 检查常规序列的重要补充。

【关键词】 磁敏感加权成像; T_2^* 加权血管成像; 颅脑疾病; 儿童

【中图分类号】 R445.2; R722.12; R651.1⁺5; R543.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)08-0867-05
DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.08.005

Value of MR susceptibility weighted angiography (SWAN) imaging in the diagnosis of brain diseases in children CHEN Jing, LI Xin, WANG Chun-xiang, et al. Department of Medical Imaging, Tianjin Children's Hospital, Tianjin 300074, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the diagnostic value of MR T_2^* star weighted angiography (SWAN) in pediatric brain diseases. **Methods:** 77 pediatric patients with clinically diagnosed brain diseases were included in this study. Among them, 8 cases had hypoxic ischemic encephalopathy (HIE) accompanied with hemorrhage, 47 cases had cranio-cerebral trauma and the rest 22 cases had vascular malformation of brain. All underwent conventional plain MR examination with SWAN sequence, whereas 16 cases of them were further examined with contrast-enhanced MR scanning. The images were evaluated by three experienced radiologists. **Results:** SWAN sequence was superior to conventional sequences in demonstrating HIE with hemorrhage including intra-cerebral parenchymal microhemorrhage, subependymal hemorrhage, intra-ventricular hemorrhage and subarachnoid hemorrhage as well as in demonstrating cranio-cerebral trauma including contusion and laceration of brain, diffuse axonal injury and subarachnoid hemorrhage. However, subdural and epidural hematoma were less conspicuous on SWAN. As for vascular malformation of brain, the advantages of SWAN were showed in demonstrating cavernous hemangioma, especially small hemangioma, and were obviously more in number; also in displaying occult developmental vein anomaly and abnormal vascular network at the brain surface of Sturge-Weber Syndrome. **Conclusion:** SWAN sequence is more sensitive and specific in detecting vascular malformation, hemorrhage and blood metabolic products. It is an important supplemental MR sequence in addition to conventional MRI sequences in the diagnosis of pediatric brain diseases.

【Key words】 Susceptibility weighted imaging; T_2^* star weighted angiography; Brain diseases; Children

磁敏感加权成像于 1997 年由 Haacke 博士^[1]提出,近年来在国内有了较大发展,迄今已被多位学者应用到中枢神经系统疾病的诊断中^[2-6],主要应用于颅内出血、出血性梗死、血管畸形、外伤、肿瘤、多发性硬化、血管性痴呆、淀粉样脑血管病和神经变性疾病等方面。 T_2^* 加权血管成像(T_2^* star weighted angiography, SWAN)是磁敏感加权成像的一种,与传统的 T_1 WI、 T_2 WI、质子密度加权以及扩散加权成像不同,它是一种可以反映组织磁敏感属性的对比度增强技术。近年来已有不少关于此技术被应用于成人中枢神经系统疾病诊断的报道,但在儿童颅脑疾病中的应用

鲜有报道。本文就 SWAN 序列在儿童颅脑疾病诊断中的应用价值进行评价。

材料与方 法

1. 一般资料

选取 2012 年 5 月—2013 年 9 月在本院行常规 MRI 平扫及 SWAN 序列扫描并经临床确诊的颅脑疾病儿童 77 例,其中新生儿缺氧缺血性脑病(hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE)伴出血性病变 8 例(包括足月儿 5 例,早产儿 3 例),颅脑外伤 47 例,脑血管畸形 22 例(包括海绵状血管瘤 9 例,发育性静脉异常 11 例,Sturge-Weber 综合征 2 例)。其中男 49 例,女 28 例,年龄 4 天~13 岁,平均 4.24 岁。所有患儿均因

作者单位:300074 天津,天津市儿童医院影像科

作者简介:陈静(1982—),女,天津人,硕士,主治医师,主要从事小儿中枢神经系统影像诊断学工作。

不同的临床症状来就诊。

2. 检查方法

检查前准备:患儿需在安静状态下进行扫描,对不能合作的患儿,检查前 20 min 口服 6.5% 水合氯醛进行镇静,剂量 0.8 mL/kg。检查前于患儿外耳道内轻轻塞入耳棉塞,并准备好固定头颅的塑性海绵。

使用 GE HDx 1.5T 磁共振扫描仪,采用头部脊柱联合线圈。77 例患儿均行常规 MRI 平扫及 SWAN 序列扫描,16 例行增强检查。常规 MRI 平扫序列及参数:横轴面及矢状面 FSE T₁-液体衰减反转恢复(fluid-attenuated inversion recovery, FLAIR) 序列,TR 1931 ms、TE 22 ms 或 TR 2500 ms、TE 9 ms, TI 720 ms,矩阵 320×224,激励次数 1;Propeller 序列横轴面 T₂ WI,TR 6400 ms,TE 134 ms,矩阵 320×320,激励次数 1.5;FSE 横轴面 T₂-FLAIR 序列,TR 8502 ms,TE 162 ms, TI 2100 ms,矩阵 256×192,激励次数 1;DWI 序列,TR 4800 ms,TE 80 ms,矩阵

96×130,激励次数 2;横轴面视野 24 cm×24 cm,层厚 6 mm,间隔 1 mm;矢状面视野 22 cm×22 cm,层厚 5 mm,间隔 1 mm。16 例行增强扫描:经前臂静脉注射钆喷葡胺,剂量 0.2 mmol/kg,扫描序列包括横轴面 T₂ FLAIR 以及横轴面、冠状面、矢状面 T₁ FLAIR。除常规 MRI 序列外,所有患儿均于增强检查前采用 SWAN 序列进行扫描,扫描参数:TR 78.6 ms,TE 47.86 ms,翻转角 15°,矩阵 384×256,层厚 2 mm,间隔 0 mm,激励次数 0.69,扫描时间约 3~5 min。

3. 图像处理及分析

将所有患儿 SWAN 序列的图像传至 ADW4.5 工作站,经 Functool 软件处理,采用最小密度投影法(minimum intensity projection, MinIP)重建为层厚及层间距均为 10 mm 的图像。由两位有经验的影像诊断医师采用双盲法分别对 MRI 资料进行分析,如有异议,则由另一位更高年资影像诊断医师进行评判。评价指标包括:病变-背景对比度,病灶的大小、形态、边

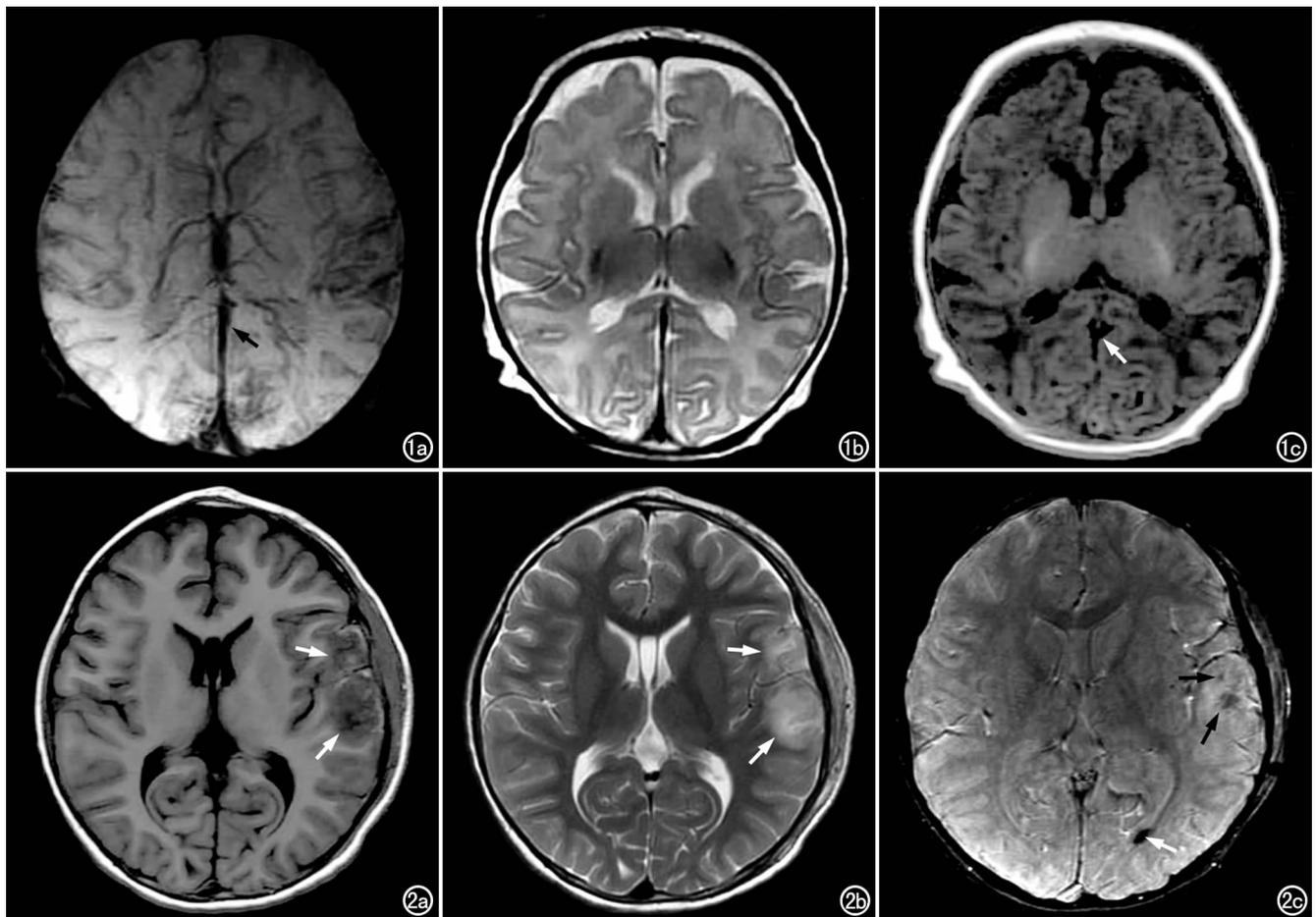


图1 男,26天,新生儿缺氧缺血性脑病合并少量蛛网膜下腔出血。a) SWAN 序列显示后纵裂池内可见线样低信号(箭); b) T₂ WI 上后纵裂池内未见明显异常; c) T₁ WI 显示相应区域为流空的大脑大静脉(箭)。图2 男,6岁,左侧额颞顶叶脑挫裂伤,脑室内少量积血,少量蛛网膜下腔出血。a) T₁ WI 显示左侧颞叶片状稍低信号(箭),局部脑回肿胀,左颞部头皮软组织肿胀; b) T₂ WI 显示左侧颞叶片状稍高信号(箭),边界模糊,局部脑沟变浅; c) SWAN 序列显示左侧颞叶片状稍高信号,其内可见小片状稍低信号区(黑箭)为脑挫裂伤内出血,左侧脑室枕角内可见小片低信号(白箭)为脑室内少量积血,其在图 a 和 b 上均未能显示。

界、数量、信号,并对图像质量进行评价,同时排除小静脉、血管周围间隙以及钙化灶等。

结果

新生儿缺氧缺血性脑病(hypoxic-ischemic encephalopathy, HIE)伴出血性病变8例,其中脑实质内出血2例,脑室内积血3例,室管膜下出血2例,蛛网膜下腔出血4例。SWAN序列所发现的出血性病变的数量最多,其中4例(50%)的出血性病变(包括室管膜下出血2例,蛛网膜下腔出血2例,脑室内积血2例)仅于SWAN序列有阳性发现,均表现为低信号(图1)。

颅脑外伤47例,其中脑挫裂伤31例(31/47),主要MRI表现:于T₁WI呈片状不均匀稍低信号(图2a);于T₂WI显示局部脑实质肿胀,呈片状稍高信号(图2b),边界模糊;T₂-FLAIR序列上呈片状高信号;于SWAN序列上病变内可见多发点片状低信号(图2c),提示为脑挫裂伤内的微出血灶,这些微出血灶于常规序列未见明确显示。弥漫性轴索损伤6例(6/47),主要表现为T₂WI及T₂-FLAIR序列上胼胝体区、灰白质交界区和脑干等部位可见多发斑片状高信号,边界模糊;于T₁WI上呈稍低信号;于SWAN序列可见胼胝体区、灰白质交界区多发小点片状低信号,为弥漫性轴索损伤病变内的微出血灶,这些微出血灶于常规序列上未能显示。蛛网膜下腔出血20例(20/47),SWAN序列表现为纵裂池及脑沟内线样低信号,其中7例于常规序列上无异常发现。硬膜下血肿10例(10/47),于T₁WI上表现为颅板下新月形高信号,于SWAN图像上呈低信号。硬膜外血肿10例(10/47),于T₁WI上表现为颅板下梭形高信号,于SWAN图像上呈低信号。脑室内积血5例(5/47),于SWAN序列上表现为脑室内低信号,其中3例于常规序列上无阳性发现(图2c),其余2例于T₁WI上可见双侧侧脑室后角及三角区内高信号。

脑血管畸形22例,其中海绵状血管瘤9例(9/22),T₂WI上表现为典型的中间高信号、周围为含铁血黄素沉着所致的环形低信号(图3a),T₁WI上呈稍高信号,SWAN序列上表现为低信号结节或低信号环包绕的不规则结节

状高信号。SWAN序列显示的病灶与常规序列相比,范围更大,边界更清晰,显示的病灶更多,本组中有5例常规序列未能发现多发小血管瘤、仅在SWAN序列上显示(图3b~d)。发育性静脉异常11例(11/22),于常规序列上显示不明显(图4a、b),SWAN序列上呈线样或丛状低信号,表现为“海蛇头”样改变(图4c),且与周围背景组织形成鲜明对比,显示效果优于T₁WI增强扫描。Sturge-Weber综合征2例(2/22),于常规序列上表现为病变区的脑沟增宽,增强扫描可见病变区柔脑膜呈线样强化(图5a),于SWAN序列上表现为病变区沿脑沟走行的多发线样低信号(图5b),同时可见异常的静脉血管网,SWAN序列对病变范围及细节的显示优于常规平扫序列及增强检查。

讨论

1. 磁敏感成像基本原理及SWAN序列概述

磁敏感成像是以T₂*脉冲序列为基础,采用3D梯度回波扫描、完全速度补偿及射频脉冲扰相等技术,具有三维成像、高分辨率、高信噪比等特点,为了能更

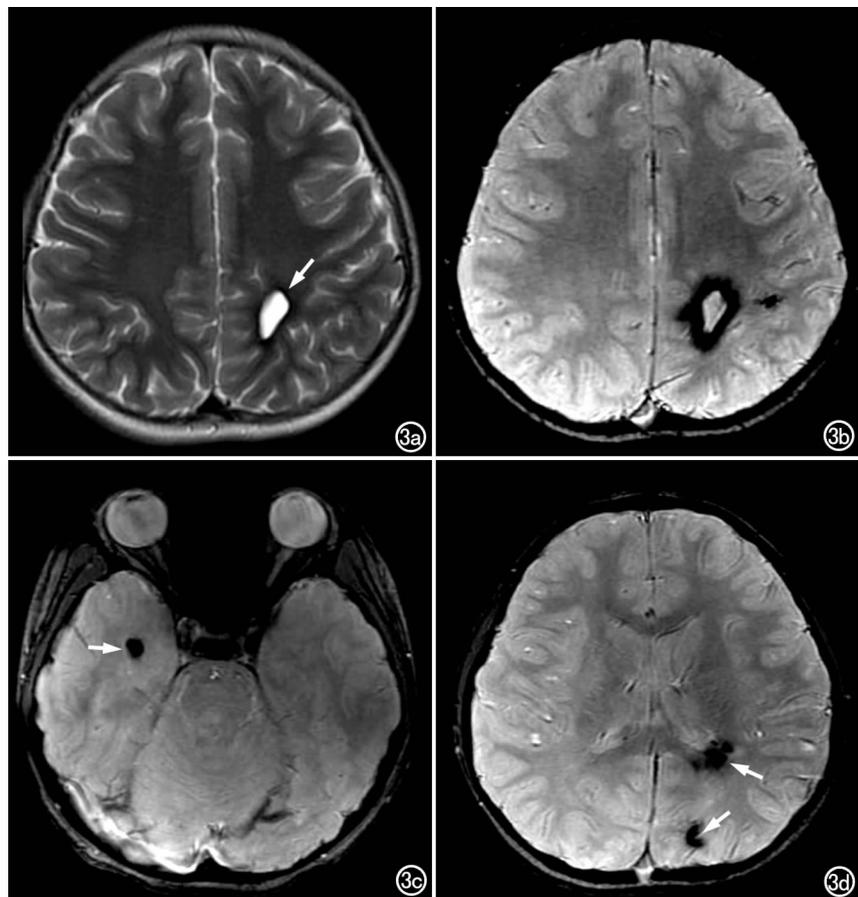


图3 男,9岁,右侧颞叶、左侧顶枕叶多发海绵状血管瘤。a) T₂WI显示左顶叶高信号病变,周围有低信号环,边缘较清楚(箭); b) SWAN序列显示左顶叶病变呈中心等信号,周围环形低信号; c) 脑干层面SWAN图像显示了常规序列未能显示的右侧颞叶小片状低信号(箭),为小海绵状血管瘤; d) 上方层面显示左侧顶枕叶多发小片状低信号灶(箭)。

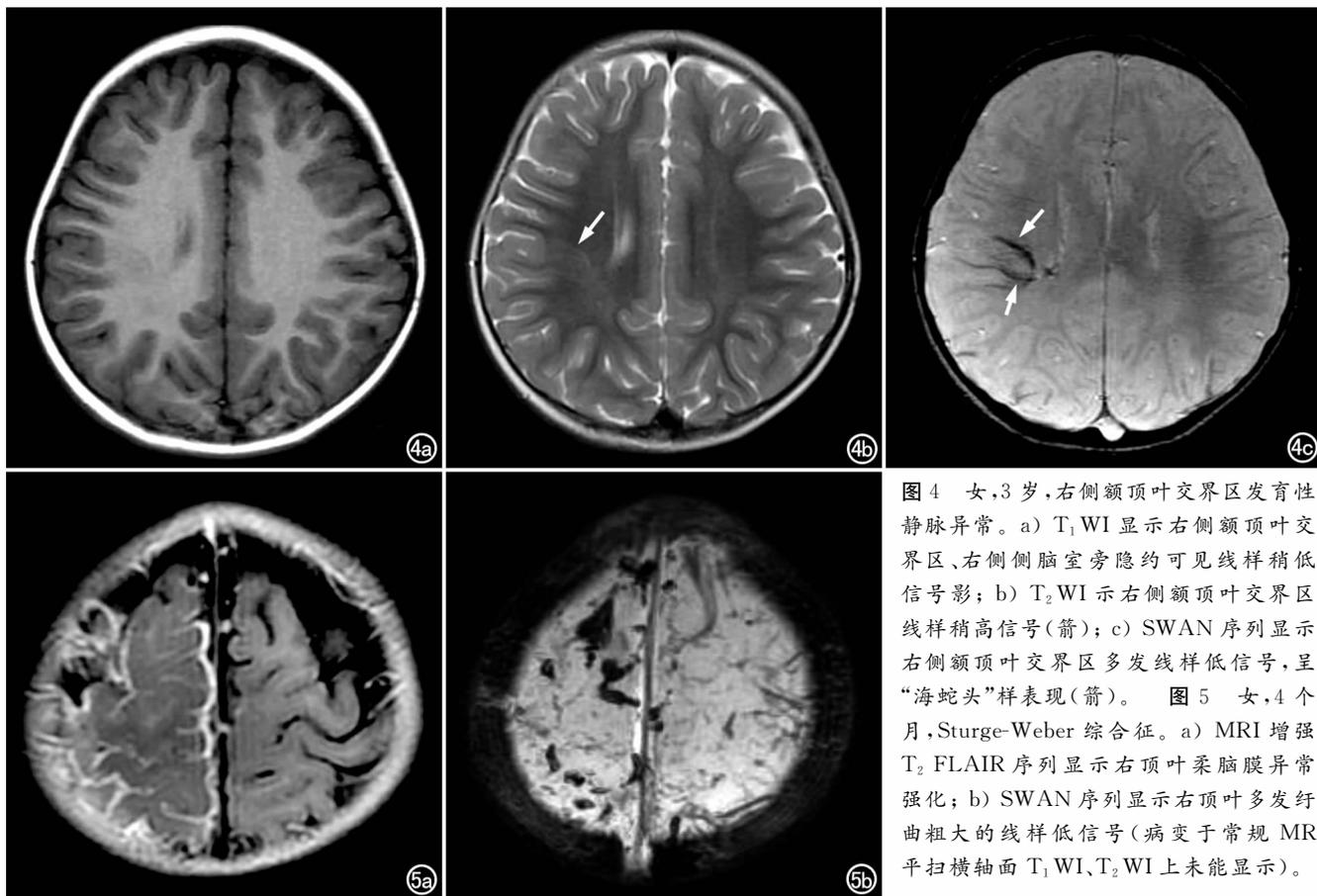


图4 女,3岁,右侧额顶叶交界区发育性静脉异常。a) T_1 WI显示右侧额顶叶交界区、右侧侧脑室旁隐约可见线样稍低信号影; b) T_2 WI示右侧额顶叶交界区线样稍高信号(箭); c) SWAN序列显示右侧额顶叶交界区多发线样低信号,呈“海蛇头”样表现(箭)。图5 女,4个月,Sturge-Weber综合征。a) MRI增强 T_2 FLAIR序列显示右顶叶柔脑膜异常强化; b) SWAN序列显示右顶叶多发纤曲粗大的线样低信号(病变于常规MR平扫横轴面 T_1 WI、 T_2 WI上未能显示)。

清晰地显示静脉血管影像,还采用了相位蒙片、邻近层面的最小密度投影等图像后处理技术。SWAN序列将特殊的基于 T_2^* 的多回波采集3D技术与特殊的重建算法相结合,产生多个回波,在不同的TE时间读出,并收集一定范围内组织的不同程度 T_2^* 对比度的磁共振信号,将所有的回波信号经一种创新的后处理算法自动重建而合成一个平均权重的图像,最后形成亚毫米级分辨率的3D图像,它集成了明显加强的磁敏感信息并增加了图像的信噪比。SWAN序列不需要操作人员再进行后处理就可以得到完整的图像,比以往的磁敏感成像序列更方便,薄层厚、无间隔的扫描方法最大程度地减少了部分容积效应,可显示更多的隐匿病灶。SWAN序列对血流缓慢的静脉系统、血液代谢产物以及铁沉积有很高的敏感性,这些物质在SWAN图像上均呈显著低信号,并可通过最小密度投影来显示静脉的连续性,尤其是皮层下小静脉,同时可对动静脉进行区分,在SWAN序列上动脉呈高信号,静脉为低信号。

2. SWAN序列在儿童颅脑疾病中的应用

HIE伴出血性病损:新生儿脑部细小血管的内皮细胞连接松散,血液供应调控尚不完善,而脑代谢十分活跃,脑组织对氧的需求量极大,新生儿脑内糖原很少,葡萄糖及氧全靠脑血液循环供给。发生缺氧缺血

后,易导致酸中毒和脑细胞水肿,肿胀的细胞压迫毛细血管使脑组织进一步缺氧。缺氧缺血又引起血管通透性增高,导致血管源性脑水肿。两者均能使血管脆性增加、小动脉痉挛、破裂或出血。因此,HIE病程中可伴有出血性改变,可出现脑实质内、室管膜下、蛛网膜下腔及脑室内出血。足月儿HIE脑室内出血主要来自脉络丛及丘脑,而早产儿室管膜下原生基质毛细血管壁薄,易发生出血,当血肿冲破室管膜可致脑室内出血。SWAN序列对显示新生儿HIE各部位出血性病灶的数量、大小、范围以及边界等均优于常规MRI序列,尤其是脑室内、蛛网膜下腔的微出血。同时,对常规序列不能发现的慢性出血亦高度敏感。是否伴有出血对决定新生儿HIE的预后非常关键,伴出血的患儿较不伴出血的患儿预后差,因此早期发现出血灶对临床治疗方案的制订极其重要。

颅脑外伤:SWAN序列在颅脑外伤患儿中的应用主要包括脑室内血肿、脑挫裂伤、硬膜下/外血肿、蛛网膜下腔出血、脑室内积血以及弥漫性轴索损伤(diffuse axonal injury,DAI)。相对于CT及常规MRI序列,SWAN序列对显示幕下脑实质内微出血、蛛网膜下腔及脑室内的少量积血、DAI等病变具有明显优势^[7-9],尤其是DAI。DAI是颅脑外伤中的特殊类型,是由剪切力引起的弥漫性脑白质损伤,常发生于大脑半球灰

白质交界区及胼胝体等部位,如果伴有出血,则预后更差。SWAN序列可以更好地显示颅内出血的部位、数量及大小,尤其是脑实质内、脑室及脑沟、脑池内的出血,但是对于紧贴颅板的少量硬膜下和硬膜外血肿,有时显示效果欠佳。总之,SWAN序列对分析病情、做出诊断有很大帮助,对颅脑损伤的评价、治疗及预后的预测等有重要作用。

血管畸形:SWAN序列在脑血管性疾病中的应用主要包括海绵状血管瘤^[10]、发育性静脉异常^[11,12]以及Sturge-Weber综合征^[13,14]。常规MR血管成像方法主要有时间飞越法(time of flight, TOF)和相位对比法(phase contrast, PC),二者均依赖于血液流动效应,对高流速的血管结构敏感,对低流速的血管显示能力有限。隐匿性血管疾病(如海绵状血管瘤、发育性静脉异常以及Sturge-Weber综合征等)的特点是血流缓慢,有时即使使用对比剂仍较难发现。SWAN序列可以显示低流速的静脉血流,且不受血流方向和速度的影响,对上述病变的显示极其敏感,不仅能够清晰显示病灶的边界,而且能够发现更多的微小病灶。另外,通过最小密度投影法进行重建,还可以显示静脉血管的连续性,将扭曲的血管结构与静脉周围的出血相区别^[15]。

此外,SWAN序列还可用于显示肿瘤内血管结构及出血、小的动静脉畸形,亦可应用于正常个体的解剖学显示,可显示小于1个像素的小血管或白质深部的血管。

3. SWAN序列的局限性

SWAN序列对儿童颅脑疾病的诊断限度主要包括以下几个方面:为避免运动伪影,检查必须要在患儿安静状态下进行,对不能配合的患儿需睡眠状态下进行,需要家属的配合。由于SWAN序列是利用磁敏感效应的成像技术,所有能造成局部磁场不均匀的因素都可以影响图像质量,如血浆内蛋白、pH值、温度、血流等。脑组织与颅骨交界处及颅底骨-气交界处磁敏感差异较大,容易产生磁化率伪影,因此会影响邻近部位病灶的检出。对于病变全面信息的显示,如水肿、脑缺血以及肿瘤的血供情况等,还需综合常规MRI平扫及增强检查。

综上所述,SWAN序列在多种儿童颅脑疾病的诊断中可以得到良好应用,此序列具有较高的病变-背景对比度,并在显示出血性病灶及隐匿性血管疾病方面具有明显优势,结合常规序列能够更有效地对疾病作出全面的评估,是对常规MRI序列的重要补充,显示出较大的临床应用价值。

参考文献:

[1] Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, et al. Susceptibility weighted ima-

ging (SWI)[J]. Magn Reson Med, 2004, 52(3): 612-618.

- [2] Babikian T, Freier MC, Tong KA, et al. Susceptibility weighted imaging; neuropsychologic outcome and pediatric head injury[J]. Pediatr Neurol, 2005, 33(3): 184-194.
- [3] Sehgal V, Delproposito Z, Haddar D, et al. Susceptibility weighted imaging to visualize blood products and improve tumor contrast in the study of brain masses[J]. Magn Reson Imaging, 2006, 24(1): 41-51.
- [4] Sehgal V, Delproposito Z, Haccke EM, et al. Clinical applications of neuroimaging with susceptibility weighted imaging[J]. Magn Reson Imaging, 2005, 22(4): 439-450.
- [5] Thomas B, Somasundaram S, Thamburaj K, et al. Clinical applications of susceptibility weighted MR imaging of the brain; a pictorial review[J]. Neuroradiol, 2008, 50(2): 105-116.
- [6] Barth M, Nobauer-Huhmann IM, Reichenbach JR, et al. High-resolution three-dimensional contrast-enhanced blood oxygenation level-dependent magnetic resonance venography of brain tumors at 3T; first clinical experience and comparison with 1.5T[J]. Invest Radiol, 2003, 38(7): 409-414.
- [7] Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with posttraumatic diffuse axonal injury; improved detection and initial results[J]. Radiology, 2003, 227(2): 332-339.
- [8] Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Diffuse axonal injury in children; clinical correlation with hemorrhagic lesions[J]. Ann Neurol, 2004, 56(1): 36-50.
- [9] Fiebach JB, Schelinger PD, Geletnek K, et al. MRI in acute subarachnoid hemorrhage; findings with a standardized protocol[J]. Neuroradiol, 2004, 46(1): 44-48.
- [10] Souza JM, Domingues RC, Cruz LCH, et al. Susceptibility-weight imaging for the evaluation of patients with familial cerebral cavernous malformations; a comparison with T₂-weighted fast spin-echo and gradient-echo sequences[J]. AJNR, 2008, 29(1): 154-158.
- [11] El-Koussy M, Schroth G, Gralla J, et al. Susceptibility-weighted MR imaging for diagnosis of capillary telangiectasia of the brain[J]. AJNR, 2012, 33(4): 715-720.
- [12] Nandigam RNK, Viswanathan A, Delgado P, et al. MR Imaging detection of cerebral microbleeds; effect of susceptibility-weighted imaging, section thickness, and field strength[J]. AJNR, 2009, 30(2): 338-343.
- [13] Hu J, Yu Y, Juhasz C, et al. MR susceptibility weighted imaging (SWI) complements conventional contrast enhanced T₁ weighted MRI in characterizing brain abnormalities of Sturge-Weber syndrome[J]. Magn Reson Imaging, 2008, 28(2): 300-307.
- [14] Hu J, Yu Y, Juhasz C, et al. MR susceptibility weighted imaging complements conventional contrast enhanced T₁ weighted MRI in characterizing brain abnormalities of Sturge-Weber syndrome[J]. Magn Reson Imaging, 2008, 28(2): 300-307.
- [15] Wu Z, Li S, Lei J, et al. Evaluation of traumatic subarachnoid hemorrhage using susceptibility-weighted imaging[J]. AJNR, 2010, 31(7): 1302-1310.

(收稿日期:2014-05-26 修回日期:2014-06-11)