论著

文章编号:1000-5404(2011)06-0628-05

磁共振灌注成像评估动脉瘤性蛛网膜下腔出血后脑血管痉挛的临床研究

冯宝海,周 政,刘 俊,杨 辉,阴金波,张 旋,张建忠 (410037 重庆,第三军医大学新桥医院神经外科)

【摘要】 **目的** 探讨磁共振灌注成像在动脉瘤性蛛网膜下腔出血后脑血管痉挛中的诊断价值,并探讨脑血流动力学与脑血管痉挛之间的关系。**方法** 采用磁共振灌注加权成像和全脑血管造影的方法,对38例动脉瘤性蛛网膜下腔出血后(7±2)d的患者进行检查并动态观察。通过磁共振灌注成像检查采集大脑全动脉供血区,大脑中动脉供血区和基底节区所选感兴趣区的各项参数,包括rCBF、rCBV、MTT和TTP。通过分析这些参数,研究它们与脑血管痉挛程度的相关性。**结果** 在38例患者中至少1条血管痉挛28例(轻度痉挛9例,中度痉挛10例,重度痉挛9例),无痉挛10例。按血管痉挛程度分成无痉挛组、轻度痉挛组、中度痉挛组、重度痉挛组。将rCBF、rCBV、TTP和MTT等参数纳入统计学分析,采用Spearman等级相关检验。在所有区域,伴随脑血管痉挛程度的加重,rCBV及rCBF值有所下降($P<0.05$),在轻中度痉挛组,各区域rCBF及rCBV参数有增加和减少现象存在,重度痉挛组较对照组rCBF明显减少($P<0.05$)。MTT及TTP呈明显线性增加趋势,痉挛组TTP分别较对照组明显延迟,有明显等级相关性($P<0.01$)。**结论** 进行磁共振灌注成像检查可以定量地提供脑组织血流灌注的信息。综合运用磁共振灌注成像和全脑血管造影技术对于研究脑血管痉挛的发展过程中血流灌注变化,有重要的临床意义。

【关键词】 蛛网膜下腔出血;磁共振灌注成像;脑血管造影;脑血管痉挛
【中图法分类号】 R741.04;R743;R814.43 【文献标志码】 A

Evaluation of cerebral vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage based on perfusion-weighted magnetic resonance imaging

Feng Baohai, Zhou Zheng, Liu Jun, Yang Hui, Yin Jinbo, Zhang Xuan, Zhang Jianzhong (Department of Neurosurgery, Xinqiao Hospital, Third Military Medical University, Chongqing, 400037, China)

【**Abstract**】 **Objective** To investigate the disturbance of perfusion patterns attributable to cerebral vasospasm (CVS) after aneurysmal subarachnoid hemorrhage (SAH) by perfusion-weighted magnetic resonance imaging (PWI) and digital subtraction angiography (DSA), and to study the correlation between cerebral hemodynamics and CVS in SAH patients. **Methods** PWI and DSA were performed on 38 SAH patients about 7±2 d after SAH. The patients were divided into a non-CVS group, a mild CVS group, a moderate CVS group, and a severe CVS group according to the CVS degrees. Parameters including relative cerebral blood flow (rCBF), relative cerebral blood volume (rCBV), mean transit time (MTT), time to peak (TTP) in regions of interest (ROIs) of the anterior cerebral artery (ACA) perfusion area, the middle cerebral artery (MCA) perfusion area, and the basal ganglia area of each hemisphere were analyzed based on PWI. The correlation between the parameters and CVS was studied. **Results** Twenty-eight cases with vasospasm in at least one blood vessel were found in the patients, including 10 cases in the non-CVS group, 9 in the mild CVS group, 10 in the moderate CVS group, and 9 in the severe CVS group. The parameters rCBF, rCBV, TTP and MTT were statistically analyzed by Spearman rank correlation coefficient. In all ROIs, rCBV and rCBF decreased as CVS worsened ($P<0.05$). In the mild and moderate CVS groups, rCBF and rCBV decreased or increased in all ROIs. rCBF decreased significantly in the severe CVS group as compared with that in the control group ($P<0.05$). MTT and TTP in the CVS groups had a significant tendency of linear increase. TTP was significantly delayed in the CVS groups as compared with that in the control group, and had significant rank correlation ($r=0.489$ to 0.730, $P<0.01$). **Conclusion** PWI can provide quantitative information on the changes of cerebral hemodynamics. The combination of PWI and DSA has clinicopathologic significance when investigating the correlation

【通信作者】 周 政,电话:(023)68774010,E-mail:bigbrain126@yahoo.com.cn

between cerebral hemodynamics and CVS degrees in SAH patients.

[Key words] subarachnoid haemorrhage; perfusion-weighted magnetic resonance imaging; digital subtraction angiography; cerebral vasospasm

Corresponding author: Zhou Zheng, Tel: 86-23-68774010, E-mail: bigbrain126@yahoo.com.cn

脑血管痉挛(cerebral vasospasm,CVS)是动脉瘤破裂所引起蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemorrhage,SAH)后出现的颅内迟发性大动脉或小动脉狭窄,典型的血管痉挛发生于出血后3~5 d,并在7~14 d后达到高峰[1]。动脉瘤破裂后7~14 d,全脑血管造影(digital subtraction angiography, DSA)可见的血管狭窄率高达70%~90%[2]。CVS是最严重的SAH并发症,常引起迟发性缺血性脑损害,甚至导致脑梗死。脑神经功能缺血区域局部脑血流灌注的减少,是蛛网膜下腔出血后,造成此结果的脑血流动力学原因之一[3]。本研究应用DSA结合磁共振灌注成像(perfusion-weighted magnetic resonance imaging,PWI)对动脉瘤破裂后蛛网膜下腔出血后CVS进行评估,为临床诊治提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究对象

选择2010年1-9月在本科因动脉瘤破裂引起的蛛网膜下腔出血患者38例。其中男性20例,女性18例,年龄(55.9±13.9)岁,临床Hunt-Hess分级Ⅰ~Ⅳ级。纳入标准:①经CT或腰穿证实为自发性SAH;②经全脑血管造影DSA检查或CT血管造影(computed tomography angiography, CTA)证实为动脉瘤破裂引起的自发性SAH;③有临床上引发脑血管痉挛的可能性;④动脉瘤破裂出血到入院纳入研究对象,时间在7 d以内;⑤家属及患者签署行脑血管造影术同意书并同意纳入本研究。排除标准:①核磁检查禁忌,包括心脏起搏器患者或者携带其他磁性物质;②其他原因引起的SAH;③具有严重的并发症;④大面积脑梗死或者颅内血肿的患者;⑤难治性颅内高压,高于25 mmHg,或者已经脑疝的患者;⑥患者及家属未同意纳入研究。所有入院对象为SAH后(7±2)d,24 h内完成DSA和PWI检查。选取我院同期未发生SAH来行全脑血管造影检查的患者10例作为对照组,其中男性4例,女性6例,年龄(55.0±10.6)岁,DSA未见脑血管痉挛及血管狭窄。两组性别、年龄、Hunt-Hess分级、Fisher分级、高血压病史等一般临床资料无统计学差异($P>0.05$)。

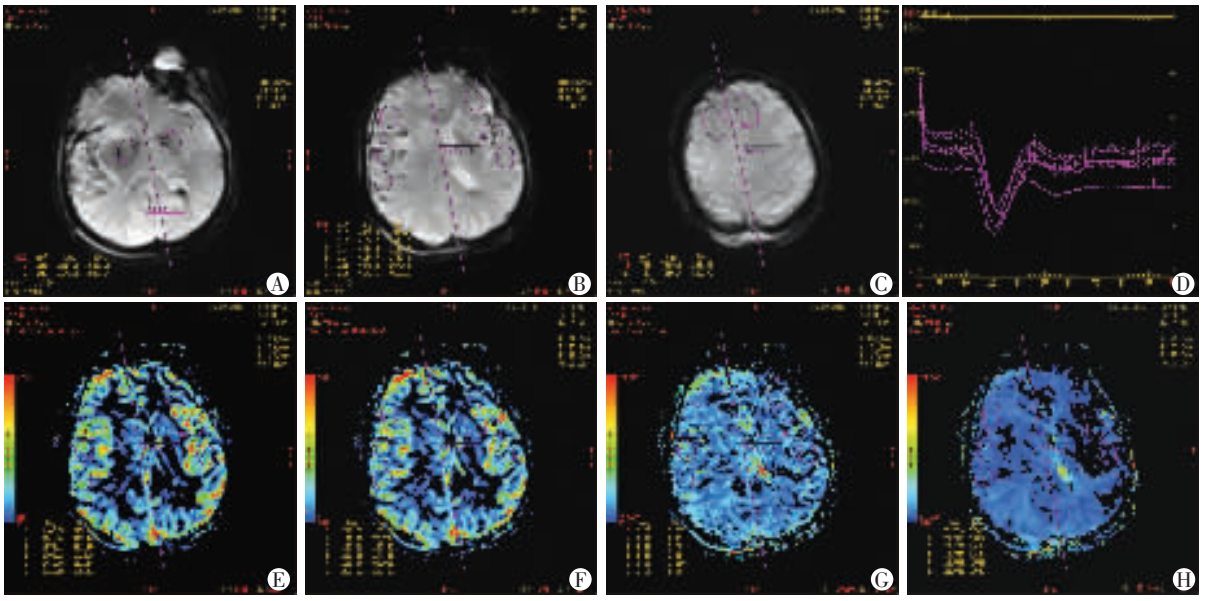
1.2 患者管理

所有患者的外科手术夹闭及血管内栓塞治疗在综合治疗小组指导下完成,包括神经外科学专家及神经放射学专家。所有患者放入神经外科重症监护病房(neurosurgical intensive care unit,NICU)给予相应治疗,保持血压稳定,保持水电解质平衡,所有患者入院后给予尼莫通治疗。低钠血症、高钠血症、尿崩症患者都给予相应药物治疗。症状性痉挛患者给予可控制的3H疗法治疗。

1.3 DSA及PWI方法

DSA方法及测量:采用GE公司INOVA 3100平板数字减影血管成像系统,Seldinger穿刺法通过右股动脉穿刺置入5F动脉鞘,采用5F单弯导管分别行选择性双侧颈动脉及双侧椎动脉颅内段、颅外段正侧位血管造影。利用数字血管成像系统自带的血管直径测量软件,以5F导管直径为参考,分别测量大脑前动脉(A1段、A2段)直径,大脑中动脉(M1段、M2段)直径,颈内动脉(C1段、C2段)直径。各段血管直径测量时以近段为主,如有肉眼可见典型血管痉挛表现,则测量最狭窄处血管直径。直径测量及判断是否血管痉挛,是在两位高年资神经外科脑血管介入方面专家的指导下完成。参照同期对照组的各段脑血管直径平均值,根据相应血管直径减少的绝对值与相应平均值的比值,用百分数表示,判定各段血管痉挛程度。参考Weidauer等[2]的标准分为4级:无痉挛(减少0%~10%)、轻度痉挛(减少11%~33%)、中度痉挛(减少34%~66%)、重度痉挛(减少67%~100%)。

PWI方法及测量:PWI是在GE 1.5T SIGNA Twinspeed MR成像系统上进行。在检查开始前,于患者肘前静脉内放置1个18G或20G的静脉插管,实验对象的头部位于线圈的中心。采用多层采集方式,扫描层数为18层,序列为T2敏感的梯度回波-平面回波成像序列(gradient-echo echoplanar imaging sequence, GRE-EPI),TR/TE=1 500/80 ms,视野=230 mm×230 mm,矩阵=128像素×128像素,层厚5 mm,层间距1 cm,连续扫描50次,在第5次扫描后立刻经静脉插管快速推注钆-喷酸葡甲胺(Gd-DTPA)0.1 mmol/kg,速度5 ml/s,紧接着静脉推注相同体积的生理盐水。PWI扫描完成后,每1个扫描层面采集50幅连续的图像,成像时间1 min 20 s。这些图像被用于脑血流灌注分析,图像处理在AW4.4工作站进行,采用Functool软件包进行处理,采集数据得到相对脑血流量(relative cerebral blood flow,rCBF),相对脑血容量(relative cerebral blood volume, rCBV),平均通过时间(mean transit time,MTT),达峰时间(time to peak,TTP)。在扫描产生的18个层面中,分别选取前额叶大脑前动脉供血区(anterior cerebral artery, ACA)、双侧大脑中动脉供血区(middle cerebral artery, MCA)、双侧基底节区(basal ganglia, BSGL)所在平面。在基底节平面的基底节区,双侧各选取1个感兴趣区(regions of interest, ROI),反映小血管及大多数终末血管灌注情况,在大脑中动脉血流灌注区,双侧各选取3个ROI,反映大脑中动脉血流灌注情况,在前额叶,双侧各选取1个ROI,反映大脑前动脉血流灌注情况,ROI图形所达到的测量准确性取决于各种因素,特别是所测量ROI的大小。图形(例如椭圆)的旋转角度也会影响准确性。本研究所取ROI采用圆形和椭圆形,不用手工绘制,采用镜像对称的方法取对侧ROI,保证双侧对称,减少系统误差,所取ROI面积大于0.4 cm^2,620个像素。采集所选各层图像的ROI获取rCBF、rCBV、TTP和MTT的参数值,ROI置于皮质白质交界处(尽量避开梗死或出血灶)[4]。见图1。



A：基底节区选取ROI；B：大脑中动脉区选取ROI；C：大脑前动脉区选取ROI；D：大脑中动脉区选取ROI的时间-信号强度曲线；E：rCBF参数图，F：rCBV参数图；G：MTT参数图；H：TTP参数图

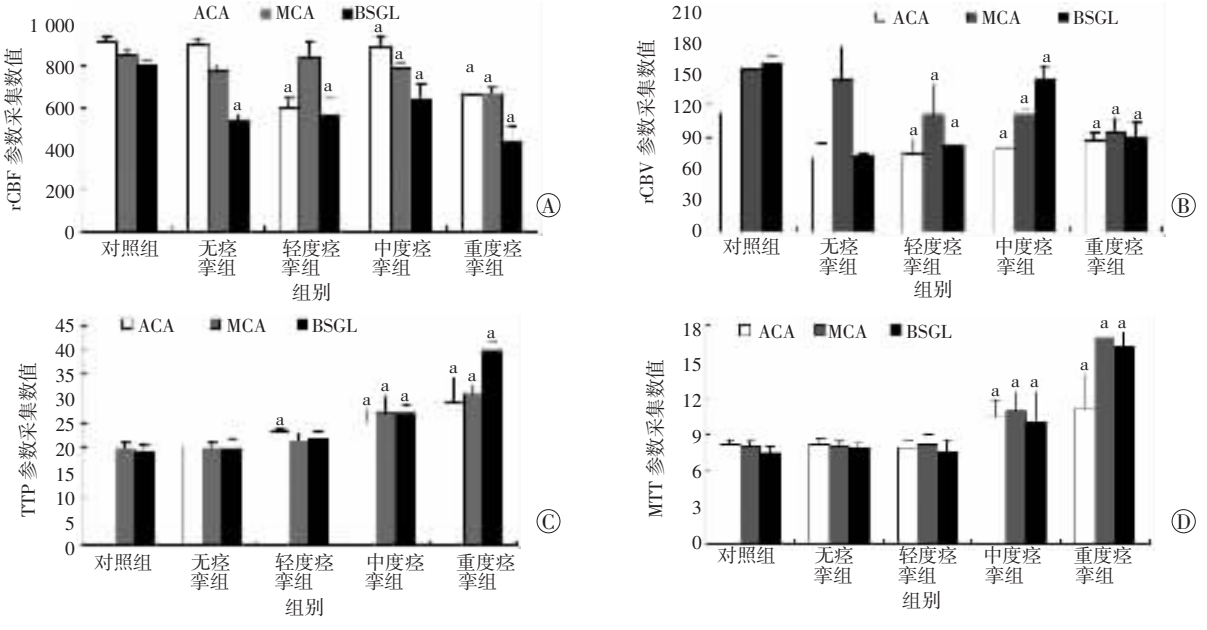
图1　所选各层图像的ROI及rCBF、rCBV、TTP和MTT的参数图

1.4　统计学方法

采用SPSS 13.0统计软件，数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示，各组间数据比较行Kruskal-Wallis H 检验和Spearman等级相关分析。

2　结果

完成相关检查时，26例患者已行介入栓塞治疗，10例患者已行动脉瘤夹闭术治疗，2例患者完成检查时未行手术治疗。手术与否的相应病例数相差太大，无法进行统计学比较。对照组行DSA检查，测出各段血管直径，统计分析得出其平均值，C1 = (4.4 ± 0.4) mm，C2 = (4.0 ± 0.1) mm，M1 = (1.8 ± 0.2) mm，M2 = (1.3 ± 0.1) mm，A1 = (1.5 ± 0.3) mm，A2 = (1.2 ± 0.2) mm。根据CVS判定标准，38例SAH患者中，至少发生1条血管痉挛28例（轻度血管痉挛9例，中度血管痉挛10例，重度血管痉挛9例），无血管痉挛10例。按血管痉挛程度，将研究对象分成5组：对照组、SAH无痉挛组、SAH轻度痉挛组、SAH中度痉挛组、SAH重度痉挛组。采用PWI检查采集各组双侧ROI的参数，采集的rCBF、rCBV、MTT及TTP参数在各组间的比较见图2。在轻中度痉挛组，各区域rCBF及rCBV参数有增加和减少现象存在。在基底节区rCBF无痉挛组较对照组也有所减少（$P < 0.05$）。痉挛组MTT及TTP与对照组比较，差异有统计学意义（$P < 0.05$）。MTT及TTP呈线性增加趋势（$P < 0.01$）。



a：$P < 0.05$，与对照组比较　A：rCBF；B：rCBV；C：TTP；D：MTT

图2　rCBF、rCBV、TTP和MTT参数在各组间的比较

将各组ACA、MCA和基底节区的PWI检查采集所得灌注参数，包括rCBF、rCBV、TTP和MTT参数纳入统计学分析。各痉挛组采集患侧参数，对照组和非痉挛组采集双侧参数。采用Spearman等级相关检验。痉挛组rCBF及rCBV与对照组比较，差异有统计学意义（$P<0.05$），随着脑动脉痉挛程度的加重，患侧rCBF及rCBV与脑痉挛程度呈负相关，重度痉挛组较对照组rCBF明显减少（$P<0.05$）。重度痉挛组TTP分别较对照组和无痉挛组明显延迟，有明显等级相关性（$P<0.05$）。见表1。

表1 rCBF、rCBV、MTT及TTP与CVS程度的Spearman相关系数

区域	rCBF	rCBV	MTT	TTP
ACA	-0.356^{a}	-0.380^{b}	0.661^{b}	0.489^{b}
MCA	-0.197^{a}	-0.185^{a}	0.310^{b}	0.473^{b}
BSGL	-0.331^{b}	-0.215^{b}	0.583^{b}	0.730^{b}

a：$P<0.05$，b：$P<0.01$

3 讨论

CVS是动脉瘤破裂所致SAH最严重的并发症之一，常引起严重局部脑组织缺血或迟发性缺血性脑损害，甚至导致脑梗死，成为致死和致残的主要原因。因此在动脉瘤破裂所致SAH发生后进行血管和血流动力学评估就十分重要。本研究通过DSA和PWI检查相结合，评价动脉瘤破裂所SAH患者出血后1周左右的颅内血流动力学情况，包括颅内大动脉解剖结构以及脑各项血流灌注参数，对患者下一步的诊治和预后有重要参考价值。

DSA是诊断CVS的金标准，最主要的优势在于它的准确性及治疗性[5]。目前在动脉瘤患者中，DSA是重要的检查和治疗措施，脑血管造影可以准确显示CVS的部位、程度、颅内侧支循环状况，其空间分辨率为100 μm，而在实际的临床应用中，一般只能评价300 μm以上的较大动脉，因而脑血管造影并不能反映向脑组织直接供血的微血管灌注情况。对于解剖学上的血管痉挛，DSA的诊断是直接的，但是对脑血流量以及导致脑缺血的危险性的定量分析，其能力有限。

由于MRI扫描速度的提高，如多重回波、梯度回波（GRE）和平面回波（EPI）等新的成像方法使得扫描时间缩短近100倍，且空间分辨率、信噪比无明显下降。特别是EPI技术的应用使定量测量脑组织血流灌注已成为现实。PWI通过观察灌注成像造成的T2衰减可以间接体现脑组织的血液供应情况，区分局部低灌注的程度[6]。

PWI可以得出的血流动力学参数包括rCBV、rCBF、MTT及TTP，其中rCBV代表局部脑组织中血液充盈的容量，rCBF代表通过局部脑组织的血液流量，MTT反映血液一次通过某一区域脑组织所用的时间，TTP则代表造影剂在特定区域脑组织中达到峰值所需要的时间[7]。通过综合分析这些参数可以掌握组织血液供给的具体情况：①灌注不足：MTT明显延长，rCBV减少，rCBF明显减少；②侧支循环信息：MTT延长，rCBV增加或尚可；③血流再灌注信息：MTT缩短或正常，rCBV增加，rCBF正常或轻度增加；④过度灌注信息：rCBV与rCBF均显著增加。当脑局部灌注压下降时，脑组织可以通过一定的自我调节机制使局部血管床扩张以增加血容量来代偿。这时我们可以通过rCBF和MTT来了解局部组织的灌注情况[8]。本研究结果显示，CVS发生后，在轻、中度痉挛组中，各组间rCBF及rCBV统计结果虽有统计学差异，但在图2可以看出，在轻、中度痉挛组，各区域的rCBF及rCBV有上升也有减少，表明过度灌注和持续的灌注不足可同时存在。CVS后脑血管自身扩张代偿的能力也使得脑血流灌注表现出多样性。另外，CVS是动态的过程，随着时间及脑血流动力而改变，DSA发现的痉挛不一定代表脑血管的最大痉挛程度。基底节大多数由穿支血管供血，血管管径细小，没有DSA可见的脑血管痉挛，没有足够的侧支循环，血管自身调节能力较差，容易发生微血管痉挛，导致基底节腔隙性梗死的发生。本研究中，SAH患者基底节rCBF及rCBV较对照组明显降低，与Blasel等[9]的研究结果相符，说明即使没有DSA可见的CVS，也可能有微血管痉挛存在。

正常生理状态下，rCBF是由局部脑动脉灌注压和局部脑血管循环阻力决定的，局部脑动脉灌注压下降时，脑血管代偿性扩张，血管循环阻力降低，以利于维持正常rCBF。此时rCBV/rCBF增高，但脑组织的血液供应仍维持在正常水平。局部脑动脉灌注压继续下降，此时血管扩张已经达到最大程度，代偿性血管扩张可能失代偿，但脑血流量达到最大后开始下降，此时rCBV仍然高于正常水平，rCBV/rCBF明显增高，大脑的氧吸收系数增加以维持正常的能量代谢。在此阶段，脑缺血区域尚未产生不可逆性损伤，如果脑组织的血液供应进一步下降，脑血管扩张失代偿，脑血管塌陷，rCBF和rCBV下降，不足以维持正常的细胞代谢与功能，脑组织缺血可能会产生不可逆损伤。rCBV/rCBF在脑组织缺血的最初阶段即发生变化，所以rCBV/rCBF被认为是一个比较敏感的脑缺血指征，它相当于平均通过时间MTT[10]。TTP是非常敏感的脑缺血指征，脑组织存在丰富的侧支循环网，一旦局部

脑组织血管发生痉挛,其侧支循环即产生代偿作用,侧支循环往往较正常血供路径长,从而TTP也相应的延长;另一方面,侧支循环的血流速度较缓慢也是TTP延长的一个原因[11]。MTT及TTP延长也与脑动脉狭窄或闭塞造成的局部脑动脉灌注压下降有关,局部脑动脉灌注压下降,脑血管将代偿性扩张以维持正常的脑血流量。因此,如果脑血管扩张而脑血流量维持不变,那么血液流速必然下降,脑灌注的MTT和TTP延长。本研究结果显示,3组CVS患者各个区域的MTT和TTP均明显延长,特别是重度痉挛组延长明显,可见CVS主要影响脑灌注的充盈时间,使脑组织处于因血流动力学障碍导致梗死的危险之中,与有关研究结果相符[2]。MTT和TTP是较为敏感的检测脑血流动力学的指标。

CT灌注成像(CTP)是较早期应用于脑血流动力学研究的检查方法之一。相关研究表明rCBV、rCBF、MTT等参数的变化与脑血管痉挛相关[12-13]。Wintermark等[14]对13例患者行CTP与PWI检查比较,认为两种检查方法具有良好的一致性。但CTP存在对比剂副作用及射线辐射且昂贵等问题,而且扫描层数较少。单光子发射计算机体层成像(SPECT)在判断CVS致脑缺血方面较DSA的敏感性高,但SPECT在探测SAH后CVS时存在假阴性和假阳性。Ohtonari等[15]通过SPECT和PWI的对比研究认为,SPECT不能检测早期的脑血管痉挛,PWI能较好的反映早期局部缺血变化。随着技术的发展,PWI这种无辐射、相对无创的检查手段会有很好的应用前景。

PWI检查是一种实用的血流动力学检测技术,但由于相关计算方法中组织相关系数K不确定等因素,目前尚不能获得rCBV和rCBF的绝对值。因此我们采用工作站获取的相对值进行分析研究。另外,还有如下几个问题需要注意:①我们采用静脉造影剂团注的方法,经过肺循环后到达脑组织,对脑灌注分析造成一定影响。②本研究中采集的rCBF、rCBV个别数值差异较大,造成个别组标准差较大。③Gd-DTPA在血液中的半衰期较长,可反复循环进入受检组织,这是造成信号-时间曲线漂移的一个重要原因。

总之,DSA对于显示动脉狭窄的程度、部位及侧支循环代偿情况是目前最准确的方法,PWI在评价脑循环血流动力变化方面有重要的作用,两者相结合不但可以显示血管的形态变化,还可以反映脑内血流动力学的功能变化,对于动脉瘤破裂所致SAH后CVS的发生、发展和血流动力学改变的评估具有重要的临床意义。

参考文献:

[1] Dorsch N W, King M T. A review of cerebral vasospasm in aneurysmal subarachnoid haemorrhage Part I: Incidence and effects[J]. J Clin Neurosci, 1994, 1(1): 19-26.

[2] Weidauer S, Lanfermann H, Raabe A, *et al*. Impairment of cerebral perfusion and infarct patterns attributable to vasospasm after aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a prospective MRI and DSA study[J]. Stroke, 2007, 38(6): 1831-1836.

[3] Hattingen E, Blasel S, Dettmann E, *et al*. Perfusion-weighted MRI to evaluate cerebral autoregulation in aneurysmal subarachnoid haemorrhage[J]. Neuroradiology, 2008, 50(11): 929-938.

[4] Pascual A M, Lopez-Mut J V, Benlloch V, *et al*. Perfusion-weighted magnetic resonance imaging in acute intracerebral hemorrhage at baseline and during the 1st and 2nd week: a longitudinal study[J]. Cerebrovasc Dis, 2007, 23(1): 6-13.

[5] Eskridge J M, McAuliffe W, Song J K, *et al*. Balloon angioplasty for the treatment of vasospasm: results of first 50 cases[J]. Neurosurgery, 1998, 42(3): 510-516.

[6] Rordorf G, Koroshetz W J, Copen W A, *et al*. Regional ischemia and ischemic injury in patients with acute middle cerebral artery stroke as defined by early diffusion-weighted and perfusion-weighted MRI[J]. Stroke, 1998, 29(5): 939-943.

[7] Nighoghossian N, Berthezene Y, Philippon B, *et al*. Hemodynamic parameter assessment with dynamic susceptibility contrast magnetic resonance imaging in unilateral symptomatic internal carotid artery occlusion[J]. Stroke, 1996, 27(3): 474-479.

[8] 王秀河, 黄力. 磁共振诊断早期脑缺血的新技术进展--弥散加权成像及灌注加权成像(综述)[J]. 暨南大学学报:自然科学与医学版, 2000, 21(6): 112-116.

[9] Blasel S, Hattingen E, Dettmann E, *et al*. Assessment of regional cerebral blood flow and blood volume after aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. Clin Neuroradiol, 2008, 18(4): 237-243.

[10] 刘悦, 张苗, 毕齐. 灌注磁共振结合脑血管造影评估短暂性脑缺血发作[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2008, 10(8): 607-609.

[11] Condette-Auliac S, Bracard S, Anxionnat R, *et al*. Vasospasm after subarachnoid hemorrhage: interest in diffusion-weighted MR imaging[J]. Stroke, 2001, 32(8): 1818-1824.

[12] 柴伟娜, 孙晓川, 吕发金, 等. CT灌注成像在蛛网膜下腔出血后脑微循环改变中的临床应用研究[J]. 第三军医大学学报, 2010, 32(4): 391-394.

[13] Lanterna L A, Lunghi A, Martchenko S, *et al*. Cerebral watershed hypoperfusion in subarachnoid hemorrhage: computed tomography perfusion analysis[J]. J Neurosurg, 2010, 17 [Epub ahead of print]

[14] Wintermark M, Reichhart M, Cuisenaire O, *et al*. Comparison of admission perfusion computed tomography and qualitative diffusion- and perfusion-weighted magnetic resonance imaging in acute stroke patients[J]. Stroke, 2002, 33(8): 2025-2031.

[15] Ohtonari T, Kakinuma K, Kito T, *et al*. Diffusion-perfusion mismatch in symptomatic vasospasm after subarachnoid hemorrhage[J]. Neurol Med Chir (Tokyo), 2008, 48(8): 331-336.

(收稿 2010-11-04 修回 2010-11-25)

(编辑 邓强庭)