

PC-MRI对脑脊液循环的研究价值

深圳大学第一附属医院(深圳市第二人民医院)放射科 雷 益

近年来,随着MRI扫描技术的发展,形态影像学研究能直观的了解患者脑室扩大及大脑皮质萎缩的程度,而相位对比磁共振电影(phase-contrast magnetic resonance imaging, PC-MRI)在不需注入对比剂的前提下可无创、精确地测量出脑脊液流动的速度、方向及流量等数值,为研究脑脊液循环(cerebral spinal fluid circulation, CSF)异常提供了有效的依据,用MRI技术测量脑脊液循环各参数可成为判断脑积水患者预后的一个重要指标。

1 PC-MRI扫描技术的原理与应用

相位对比技术可分为二维相位对比成像(two dimension phase contrast, 2D-PC)、三维相位对比成像(three dimension phase contrast, 3D-PC)以及相位对比磁共振电影成像技术(Cine phase contrast, Cine PC)。2D-PC成像时间短,但其容积效应较大,且提供的信息少(只有平均流量和平均速度值)^[1];3D-PC部分容积效应较小,图像清晰度较高,但该序列总扫描时间较长,临幊上应用亦不多。现在临幊上应用最广泛的是磁共振电影成像技术,它在2D-PC的基础上通过选择外周或心电门控、呼吸补偿、流动补偿及无相位折叠等技术显示流体在一个正常的心动周期内动力学的改变,并通过分析软件Argus得出峰值流速、平均流速、流量、净流量等相关参数信息。

相位对比磁共振电影成像技术原理:是由位相相反的两极流动梯度磁场对组织进行两次不同的流动编码图像采集。流动质子在流动梯度磁场中产生相位位移,此相位位移和质子编码方向上的流动呈正相关,而像素的信号强度又与相位位移成正相关,因此像素的强度变化可表现为流速的改变。若流体与预设的流动编码方向一致,像素显示为白色,且信号的强度与流图速度成正比,流速越快,信号越亮;相反为黑色,流速越快,信号越暗;根据此原理,通过PC-MRI检查可提示液体的流动方向。流动梯度磁场对静止组织无作用,所以其两次图像采集相同,像素表现为灰色信号。PC-MRI通过相位对比与门控相结合,使流体相位位移与时间结合,从而得到流体的实时流速;利用PC-MRI技术可对脑脊液流动的速度、方向及流量进

行一系列的研究^[2]。

PC-MRI的图像采集后经Argus分析软件后处理得出两种信息:一是幅值图(也称解剖图),其可准确地反映出测量区域的解剖结构;另一种是相位图,其内包含流体流速流量的相关信息,且信号的强度与流图速度成呈线性关系,两者的公式为: $\Delta\phi = \Delta m \times r \times v^{[3]}$ ($\Delta\phi$ 表示相位差, r 表示磁旋比, Δm 表示某一时刻的梯度-时间曲线)。从公式中可见流速越快,相位差越大,流速与相位差呈正相关。

相位对比磁共振电影成像技术在临幊上的应用越来越广泛,为临幊干预、评估预后疗效提供重要参考信息。其中包括:1.用于心脏的MR成像,通过测量心排出量、冠状动脉流速及流量等参数,从而评价心功能及血管血流的情况;亦能用于心脏病患者术后的疗效的评估^[4]。2.用于定量测量头颈部血液流速、流量等血流动力学参数。PC-MRI可以通过对狭窄的颈部血管、血管畸形等血流动力学的评断,来指导手术方式进行并可以用于术后疗效的评估^[5]。3.用于测量脑脊液流速、流量等动力学参数,评价多种先天性及获得性疾病的脑脊液动力学参数变化,为手术方案的选择及预后评价提供重要信息。

2 正常脑脊液循环的原理与机制

从20世纪40年代开始就有学者对脑脊液循环开展了一系列的研究,普遍认为脑脊液流动有2种形式;一是团流理论:脑脊液由脉络丛产生后,依次通过三脑室、中脑导水管、四脑室,然后从第四脑室的正中孔和两侧孔进入蛛网膜下腔。随后在脊髓蛛网膜下腔内经脊髓背侧下行至终池,再转向脊髓前面并向上流动,经基底池至脑表面的蛛网膜下腔内,最后被吸收入血。另一观点是搏动理论:心脏收缩时,动脉血流量增多,从而使脑动脉充血扩张,导致脑组织的膨胀,而因为颅骨的存在,脑组织不能无限制的向外膨胀,则脑组织向内压迫脑室系统,使脑脊液经中脑导水管向下流动,从而缓冲升高的颅压;心脏舒张时,血液流出增多,脑血流量减少,引起脑组织回缩,脑室系统扩张,此时脑室压力降低,脑脊液又经导水管向上回流至脑室系统,从而维持颅压。颅骨完整的情况下,每个心动周期内脑容量、颅内动静脉血量、脑

脊液总量三者的动态平衡是维持颅压恒定的基础。而心动周期内脑血容量的改变是CSF流动的主要动力来源。

近年来大量研究证实脑脊液循环呈波动样流动。在一个心动周期内中脑导水管的脑脊液呈“双向”搏动，Q-Flow显示速度曲线类似正弦函数型^[6]。脑脊液电影成像以心脏收缩期的R波为基点，脑脊液从中脑导水管头侧流向尾侧，脑脊液流速从零开始逐渐增大，当流速达到最大值后，脑脊液向尾侧流动的流速逐渐减慢，直至为零。随后，在心脏舒张期，脑脊液流动的方向发生改变，从中脑导水管尾侧流向头侧，流速从零开始逐渐增大达到最大流速后又逐渐减为零；此时心脏运动刚好又回到第二个R波的位置，则在一个心动周期内脑脊液于中脑导水管内呈规律性的往返流动，所以Q-Flow流速时间曲线呈类正弦函数样“双向型”。

3 交通性脑积水脑脊液循环的特点：

交通性脑积水主要是由于脑脊液吸收障碍或脑脊液分泌过多而导致脑脊液在脑室系统的存量不断增加。脑膜炎或外伤性脑出血可导致脑底机化及纤维粘连，若病变范围累及大脑表面和蛛网膜颗粒，可引起脑脊液吸收障碍，导致颅内脑脊液的增加，进而引起脑室扩大^[7]。

常规头颅CT或MRI可显示脑室系统呈不同程度的扩大，而中脑导水管是通畅的。研究发现大部分交通性脑积水患者其中脑导水管处脑脊液流速较正常人增快，流量增加。Luetmer等^[8]利用PC-MRI技术测量236例患者，发现中脑导水管处脑脊液流率明显增高。

正常人在心脏收缩时动脉血流入脑内，引起脑组织向内（脑室）和向外（颅板）膨胀，脑组织向内膨胀时使脑室受压，使CSF从导水管头侧流向尾侧；在心脏舒张时，颅内血液流出，颅内压降低，因压力差的缘故脑脊液反流回侧脑室和第三脑室，使CSF从导水管尾侧流向头侧。Bradley等认为交通性脑积水患者脑室系统扩大，颅内压增高，脑组织同时向外（颅板方向）膨胀；当心脏收缩时脑组织向外（颅板方向）膨胀的空间和程度变小，此时脑组织主要向内膨胀挤压侧脑室和第三脑室，因此脑室系统压力增加，所以收缩期CSF从中脑导水管流出量增多，流速亦明显增快，流速可达正常人的10倍。随着病情进展，脑室进一步的扩大，脑室旁脑脊液的渗出使脑室旁小血管硬化、闭塞，使脑血流减少；心脏收缩时脑组织膨胀减弱，对脑室的挤压压力减少，CSF从导水管流出量可以正常

或减少^[9]。

4 梗阻性脑积水脑脊液循环的特点

正常中脑导水管的直径约2~3mm，中脑导水管狭窄是梗阻性脑积水最常见的病因。PC-MRI可直观地显示脑脊液循环流动的情况，能准确的区分患者的脑积水类型（交通性脑积水抑或是梗阻性脑积水），并能精确的显示导水管狭窄的程度。PC-MRI检查是目前脑脊液循环动力学评判的“金标准”。

当中脑导水管不全梗阻时，PC-MRI仍可见导水管区脑脊液呈搏动性流动，但脑脊液搏动较正常减弱。心脏收缩期CSF从导水管上段流向下段，轴位相呈高信号；舒张期CSF从导水管下段流向上段，轴位相呈低信号；Q-Flow速率曲线与正常人大致相似，呈类正弦函数样波型；但在一个正常心动周期内其峰值流速、平均流速及流量均较正常人低。当中脑导水管完全梗阻时，PC-MRI矢状位及横轴位相位图均难以观察到脑脊液的流动，未能显示出高低信号的互换。此时，原“双向性”流速曲线消失，Q-Flow速率曲线波形异常，脑脊液流速明显减慢，流量减小，呈围绕基线上下波动的特点。

5 第三脑室底造瘘术后瘘口脑脊液循环的特点

内镜下第三脑室底造瘘术（ETV，endoscopic third ventriculostomy）创伤小、并发症少，是目前有效治疗梗阻性脑积水的新型方法之一。ETV可重塑脑脊液循环的生理通道，通过术后瘘管建立起新的脑脊液循环通路，使脑脊液从第三脑室直接进入脚间池，随后流入脑和脊髓的蛛网膜下腔，最后被蛛网膜颗粒吸收入血。ETV能分流术为患者的脑脊液流通建立新的分流通道，有效地维持颅内压力的平衡及脑脊液的正常生理功能。

第三脑室底造瘘口脑脊液流动形式与正常人相似：呈周期搏动样流动。心脏收缩期脑脊液从瘘管口上端流向下方，舒张期脑脊液从瘘管口下端流向上方，在一个心动周期内脑脊液的净流动方向向下（从瘘管口上端流向下方）。

所以我们可通过第三脑室瘘口的脑脊液循环流速流量的定量分析来评判ETV手术的效果。由于脑脊液通过第三脑室瘘口的阻力较正常中脑导水管口低，故通过第三脑室造瘘口时脑脊液流动的搏动性可更为明显，所有造瘘术成功的患者其心动周期内脑脊液速率曲线均为典型的双向型。正常人在一个心动周期内，心脏的舒张间期受外界的影响较大，舒张期的长短波动范围较大；而收缩期相对受影响较小，所以以收缩

期脑脊液流动的各参数进行统计学分析更为合适。

PC-MRI对脑脊液循环的研究具有较大的临床应用价值,可较准确地判断脑积水的病理类型,推测脑积水患者的临床预后,并通过定量分析来评判ETV手术的效果。

参考文献

- [1] Lotz J, Doker R, Noeske R, et al. In vitro validation of phase-contrast flow measurements at 3T in comparison to 1.5T: precision, accuracy, and signal-to-noise ratios[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2005, 21(5): 604–610.
- [2] 尚华, 刘怀军, 耿左军, 等. 应用3.0T MR相位对比成像定量研究中脑导水管脑脊液流动的性别和年龄差异[J]. 河北医药, 2011, 33(6): 835–836.
- [3] Lotz J, Meier C, Leppert A, et al. Cardiovascular flow measurement with Phase-contrast MR imaging: basic facts and implementation[J]. *Radiographics*, 2002, 22(3): 651–671.
- [4] Carlsson M, Andersson R, Bloch KM, et al. Cardiac output and cardiac index measured with cardiovascular magnetic resonance in healthy subjects, elite athletes and patients with congestive heart failure[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2012, 14(1): 51.
- [5] Yamashita S, Isoda H, Hirano M, et al. Visualization of hemodynamics in intracranial arteries using time-resolved three-dimensional phase-contrast MRI[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2007, 25(3): 473–478.
- [6] 姚伟武, 陈星荣, 沈天真, 等. 正常脑脊液循环的MRI定量研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2001, 7(5): 289–294.
- [7] 万勇, 胡继良, 吴耀晨, 等. 正常压力性脑积水[J]. 医学综述, 2004, 10(4): 236–238.
- [8] Luetmer PH, Huston J, Friedman JA, et al. Measurement of cerebrospinal fluid flow at the cerebral aqueduct by use of phase-contrast magnetic resonance imaging: technique validation and utility in diagnosing idiopathic normal pressure hydrocephalus [J]. *Neurosurgery*, 2002, 50(3): 543–544.
- [9] Scollato A, Tenenbaum R, Bahl G., et al. Changes in aqueductal CSF stroke volume and progression of symptoms in patients with unshunted idiopathic normal pressure hydrocephalus[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2008, 29(1): 192–197.

【收稿日期】2015-02-09

*主要学术兼职介绍

雷益,主任医师、教授、硕导。毕业于同济医科大学,主要研究方向为神经系统影像诊断。现任深圳大学第一附属医院放射科主任、深圳市放射专业学会副主任委员、广东省放射专业学会委员、《放射学实践》杂志编委。

结节性硬化症的临床及影像学特点

广东医学院附属深圳市第三人民医院放射科 陆普选

结节性硬化(tuberous sclerosis, TS)又名Bourneville's disease、Epiloia、Pringle's病、Bourneville-Pringles母斑症、结节性脑硬化综合征。Virchows(1860)首先在患者大脑皮质发现有硬结,1862年由Von Recklinghausen首次报道,1880年Bourneville首次详细论述了本病,描述其大体神经病理学表现,并正式命名为TS。1908年Heinrich发现TS与面部皮脂有联系,因此,把癫

痫、智力障碍及皮脂腺瘤称为Vogt三联症。

1 临床特点及病理变化

本病是一种罕见的组织发育紊乱的先天性的常染色体显性遗传性疾病,与染色体9q34和16p13-3基因位点有关,归类于神经皮肤综合征(亦称斑痣性错构瘤病)。发病率约为1/1.2万~1/0.6万^[1]。发病年龄0~15岁,多数在10岁以下,男性发病多于女性^[2],男女比例为2~3:1。智力低下、癫痫和面部皮肤皮