

脑脊液自旋标记 MRI 对脑室间连接结构的解剖形态及脑脊液流动状态的评估

王玲 史大鹏 王莹 刘丽亚 申皓

【摘要】 目的 运用脑脊液自旋标记 MRI 技术评估脑室间通路的解剖形态及脑脊液流动状态。**方法** 按照报名顺序随机选择 50 名正常志愿者采用时-空标记的反转恢复单次激发自旋回波序列 (SLIR-SSFSE) 标记内源性脑脊液, 观察脑室间连接结构的解剖形态和其内脑脊液的流动方向, 并利用多次测量求平均值的方法分别测量和计算出受试者的室间孔、中脑导水管及第四脑室正中孔及双侧外侧孔的纵径和横径, 根据不同 TI 时间内脑脊液在脑室间连接结构的流动距离计算脑脊液的流速。**结果** 室间孔、中脑导水管、第四脑室正中孔和外侧孔内脑脊液均呈双向流动状态; 室间孔冠状面呈位于两侧丘脑前内侧和穹窿之间的管状结构, 向上与两侧侧脑室相通, 向下与第三脑室相续, 呈“Y”型。左侧室间孔纵径 3.50 ~ 5.50 mm, 平均 (4.37 ± 0.47) mm, 横径 1.00 ~ 1.40 mm, 平均 (1.21 ± 0.13) mm; 右侧室间孔纵径 4.20 ~ 4.80 mm, 平均 (4.42 ± 0.20) mm, 横径 1.00 ~ 1.60 mm, 平均 (1.21 ± 0.19) mm; 矢状面呈上下斜行的细管状影, 两室间孔间夹角为 55° ~ 58°; 左侧室间孔向足侧流速为 1.61 ~ 2.52 mm/s, 平均 (2.00 ± 0.17) mm/s, 右侧室间孔向足侧流速 1.93 ~ 2.20 mm/s, 平均 (2.03 ± 0.09) mm/s; 中脑导水管矢状面呈贯穿中脑的弧形管状结构, 中脑导水管纵径 9.90 ~ 17.30 mm, 平均 (15.51 ± 1.70) mm, 横径 1.70 ~ 2.30 mm, 平均 (1.92 ± 0.17) mm; 中脑导水管向足侧流速 5.00 ~ 8.74 mm/s, 平均 (7.84 ± 0.86) mm/s, 向头侧流速 3.84 ~ 6.71 mm/s, 平均 (6.01 ± 0.66) mm/s; 第四脑室正中孔矢状面呈分叉样管状结构, 向前分叉细小与延髓中央管相通, 向下直行与小脑延髓池相续, 两外侧孔冠状面呈“八”形, 自第四脑室外侧角向外下与小脑延髓池相续, 左外侧孔纵径 6.30 ~ 14.60 mm, 平均 (10.42 ± 2.88) mm, 横径 1.00 ~ 1.50 mm, 平均 (1.24 ± 0.18) mm; 右外侧孔纵径 6.20 ~ 15.50 mm, 平均 (12.13 ± 3.05) mm, 横径 1.00 ~ 1.40 mm, 平均 (1.19 ± 0.13) mm, 两外侧孔间夹角为 87° ~ 114°; 左外侧孔向足侧流速 2.89 ~ 6.70 mm/s, 平均 (4.78 ± 1.32) mm/s, 右外侧孔向足侧流速 2.84 ~ 7.11 mm/s, 平均 (5.56 ± 1.40) mm/s。**结论** 脑脊液自旋标记 MRI 可以反映脑室间通路的解剖形态, 并可实时评估脑脊液的流动状态。

【关键词】 脑脊液; 脑室; 磁共振成像; 解剖

Assessment of anatomic morphology of the connective structures among brain ventricles and cerebrospinal fluid movement in them by cerebrospinal fluid spin-labeling MRI WANG Ling*, SHI Da-peng, WANG Ying, LIU Li-ya, SHEN Hao. *Department of Radiology, People's Hospital of the Henan Province, Zhengzhou 450003, China
Corresponding author: SHI Da-peng, Email: shihn1956@126.com

【Abstract】 Objective To assess the anatomic morphology of the connective structures among brain ventricles and cerebrospinal fluid (CSF) movement in them by CSF spin-labeling MR imaging. **Methods** According to the order of registration, 50 healthy volunteers were randomly selected and received cerebrospinal fluid spin-labeling MR scan with time-spatial labeling inversion recovery single-shot fast spin echo sequence (SLIR-SSFSE). The tagged CSF was used as an endogenous tracer. The anatomic morphology of the connective structures of brain ventricles and the flow direction of CSF were observed. The longitudinal diameter and transverse diameter of bilateral foramina of monro, midbrain aqueduct, and the central and bilateral lateral apertures of the fourth ventricle of each subject were measured and calculated based on multiple measurements. The flow rate of CSF was calculated based on the flow distance of CSF in

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.03.004

作者单位: 450003 郑州, 河南省人民医院放射科 (王玲、史大鹏、王莹), 设备科 (刘丽亚); GE 中国公司 (申皓)
通信作者: 史大鹏, Email: shihn1956@126.com

the connective structures between brain ventricles during different TI time. The mean value of each indicator was acquired. **Results** Two-way flow state of CSF was observed in all connective structures, including bilateral foramina of monro, midbrain aqueduct, and the central and bilateral lateral apertures of the fourth ventricle. On the coronal planes, foramen of monro appears as a "Y"-type tubular structure locating among the both sides of the anteriomedial thalamus and fornix, which connect upward with bilateral lateral ventricles and downward with the third ventricle. The longitudinal diameter and transverse diameter of the left side of foramen of monro were 3.50—5.50 mm [mean (4.37 ± 0.47) mm] and 1.00—1.40 mm [mean (1.21 ± 0.13) mm], respectively. The longitudinal diameter and transverse diameter of the right side of foramen of monro were 4.20—4.80 mm [mean (4.42 ± 0.20) mm] and 1.00—1.60 mm [mean (1.21 ± 0.19) mm], respectively. On the sagittal planes, foramen of monro appeared as an oblique fine tubular structure with the angle of 55°—58° between the both sides. CSF flow velocity towards the foot was 1.61—2.52 mm/s [mean (2.00 ± 0.17) mm/s] in the left side of foramen of monro and 1.93—2.20 mm/s [mean (2.03 ± 0.09) mm/s] in the right side of foramen of monro. On the sagittal planes, midbrain aqueduct appeared as a curved tubular structure through diencephalon, with the longitudinal diameter of 9.90—17.30 mm [mean (15.51 ± 1.70) mm] and the transverse diameter of 1.70—2.30 mm [mean (1.92 ± 0.17) mm]. In midbrain aqueduct, CSF flow velocity towards the foot was about 5.00—8.74 mm/s [mean (7.84 ± 0.86) mm/s] and towards the head was about 3.84—6.71 mm/s [mean (6.01 ± 0.66) mm/s]. On the sagittal plane, the central apertures of the fourth ventricle appeared as a fork-like tubular structure, with a small bifurcation forward to the central canal of the medulla oblongata and a posterior branch downward to cerebellomedullary cistern. On the coronal plane, lateral apertures of the fourth ventricle appeared as curved tubular structures connecting the lateral horn of the fourth ventricle and cerebellomedullary cistern. The longitudinal diameter and transverse diameter of the left lateral aperture were 6.30—14.60 mm [mean (10.42 ± 2.88) mm] and 1.00—1.50 mm [mean (1.24 ± 0.18) mm], respectively; of the right lateral aperture, they were 6.20—15.50 mm [mean (12.13 ± 3.05) mm] and 1.00—1.40 mm [mean (1.19 ± 0.13) mm], respectively. The angle range between the left and right lateral aperture was from 87° to 114°. CSF flow velocity towards the foot was about 2.89—6.70 mm/s [mean (4.78 ± 1.32) mm/s] in the left lateral aperture and 2.84—7.11 mm/s [mean (5.56 ± 1.40) mm/s] in the right lateral aperture. **Conclusions** CSF spin-labeling MR imaging could display the anatomic morphology of the connective structure among brain ventricles and could be used for noninvasively assessing CSF movement.

【Key words】 Cerebrospinal fluid; Cerebral ventricles; Magnetic resonance imaging; Dissection

脑室间连接结构是脑脊液循环通路的重要组成部分,除中脑导水管的解剖形态和脑脊液流动状态已有报道外^[1-3],对室间孔、第四脑室正中孔及两外侧孔解剖及生理信息知之甚少。笔者尝试采用脑脊液自旋标记时-空标记的反转恢复单次激发自旋回波 (time-spatial labeling inversion recovery single spot spin echo, SLIR-SSFSE) 序列观察正常人脑室间连接结构的解剖形态及其内脑脊液流动状态^[4],为全面了解脑脊液循环通路的解剖生理状态提供影像依据。

资料与方法

一、研究资料

按照报名的先后顺序随机选择 2010 年 2 月至 5 月期间郑州市金水区社区招募的正常志愿者 50 名,男 30 名,女 20 名,年龄 20~45 岁,中位年龄 38 岁,所有受试者身体健康,无神经系统症状及既往史。研究前每名受试者均被告知试验内容,签署知情同意书,并经医院伦理委员会批准。

二、MR 扫描方法

MR 检查采用 GE Signa HDxt 1.5 T 超导型 MR 扫描仪,8 通道头颈线圈,受试者均处于舒适自然仰卧位,常规行头颅 MRI 排除脑内正常变异及病变。脑脊液自旋标记 MRI 采用 SLIR-SSFSE 序列,指脉门控触发, R 波采集,扫描参数为 TR 15 790 ms, TE 80 s, 矩阵 256 × 256, FOV 24.0 cm × 24.0 cm, 层厚 7.0 mm, 带宽 83.33 kHz, 回波链长度 256, TI 1300 ~ 5300 ms, 每幅图像 TI 递加 200 ms, 标记带宽 11 mm, 根据脑脊液在室间孔、中脑导水管、第四脑室正中孔及两外侧孔内的流动方向,脑脊液标记区分别选择在垂直于室间孔、中脑导水管、第四脑室正中孔及两外侧孔的入口、出口处,对室间孔行冠状面及矢状面扫描,中脑导水管行矢状面扫描,第四脑室正中孔行矢状面扫描,第四脑室两外侧孔行冠状面扫描。每一序列扫描时间为 3 min 45 s, 扫描 21 幅图像。

三、数据测量与计算方法

由本院放射科 3 名高年资医师在 GE 1.5 T MR AW4.4 后处理工作站上利用 view 软件的直线标尺分别测量每名受试者的两侧室间孔、中脑导水管、第

四脑室正中孔及两外侧孔的纵径和横径值,并求其平均值,得出 50 名受试者脑室间连接结构的纵径、横径的径线范围及其均值,并根据标记脑脊液在有效 TI 及 TE 时间内在脑室间连接结构内流动的距离,计算出脑脊液在脑室间连接结构的流动速度^[4,5]。

结 果

一、室间孔的解剖形态及脑脊液流动状态

不同 TI 时间内可实时观察到双侧侧脑室和第三脑室内的脑脊液经两侧室间孔向足侧(图 1)和头侧(图 2)的双向流动,室间孔冠状面表现为丘脑前内侧和穹窿之间的细管状影,两侧对称,上端相互分离,下端汇合,并向后下与第三脑室相续呈“Y”型(图 1,2),两侧室间孔夹角 55°~58°,矢状面表现为斜行细管状影(图 3)。在 TI 2100 ms 时测定左、右侧室间孔的径线值,并计算室间孔内脑脊液流速见表 1。

二、中脑导水管的解剖形态及脑脊液流动状态

不同 TI 时间内可实时观察脑脊液经中脑导水管向足侧(图 4,5)和头侧(图 6)的双向流动,中脑导水管表现为位于中脑背侧,第三脑室和第四脑室之间,呈贯穿中脑全长的浅弧形管状结构(图 5,6)。中脑导水管的径线值及在 TI 1900 和 2500 ms 时测定并计算中脑导水管内脑脊液向足侧和头侧的流速见表 2。

三、第四脑室中央孔及两外侧孔的解剖形态及脑脊液流动状态

不同 TI 时间内可实时观察到第四脑室和小脑

延髓池内的脑脊液分别向足侧(图 7,8)和头侧(图 9)流向第四脑室正中孔,其中流向延髓中央管的脑脊液流量小、流线纤细,不易观察。正中孔矢状面表现为分叉样管状结构,后支向下与小脑延髓池相续(图 7),前支细小向前下与延髓中央管相连(图 8)。

不同 TI 时间内实时观察到第四脑室和小脑延髓池内的脑脊液分别向足侧(图 10,11)和头侧(图 12)流向两外侧孔,流线纤细。两外侧孔冠状面表现为纤细管状结构,呈“八”形自第四脑室两外侧角向外下与两侧小脑延髓池相延续(图 10~12),两外侧孔夹角 87°~114°。两外侧孔的径线值及在 TI 2100 ms 时测定并计算两外侧孔内脑脊液流速见表 3。

讨 论

一、脑室间连接结构的影像学研究现状

脑室间连接结构病变是造成颅内压升高、梗阻性脑积水的常见原因,一直为临床和放射医师所关注,由于 MRI 无创、软组织分辨率高已取代既往的 X 线及 CT 脑室造影方法^[6],成为观察脑室间通路和脑脊液循环状态的重要方法。中脑导水管结构较为粗大,形态学表现易于观察,既往对中脑导水管内脑脊液流速报道不一,Gideon 等^[7]报道为 2.20~2.47 mm/s,Quencer 等^[8]报道为 3.7~7.6 mm/s,而 Nilsson 等^[9]报道为 5~10 mm/s,Enzmann 和 Pelc^[10]报道流速为 11.8 mm/s,由于各研究者采用的设备、序列、方法和计算方法不同,所得数据也不尽相同,对此目前尚无统一意见。室间孔、第四脑室

表 1 50 名志愿者两侧室间孔径线值及其内脑脊液向足侧的流速

测量部位	纵径(mm)		横径(mm)		流速(mm/s)	
	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$
左侧室间孔	3.50~5.50	4.37±0.47	1.00~1.40	1.21±0.13	1.61~2.52	2.00±0.17
右侧室间孔	4.20~4.80	4.42±0.20	1.00~1.60	1.21±0.19	1.93~2.20	2.03±0.09

表 2 50 名志愿者中脑导水管径线值及其内脑脊液的双向流速

测量部位	纵径(mm)		横径(mm)		足侧流速(mm/s)		头侧流速(mm/s)	
	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$
中脑导水管	9.90~17.30	15.51±1.70	1.70~2.30	1.92±0.17	5.00~8.74	7.84±0.86	3.84~6.71	6.01±0.66

表 3 50 名志愿者第四脑室两外侧孔径线值及其内脑脊液向足侧流速

测量部位	纵径(mm)		横径(mm)		流速(mm/s)	
	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$	范围	$\bar{x} \pm s$
左侧外侧孔	6.30~14.60	10.42±2.88	1.00~1.50	1.24±0.18	2.89~6.70	4.78±1.32
右侧外侧孔	6.20~15.50	12.13±3.05	1.00~1.40	1.19±0.13	2.84~7.11	5.56±1.40

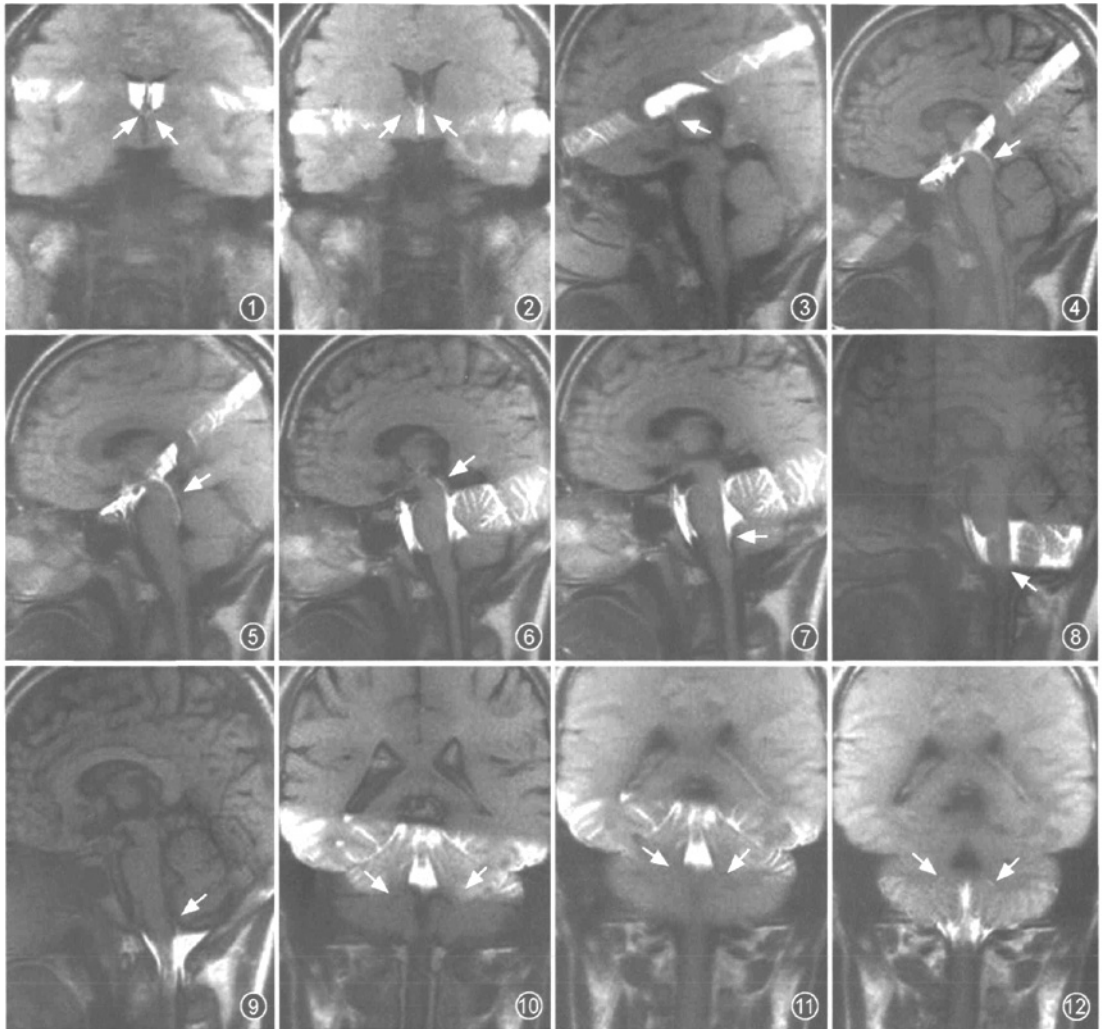


图 1~3 男, 22 岁, 图 1 示冠状面脑脊液标记区垂直于室间孔的入口处, 脑脊液呈向足侧流经室间孔(箭), 室间孔呈长方形裂隙状结构。图 2 示冠状面脑脊液标记区垂直于室间孔的出口处, 脑脊液呈向头侧流经室间孔(箭)。图 3 示矢状面脑脊液标记区垂直于室间孔的入口处, 标记区脑脊液向足侧流向室间孔(箭), 室间孔矢状面呈斜细管状结构 **图 4~6** 女, 20 岁。图 4 示正中矢状面脑脊液标记区垂直于中脑导水管的入口, 脑脊液呈向足侧流经中脑导水管(箭)。图 5 示矢状面中脑导水管呈贯穿中脑全长的浅弧形管状结构(箭)。图 6 示正中矢状面脑脊液标记区垂直于中脑导水管的出口处, 脑脊液呈向头侧流经中脑导水管(箭) **图 7~9** 男, 33 岁。图 7 示正中矢状面脑脊液标记区垂直于第四脑室正中孔入口处, 脑脊液向足侧流向第四脑室中央孔(箭), 其中向前下流向延髓中央管的脑脊液流线非常纤细。图 8 示正中矢状面直观显示第四脑室正中孔早分叉样结构, 向前下分支较细小(箭)。图 9 示正中矢状面脑脊液标记区垂直于后颅窝第四脑室正中孔出口处, 脑脊液向头侧流经第四脑室中央孔(箭) **图 10~12** 男, 35 岁。图 10, 11 示冠状面脑脊液标记区垂直于第四脑室两外侧孔的入口处, 直观、动态观察到脑脊液向足侧流向第四脑室外侧孔(箭), 两外侧孔呈“八”形自第四脑室两外侧角向外下与两侧小脑延髓池相延续。图 12 示冠状面脑脊液标记区垂直于第四脑室两外侧孔的出口处, 脑脊液向头侧流向第四脑室外侧孔(箭)

出口同样是脑脊液循环通路的易发病变部位, 但由于结构细小, 观察困难, 迄今未见相关研究报道。

二、脑脊液自旋标记 MRI SLIR-SSFSE 序列的原理及优势

1. 成像原理: 脑脊液自旋标记 MRI SLIR-SSFSE 序列不同于相位对比脑脊液电影法, 而是以内源性的脑脊液为标记物, 采用反转恢复和单次激发快速

SE 技术相结合的方法显示被标记的脑脊液, 达到脑室间通路造影的效果。本组试验将成像参数 TI 设定在 1300 ~ 5300 ms 之间, 选择性标记流向脑室间连接结构的脑脊液, 在此成像过程中, 标记脑脊液呈现高信号, 而未标记的脑脊液以及周围的结构呈中低信号, 可以在不同方位观察到脑室间连接结构的解剖形态及毗邻关系, 同时还能直观实时地观察脑

脊液的流动状态。

2. SLIR-SSFSE 序列对脑室间连接结构解剖形态的观察:室间孔与第三脑室解剖上形成一“Y”型管状结构,由于结构细小且受 MRI 软组织分辨率的限制,难以显示其完整形态,常规 MRI 轴面扫描表现为侧脑室和第三脑室之间对称性长方形裂孔,冠状面扫描受软组织分辨率的限制难以显示其完整形态。本组资料采用脑脊液自旋标记 MRI 真实再现了室间孔的解剖形态及左右室间孔的角度,虽然相比邻近脑室内的脑脊液,其信号稍弱,但仍能清晰观察到其完整结构,因而在室间孔形态学基础上,采用该方法可以推算出室间孔内脑脊液流动状态,即脑脊液流动方向和流动速度,有助于对室间孔区病变造成的脑脊液循环障碍病理解剖改变的理解,借此可进一步判断室间孔有无阻塞,弥补常规形态学观察的不足。

中脑导水管相对粗大,常规 MRI 虽可显示其形态、结构及毗邻关系,但对于因中脑导水管内细小隔膜及交通性脑积水引起的脑脊液循环障碍常无法发现。同样交通性脑积水与梗阻性脑积水病因与病变部位判断两者也有所不同。利用脑脊液自旋标记 MRI,观察中脑导水管的形态和脑脊液的循环状态,可作为一种 MR 脑脊液电影成像的新方法弥补常规 MR 的不足。

第四脑室正中孔形态较特殊,呈分叉样管道结构,向前下较细小与延髓中央管相通,向后下与小脑延髓池相续;常规 MRI 难以显示此种解剖结构,因而人们对理解脊髓中央管与脑室通路的解剖关系仍较模糊。同样第四脑室外侧孔纤细狭长,呈“八”形向外下走形。常规 MRI 由于难以显示正中孔和外侧孔的完整形态特征,因而人们常常忽略其临床意义,采用脑脊液自旋标记 MRI 方法真实显示了不同结构相互间的解剖结构关系,对于理解颅内和椎管内脑脊液循环的关系以及颅底畸形所致的脑脊液循环障碍的发病机制有一定帮助。

3. SLIR-SSFSE 序列对脑室间连接结构脑脊液流动状态的观察:采用脑脊液自旋标记 MRI 方法观察到两侧室间孔、中脑导水管、第四脑室正中孔及两外侧孔内的脑脊液均呈向足侧和头侧的双向流动^[11],这符合生理状态下脑脊液的流动特点。由于存在个体差异,不同人同一解剖结构脑脊液流速不尽一致,因而存在一定的正常范围,本研究结果与 Nilsson 等^[9]报道中脑导水管流速范围基本一致。

但由于脑室间连接结构细小,其内的脑脊液流动信号较弱,脑室间连接结构的径线测量及脑脊液的流速的计算均会受技术及人为因素的影响,虽然本研究采用多次测量求平均的方法来减小测量误差,但也仅仅是一种初步探索。另外本研究把不同性别放在一起测量,没有注意到性别因素对测量结果可能的影响,在下一步的研究中笔者将把不同性别进行分组做进一步的更深入研究。

脑脊液自旋标记 MRI 是一种非侵袭性、非对比增强、直观动态研究脑室间通路和脑脊液流动状态的方法,采用这种方法可直观实时地观察室间孔、中脑导水管、第四脑室出口等脑室间连接结构的正常解剖形态及其内脑脊液的流动状态,有可能作为一种评价脑脊液循环的成像方法应用于临床。

参 考 文 献

- [1] Wedeen VJ, Rosen BK, Chesler D, et al. MR velocity imaging by phase display. *J Comput Assist Tomogr*, 1985, 9:530-536.
- [2] Pettigrew R, Dannels W, Galloway JR, et al. Quantitative phase-flow MR imaging in dogs by using standard sequence: comparison with in vivo flow-meter measurements. *AJR*, 1987, 148:411-414.
- [3] Greitz D, Wirestam R, Franck A, et al. Pulsatile brain movement and associated hydrodynamics studied by magnetic resonance phase imaging. The Monro-Kellie doctrine revisited. *Neuroradiology*, 1992, 34:370-380.
- [4] Yamada S, Miyazaki M, Kanazawa H, et al. Visualization of cerebrospinal fluid movement with spin labeling at MR imaging: preliminary results in normal and pathophysiologic conditions. *Radiology*, 2008, 249: 644-652.
- [5] Linninger AA, Tsakiris C, Zhu DC, et al. Pulsatile cerebrospinal fluid dynamics in the human brain. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2005, 52:557-565.
- [6] Grantham W, Blakley B, Winn J, et al. Technical review and considerations for a cerebrospinal fluid leakage study. *J Nucl Med Technol*, 2006, 34:48-51.
- [7] Gideon P, Sørensen PS, Thomsen C, et al. Assessment of CSF dynamics and venous flow in the superior sagittal sinus by MRI in idiopathic intracranial hypertension: a preliminary study. *Neuroradiology*, 1994, 36:350-354.
- [8] Quencer RM, Post MJ, Hinks RS. Cine MR in the evaluation of normal and abnormal CSF flow: intracranial and intraspinal studies. *Neuroradiology*, 1990, 32:371-391.
- [9] Nilsson C, Ståhlberg F, Thomsen C, et al. Circadian variation in human cerebrospinal fluid production measured by magnetic resonance imaging. *AM J Physiol*, 1992, 262(1 Pt 2):R20-24.
- [10] Enzmann DR, Pelc NJ. Normal flow patterns of intracranial and spinal cerebrospinal fluid defined with phase-contrast cine imaging. *Radiology*, 1991, 178:467-474.
- [11] Hentschel S, Mardal KA, Lovgren AE, et al. Characterization of cyclic CSF flow in the foramen magnum and upper cervical spinal canal with MR flow imaging and computational fluid dynamics. *AJNR*, 2010, 31: 997-1002.

(收稿日期:2010-07-06)

(本文编辑:张琳琳)