

◆ 中枢神经影像学

Quantitative assessment of cerebrospinal fluid flow in cervical spinal canal of people in different ages with cine phase-contrast MRI

SHANG Hua, LIU Huai-jun*, YAN Le-ka, LI Hui, CUI Cai-xia
(Department of Radiology, the Second Hospital of Hebei Medical University,
Shijiazhuang 050000, China)

[Abstract] **Objective** To assess cerebrospinal fluid (CSF) flow in the cervical vertebral canal with cine phase-contrast MRI technique in different aged healthy people. **Methods** Sixty volunteers with no cerebral and vertebral canal pathology were enrolled in this study, and were divided into 5 age groups; ten of ≤ 14 years (median 10.2 years), 15 of 15—24 years (median 20.1 years), 13 of 25—34 years (median 30.2 years), 14 of 35—44 years (median 40.4 years) and 8 of ≥ 45 years (median 50.3 years). The cine phase-contrast sequences were acquired using 3.0T MR unit at the level of C₂₋₃ intervertebral disk. At this level, peak flow velocity (cm/s) and peak flow rate (ml/s) of systolic phase and diastolic phase were respectively studied. The differences of the above-mentioned indexes in 5 groups were compared. **Results** The peak flow velocity (cm/s) and peak flow rate (ml/s) of systolic phase and diastolic phase in subjects aged ≤ 14 years were higher than those in other age groups (all $P < 0.05$). **Conclusion** MR cine phase-contrast technique provides a direct quantitative technique to evaluate the CSF flow in the cervical vertebral canal and enriches the diagnosis information of CSF circulation diseases.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Cerebrospinal fluid; Age groups

MR 电影相位对比成像定量研究不同年龄颈椎管内脑脊液运动

尚 华, 刘怀军*, 闫乐卡, 李 晖, 崔彩霞
(河北医科大学第二医院医学影像科, 河北 石家庄 050000)

[摘要] **目的** 应用磁共振电影相位对比成像定量测量不同年龄健康者颈椎管内脑脊液的生理性运动。**方法** 将 60 名健康志愿者分为 5 个年龄组: ≤ 14 岁(中位年龄 10.2 岁)10 名, 15~24 岁(中位年龄 20.1 岁)15 名, 25~34 岁(中位年龄 30.2 岁)13 名, 35~44 岁(中位年龄 40.4 岁)14 名, ≥ 45 岁(中位年龄 50.3 岁)8 名。应用 3.0T 磁共振扫描仪于 C₂₋₃ 椎间盘水平电影相位对比序列扫描, 获得一个心动周期内颈椎管内脑脊液的收缩期峰值流速、峰值流量、舒张期峰值流速、峰值流量及流向。比较上述指标在各组间的差异。**结果** 颈椎管内脑脊液收缩期峰值流速、峰值流量、舒张期峰值流速、峰值流量在 ≤ 14 岁组明显高于其他 4 组(P 均 < 0.05)。**结论** 磁共振电影相位对比成像可以准确定量反映颈椎管内脑脊液的流动特点, 为进一步研究脑脊液循环障碍性疾病提供依据。

[关键词] 磁共振成像; 脑脊液; 年龄组

[中图分类号] R742; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2011)03-0491-04

[作者简介] 尚华(1977—), 女, 河北廊坊人, 博士, 主治医师。研究方向: 神经影像学。E-mail: shanghua519516@sina.com

[通讯作者] 刘怀军, 河北医科大学第二医院医学影像科, 050000。E-mail: huaijunliu@yahoo.com.cn

[收稿日期] 2010-10-20 **[修回日期]** 2010-12-01

近年来,随着 MR 扫描技术的发展,MR 电影相位对比成像可无创、准确、定量测量脑脊液流向和流速,且无需引入对比剂^[1]。既往检查主要集中于颅内中脑导水管部位,包括导水管的生理性脑脊液流动和各种病理性流动,如脑积水、Chiari 畸形和蛛网膜囊肿等^[2-4]。本研究应用 MR 电影相位对比成像定量测量颈椎管内脑脊液流动,获得不同年龄组、不同性别的颈椎管内脑脊液生理性流动特点,为研究脑脊液循环异常疾病提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2009 年 12 月—2010 年 9 月,对 60 名无颅内及椎管内病变的健康志愿者进行 MR 检查,男 28 名,女 32 名,年龄 8~55 岁,均无心律不齐。根据年龄分为 5 组,≤14 岁(中位年龄 10.2 岁)10 名,15~24 岁(中位年龄 20.1 岁)15 名,25~34 岁(中位年龄 30.2 岁)13 名,35~44 岁(中位年龄 40.4)14 名,≥45 岁(中位年龄 50.3 岁)8 名。

1.2 方法 应用 GE Signa Excite 3.0T HD MR 设备,脊柱线圈。受检者取仰卧位,扫描过程中尽量避免深呼吸和吞咽动作。首先常规行颈椎矢状位、轴位快速恢复快速自旋回波序列(FRFSE)扫描,参数:TR/TE 2400~2500 ms/110~120 ms, NEX 4, FA 90°,层厚 3 mm,层间隔 0.5 mm, FOV 26 cm×26 cm,矩阵 380×256。而后采用外周门控、快速电影相位对比法扫描,定位线置于正中矢状位 C₂₋₃ 椎间盘水平与椎管内脑脊液流向垂直的角度(图 1),参数:TR/TE 12 ms/6.2 ms, NEX 1 FA 20°,层厚 3 mm,层间隔 0, FOV 16 cm×16 cm,矩阵 256×128。流速编码 20 cm/s,头侧向足侧流向为正向,相位图上呈

白色,足侧向头侧流向为反向,相位图上呈黑色(图 2)。每一个心动周期分为 30 个时相。将所得图像放大到合适大小,调节窗宽、窗位在颈部蛛网膜下腔与邻近结构对比最清晰时,由 2 名有经验的影像科诊断医师分别应用轨迹球仔细画出椎管内环形蛛网膜下腔的范围,自动得出每一个时相的脑脊液流速及整个心动周期内的流动波形(图 3、4),峰值流量=峰值流速×颈椎管蛛网膜下腔面积。

1.3 统计学分析 应用 SAS V8 软件分析每名受检者的 C₂₋₃ 椎间盘水平蛛网膜下腔面积(cm²)和每一时相的脑脊液实时流速(cm/s)。多组间的比较应用多个样本比较的秩和检验(Kruskal-Wallis),≤14 岁儿童组与其他组间的比较应用两组之间的非参数秩和检验(Mann-Whitney U 检验),应用 t 检验比较两性别间数据。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

心脏收缩期脑脊液呈白色高信号,从头侧向足侧流动;舒张期呈黑色低信号,从足侧向头侧流动。在一

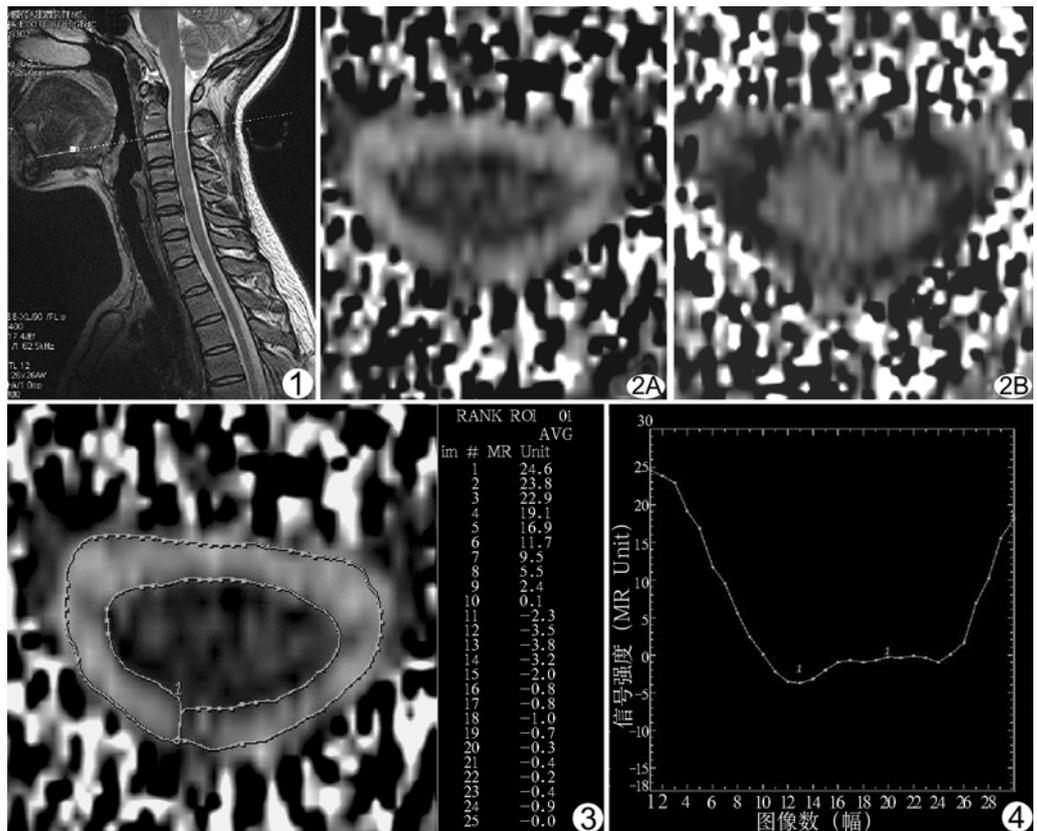


图 1 相位对比扫描定位线置于 C₂₋₃ 椎间盘水平 图 2 相位图上脑脊液自头侧向足侧流动呈白色(A);自足侧向头侧流动呈黑色(B) 图 3 椎管内脑脊液环形感兴趣区及每个时相脑脊液的实时流速(mm/s) 图 4 一个心动周期颈椎管内脑脊液的流动波形

表 1 不同年龄组颈椎管内脑脊液收缩期平均峰值流速、平均峰值流量、舒张期平均峰值流速、平均峰值流量、颈椎管蛛网膜下腔面积

组别	收缩期峰值流速(cm/s)	收缩期峰值流量(ml/s)	舒张期峰值流速(cm/s)	舒张期峰值流量(ml/s)	颈椎管蛛网膜下腔面积(cm ²)
≤14岁(n=10;6M,4F)	4.65±2.98	6.53±2.35	3.44±2.30	4.84±2.55	1.40
15~24岁(n=15;8M,7F)	2.09±1.21	3.10±2.08	1.11±1.02	1.65±1.37	1.53
25~34岁(n=13;5M,8F)	1.95±1.58	3.08±1.46	1.02±0.94	1.45±1.05	1.59
35~44岁(n=14;5M,9F)	2.11±1.75	2.77±2.20	1.16±1.07	1.52±1.26	1.29
≥45岁(n=8;4M,4F)	2.14±1.59	3.16±2.41	1.21±1.27	1.79±1.19	1.44
总计(n=60;28M,32F)	2.50±2.11	3.60±2.36	1.50±1.14	2.14±1.65	1.45

注:M:男性;F:女性

表 2 不同性别颈椎管内脑脊液收缩期平均峰值流速、平均峰值流量、舒张期平均峰值流速、平均峰值流量、颈椎管蛛网膜下腔面积

性别	收缩期峰值流速(cm/s)	收缩期峰值流量(ml/s)	舒张期峰值流速(cm/s)	舒张期峰值流量(ml/s)	颈椎管蛛网膜下腔面积(cm ²)
男性(n=28)	2.42±1.87	3.71±2.21	1.39±0.85	2.13±1.28	1.49
女性(n=32)	2.57±2.11	3.50±1.35	1.60±1.07	2.17±1.39	1.42

一个心动周期中,椎管内脑脊液呈振荡运动,且收缩期流速普遍大于舒张期流速,表明头向足方向的净流动。C₂₋₃椎间盘水平蛛网膜下腔面积 0.98~2.46 cm²(平均 1.45 cm²),各年龄组之间的差异无统计学意义。各组收缩期平均峰值流速、平均峰值流量、舒张期平均峰值流速、平均峰值流量见表 1。不同性别的收缩期平均峰值流速、平均峰值流量、舒张期平均峰值流速、平均峰值流量见表 2。颈椎管内脑脊液收缩期平均峰值流速、平均峰值流量、舒张期平均峰值流速、平均峰值流量在各年龄组间差异有统计学意义。≤14岁组收缩期平均峰值流速、平均峰值流量、舒张期平均峰值流速、平均峰值流量均高于其他四组(P均<0.05)。上述 4 个参数在不同性别之间差异无统计学意义。

3 讨论

3.1 MR 电影相位对比成像的原理 MR 电影相位对比成像应用双极梯度磁场,由位相相反的两叶组成。应用第一叶时,静止和流动组织的自旋都进行相位积聚,随之应用第二叶,静止质子丧失相位,总相位为零;而流动的组织在两个梯度之间,经过不同的正负梯度,累加后产生相位位移。此相位位移与流动组织的流速成正比。MR 相位对比成像应用像素信号强度的变化来体现流速的大小,同时还能表示流体的方向。流体与预设的流动编码方向一致,像素显示为白色,反之为黑色,静止组织呈灰色。

电影相位对比成像通过相位对比技术与门控技术相结合,使得流动液体的相位位移与时间相结合,可以

获得流动液体的实时流速。国内外近年来有学者^[5-6]用此技术来测量血流及颅内导水管的脑脊液流动,但对椎管内的脑脊液循环研究很少。

MR 电影相位对比成像有很多优点,包括无创伤、受检者无需准备、无需引入对比剂、无 X 线辐射等,且扫描速度快,尤其是快速电影相位对比法,整个序列扫描时间仅仅数十秒,即可定量得到脑脊液的实时流速。

3.2 MR 电影相位对比扫描的注意事项 一些设备扫描误差难以避免,包括部分容积效应、涡流的影响以及感兴趣区的误差等^[7-9]。为尽量避免误差,本研究采用以下方法:采用最短的 TR,以增加采样次数,对流动的数据点采集得越多,结果越精确;采用最小的 TE,尽量使静止质子饱和,基本上无相位移,以与运动质子相区别。适当的翻转角可改善流动组织与背景的信号对比。层厚 1~3 mm 较合适。选择合适的速度编码,明显高于真实流体峰速度的流速编码可能低估流速,而低于真实流体峰速度的流速编码可能高估流速。根据本研究的流体模型实验,测量颈椎管脑脊液的流速时,将流速编码值置于 15~20 cm/s 之间为宜。使用流体补偿可减少搏动伪影,改善图像质量,使管腔边缘显示清晰。另外,心律不齐的受检者不能纳入检查。感兴趣区应尽量选择比较规则的结构,颈椎管蛛网膜下腔呈环形,较颅内中脑导水管结构略显复杂,但也能比较轻松地应用轨迹球获得蛛网膜下腔的面积。处理图像时,使用合适的窗宽、窗位至关重要,只有确定管径边缘,才能准确定位感兴趣区。感兴趣区面积越小,所测误差越大。如欲测量管腔的面积较大,定量测量流动的数值就比较可靠。颈椎蛛网膜下腔面积较大,故误差较小。

3.3 颈椎管脑脊液循环 20 世纪 40 年代初就已经开始针对脑脊液运动的研究。O'Connell 根据腰椎穿刺测量首先提出脑脊液循环与动脉搏动有关,颅内大动脉的扩张是脑脊液搏动性运动的根本原因。1955 年,

Bering 采用动物外科实验方法,1966 年, DuBoulay 采用电影气脑造影方法研究脑脊液运动,但均为有创性研究,且改变了脑室及脑脊液运动的生理状态。1986—1987 年,Feinberg 等首次将电影相位对比成像用于测量脑脊液速度的活体研究,开创了 MR 研究和临床应用的新领域。此后应用 MR 电影相位对比成像研究脑脊液流动形式的相关报道逐渐增多,但主要集中于颅内中脑导水管,对于椎管内脑脊液流动报道甚少。本研究通过定量测量 60 名健康志愿者椎管内脑脊液收缩期平均峰值流速、平均峰值流量,舒张期平均峰值流速、平均峰值流量,获得了椎管内脑脊液流动的正常值,从而有助于进一步对椎管狭窄性病发时脑脊液循环异常改变的研究。

MR 电影相位对比成像通过定量测量椎管内脑脊液的流速,可用来评价椎间盘突出受检者经过牵引、按摩、手术等治疗后的疗效。椎管狭窄患者常见症状为头晕、四肢无力、记忆力下降、失眠、胸闷、颈背部肌肉僵硬等,有些可能是脑脊液循环异常所致;椎管狭窄的严重程度与脑脊液的异常流动是否呈正相关有待于进一步研究。随着电脑的普及,近年来颈椎间盘突出的年轻患者逐渐增多。颈椎间盘突出压迫椎管内蛛网膜下腔变窄甚至闭塞,脊髓受压变形,通常称之为脊髓型颈椎病。但如果椎间盘轻度突出,未压迫脊髓变形,仅仅引起椎管内蛛网膜下腔变窄,某些患者症状也很明显,如头晕、颈部不适、上肢无力伴疼痛等,在排除了颈椎骨质结构的异常及椎动脉供血异常后,考虑可能与脑脊液循环障碍有关。另外,Chiari 畸形及椎管内其他病变如椎管内肿瘤均可引起脊髓空洞症,其病理机制仍不十分清楚,目前研究均提示中央管与 4 脑室不相通^[10],因此关于脊髓空洞内脑脊液的流动及其与椎管内蛛网膜下腔脑脊液流动的关系都有待于进一步研究。MR 电影相位对比成像通过定量测量椎管内及空洞内脑脊液的流速,可用来评价脊髓空洞症的形成及预后。

Yamada 等^[11]认为在正常人的颈椎椎管内脑脊液呈振荡性运动。本研究结论与上述观点一致,在心脏收缩期,脑脊液由头侧流向足侧;在心脏舒张期,脑脊液由足侧流向头侧;同时发现在一个心动周期中收缩期流速均大于舒张期流速,故考虑净流量为头侧向足侧方向。

3.4 椎管内脑脊液流动的年龄和性别差异 随着年龄的增长,脑脊液的生理性循环有两个变化:一是脑

脊液生成减少,脑脊液循环量减少,二是脑脊液流出阻力增加。本研究发现 ≤ 14 岁组椎管内蛛网膜下腔脑脊液峰值流速明显大于其他四组,而性别之间无显著性区别,希望能有助于以后的临床研究。

总之,MR 电影相位对比成像可无创、准确、定量地测量椎管内脑脊液的流动。本研究得出了椎管内脑脊液流速的正常值,为进一步研究椎管内病变引起的脑脊液循环异常提供依据,同时为临床诊断和治疗提供全新的思路。

[参考文献]

- [1] Stoquart-EL Sankari S, Lehmann P, Gondry-Jouet C, et al. Phase-contrast MR imaging support for the diagnosis of aqueductal stenosis. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2009,30(1):209-214.
- [2] Miyati T, Mase M, Kasai H, et al. Noninvasive MRI assessment of intracranial compliance in Idiopathic normal pressure hydrocephalus. *J Magn Reson Imaging*, 2007,26(2):274-278.
- [3] 郭劲松,金延方,岳云龙,等. MR 相位对比电影成像评价内镜导水管成形术治疗梗阻性脑积水的疗效. *中国医学影像技术*, 2010, 26(5):832-834.
- [4] Algin O, Hakyemez B, Gokalp G, et al. Phase-contrast cine MRI versus MR cisternography on the evaluation of the communication between intraventricular arachnoid cysts and neighbouring cerebrospinal fluid spaces. *Neuroradiology*, 2009,51(5):305-312.
- [5] 朱晓黎,沈天真,陈星荣. MR 相位对比电影法在正常颈部及颅内大血管血流测量中的应用. *中国医学影像技术*, 2005, 21(3):365-368.
- [6] Van Raamt AF, Appelman AP, Mali WP, et al. Arterial blood flow to the brain in patients with vascular disease: the smart study. *Radiology*, 2006,240(2):515-521.
- [7] Lee JH, Lee HK, Kim JK, et al. CSF flow quantification of the cerebral aqueduct in normal volunteers using phase contrast cine MR imaging. *Korean J Radiol*, 2004,5(2):81-86.
- [8] Brinkmann G, Harlandt O, Muhle C, et al. Quantification of fluid flow in magnetic resonance tomography: an experimental study of a flow model and liquid flow measurements in the cerebral aqueduct in volunteers. *Rofo*, 2000,172(12):1043-1051.
- [9] 李彩英,田建明,刘辉,等. 利用磁共振相位对比法对非搏动流体模型的定量研究. *中国医学影像技术*, 2006,26(4):535-537.
- [10] 裴新龙,韩鸿斌,刘彬,等. Chiari I 畸形合并脊髓空洞病人脑脊液动力学 MRI 定量研究. *中国医学影像技术*, 2004, 20(7):985-988.
- [11] 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(2):644-652.