Normal intracranial venous system in three-dimensional contrast enhanced MR angiography

ZHA Yun-fei, KONG Xiang-quan^{*}, LIU Ding-xi, XU Hai-bo (Department of Radiology, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong Science and Technology University, Wuhan 430022, China)

[Abstract] Objective To compare the visualization of normal intracranial venous system at three-dimensional contrast enhanced MR angiography (3D-CE MRA), two-dimensional time of flight (2D-TOF) and three-dimensional phase contrast (3D-PC) MR angiography. Methods In 28 healthy subjects, oblique coronal 2D-TOF, sagittal 3D-PC and sagittal 3D-CE MRA were respectively performed. All data were displayed as maximum intensity projection (MIP) images. The image quality of predefined cerebral veins and sinuses was graded by two radiologists in consensus as continuous and completely visible, continuous and partly visible, not continuous and vaguely visible, or not visible. Results The superior sagittal sinus, straight sinus, bilateral transverse sinuses, bilateral sigmoid sinuses, superficial middle cerebral veins and Galen vein were visualized equally well with 2D-TOF, 3D-PC and 3D-CE MRA (P>0.01, respectively). For visualization of the inferior sagittal sinus and confluence of sinuses, 3D-CE MRA was superior to 2D-TOF MRA (P<0.01), but not superior to 3D-PC MRA (P>0.01). For visualization of the superior cerebral veins, Trolard veins and Labbë veins, 3D-CE MRA was superior to 2D-TOF and 3D-PC MRA (P<0.01, respectively). Conclusion 3D-CE MRA can quickly provide high-quality images of intracranial venous system. 3D-CE MRA depicts the confluence of sinuses better than 2D-TOF MRA and shows the cortical superficial veins better than 2D-TOF MRA and 3D-PC MRA. [Key words] Cranial sinuses; Cerebral veins; Magnetic resonance angiography; Comparative study

三维对比增强磁共振血管成像对正常颅内静脉系统的显示

查云飞,孔祥泉*,刘定西,徐海波

(华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科,湖北 武汉 430022)

[摘 要]目的 比较 3D-CE MRA、2D-TOF MRA 和 3D-PC MRA 技术对正常颅内静脉不同解剖部位的显示能力。方法 28 例无颅脑病变的受检者分别行斜冠状位 2D-TOF、矢状位 3D-PC 及矢状位 3D-CE MRA 检查。3 种 MRA 技术的原始 图像均进行最大信号强度投影处理。在最大信号强度投影的图像上对预设的颅内各解剖部位的静脉血管图像质量逐一进 行分级比较。结果 对颅内上矢状窦、直窦、双侧横窦、双侧乙状窦、大脑中浅静脉及 Galen 静脉的显示,3D-CE MRA 与 2D-TOF 之间及 3D-CE MRA 与 3D-PC 之间分别比较均无显著性差异(P值均>0.01)。3D-CE MRA 对下矢状窦、窦汇的 显示优于 2D-TOF(P值均<0.01),对大脑上静脉、Trolard 静脉、Labbě 静脉的显示优于 2D-TOF 和 3D-PC(P值均<0.01)。结论 3D-CE MRA 能快速提供高质量的颅内静脉结构图像,尤其是对窦汇区静脉结构的显示优于 2D-TOF MRA,对大脑皮层浅静脉的显示优于 2D-TOF 及 3D-PC MRA。

[关键词] 颅窦;脑静脉;磁共振血管成像;比较研究

[中图分类号] R322; R445.2 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2005)06-0966-04

E-mail: zhayunfei@21cn.com

430022。E-mail: kongxiangquan0525@126.com

[收稿日期] 2005-03-12 [修回日期] 2005-04-20

由于二维时间飞跃(two-dimensional time of flight, 2D-TOF)和三维相位对比(three-dimensional phase contrast, 3D-PC)技术磁共振血管成像(magnetic resonance angiography, MRA)固有的技术缺陷及复杂的颅内静脉解剖、血流动 力学,使得颅内静脉系统磁共振血管成像成为难点^[1,2]。三维

[[]作者简介] 查云飞(1972-),男,湖北省十堰市人,博士研究生,副主任 医师。研究方向:中枢神经系统、腹部及骨关节影像诊断。

[[]通讯作者] 孔祥泉,华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科,

对比增强磁共振血管成像(three dimensional contrast enhanced MRA,3D-CE MRA)克服了上述 MRA 技术的缺点, 提供了高质量的血管影像,正在成为一种无创伤性评价颅内 静脉系统病变的新技术^[3-7]。本文比较 3D-CE MRA、2D-TOF MRA 和 3D-PC MRA 技术对正常颅内静脉系统的显示 能力,旨在探讨颅内静脉不同解剖部位的最佳 MRA 技术。

1 资料与方法

临床因"头痛待查"行 MRI 检查者 19 例,健康志愿者 9 例,其中男 13 例,女 15 例,年龄 13~59 岁,平均年龄 35.4 岁。所有受检者均经临床和常规 MRI 排除颅脑外伤、先天发 育畸形、颅脑肿瘤、颅内感染性病变和各种脑血管病变。

采用 Siemens Magnetom 1.5 T 超导磁共振仪,标准头部 CP 线圈。每位受检者首先依次分别行非增强 2D-TOF 及 3D-PC MRA。2D-TOF:TR 30 ms,TE 9 ms,翻转角 50°,层 数 64,层厚 2 mm,层间隔 0 mm,矩阵:224×256,FOV 250 mm×250 mm,采集次数为 1 次,颅底下方设置饱和带消除动 脉血流信号,扫描方位为斜矢状位与中线成 15~20°角,扫描 时间:8 分 14 秒。3D-PC:TR 53 ms,TE 6 ms,翻转角 9°,层 块厚 64 mm,有效层厚 1 mm。矩阵:176×256,FOV 250 mm ×250 mm(7/8),采集次数为 1 次,流速编码为 20 cm/s,扫 描方位为矢状位,扫描时间:15 分 27 秒。

采用团注试验法(blous test)测定颅内静脉对比剂达到 峰值浓度时间,团注试验序列采用快速小角度激发(turbo fast low angle shot, FLASH)T1WI:TR 5.8 ms,TE 2.4 ms, 翻转角 10°,层厚 10 mm,FOV 220 mm×220 mm(7/8),用 19 G静脉穿刺针穿刺肘前静脉,MR 压力注射器(MEDRAD, SPECTRIS, USA)A筒团注射钆喷酸葡胺注射液 2 ml,流率 3 ml/s,随后注射器 B筒立即注射生理盐水 10 ml,流率 3 ml/ s。序列扫描启动时间与注射对比剂时间保持同步,颈内静脉 冠状位同层动态扫描,采集 40 次,1 层/1 s,共得到 40 帧图 像。采用 Evaluate/Mean/Curve 软件功能,在右侧颈静脉球 位置手动选取圆形兴趣区大小 1 mm×1 mm,绘制颅内静脉 对比剂循环时间-信号曲线。

3D-CE MRA 采用三维快速小角度激发(three-dimensional fast low angle shot, 3D-FLASH)-T1WI序列:TR 4.6 ms,TE 1.8 ms,翻转角 25°,矢状位扫描层块厚 134 mm,扫描 有效层厚 2.39 mm,原始图像层面选择方向容积内插处理后 的层厚 1.2 mm,层间隔 0 mm,FOV:250 mm×250 mm(7/8),矩阵 150×256,中心 K 空间数据采集位于整个扫描时间 的 3/8 处,单时相序列扫描时间 30 s。注射对比剂前扫描 1 次,压力注射器 A 筒团注 Gd-DTPA 剂量 20 ml,流率 3 ml/s,随后注射器 B 筒立即注射生理盐水 20 ml,流率 3 ml/s。扫描延迟时间=对比剂到达时间+(注射时间)/2-(扫描时间)/2^[8]。注射对比剂后 3D-FLASH T1WI 序列无时间间隔 连续 2 次成像。

采用 Evaluate/Dyn-Analysis 软件将 3D-FLASH T1WI 序列注射对比剂后第 1 时相原始图像与注射对比剂前图像进 行像素对像素的减影处理,最大程度消除背景信号强度。减 影后的 3D-FLASH T1WI 图像以及 2D-TOF、3D-PC 原始图

像均分别进行最大信号强度投影(maximum intensity projection, MIP)。在 90°范围内分别在头尾(CC)及左右(LR)方向 上每隔 15°连续投影,共得到 14 帧图像。颅内动脉主干与颅 底重叠区域采用软件的手动编辑功能清除。

由两位熟悉颅内神经血管解剖的放射学医师(1 位副主 任医师,1 位副教授)共同阅片取得一致意见。在 2D-TOF、 3D-PC 及对比增强 3D-FLASH 的 MIP 像上对预设的各解剖 区域的颅内静脉血管图像质量逐一进行分级评价。分级标 准: I 级指血管呈显著高信号,管壁连续,全程完全可以分辨; II 级指血管呈中等度高信号,管壁基本连续,全程完全可以分辨; II 级指血管呈微弱高信号,管壁隐约可以分辨; IV 级指 血管完全不能显示。血管结构显示分级为 I、II 级被认为能 满足诊断的质量要求。解剖上双侧成对的硬膜静脉窦,左、右 两侧分别评价;大脑皮层浅静脉选择大脑上静脉、大脑中浅静 脉、Trolard 静脉及 Labbë 静脉为代表进行评价。解剖上双侧 成对的皮层浅静脉和深静脉,以显示最佳的一侧静脉血管进 行评价。窦汇解剖形态参照 Osborn^[9]的分型。

采用秩和检验(Nemenyi 法)比较等级分组资料的差异, 检验水准 α =0.01,P<0.01。

2 结果

3种 MRA 技术对正常颅内静脉的显示:对颅内上矢状 窦、直窦、双侧横窦、双侧乙状窦、大脑中浅静脉及 Galen 静脉 的显示, 3D-CE MRA 与 2D-TOF 之间及 3D-CE MRA 与 3D-PC之间分别比较均无显著性差异(临界值 d 分别为 7.2998、 12.0337、13.8654、13.1841、17.2861、10.5392, P 值均> 0.01,图1)。对下矢状窦、窦汇的显示, 3D-CE MRA 优于 2D-TOF(临界值 d 分别为 18. 9964、12. 7979, P 值均< 0.01), 3D-CE MRA 与 3D-PC 之间无显著性差异(临界值 d 分别为 18.9964、12.7979, P 值均>0.01, 图 2)。对大脑上静 脉、Trolard 静脉、Labbë 静脉的显示, 3D-CE MRA 优于 2D-TOF(临界值 d 分别为 18.4625、18.9964、12.7979, P 值均< 0.01), 3D-CE MRA 也优于 3D-PC (临界值 d 分别为 18.4625、19.0395、18.9945, P 值均<0.01)), 但对透明隔静 脉、丘纹静脉、大脑内静脉、Rosenthal 基底静脉的显示, 3D-CE MRA 与 2D-TOF 之间无显著性差异(临界值 d 分别为 18.9342、17.9759、15.0156、16.8882,P值均>0.01),3D-CE MRA与 3D-PC 之间也无显著性差异(临界值 d 分别为 18.9964、12.7979、17.9759、15.0156, P值均>0.01,图3)。 窦汇区解剖形态观察双侧横窦均势引流占 71.4%(20/28)、 右侧横窦优势引流占 21.4%(6/28),左侧横窦优势引流仅占 7.1%(2/28)

3 讨论

临床评价颅内血管畸形、静脉血栓形成、颅内肿瘤累及脑静脉及硬膜静脉窦等病变时,通常需要完整显示颅内静脉系统,尤其是要显示皮层引流静脉及侧支静脉与原发病变的关系^[2,10,11]。3D-PC及冠状位 2D-TOF MRA 比横断位及矢状位 2D-TOF 能更好显示颅内静脉系统^[2]。2D-FOF MRA 对慢速血流敏感,常用于颅内静脉血管成像,但是层面内血流饱和效应会造成信号丢失。PC MRA 背景抑制极佳,对体素内



图1 A. 2D-TOFMRA, B. 3D-PC MRA及C. 3D-CE MRA, 上矢状窦、直窦在3种 MRA 均显示良好, 大脑上静脉及 Trolard 静脉在 3D-CE MRA 显示极佳



图 2 A. 2D-TOF MRA 窦汇区、左横窦近段"流动间隙"现象,血流信号缺失,B. 3D-PC MRA 可见细小血流信号,窦腔较小,C. 3D-CE MRA 窦 腔显示正常



图 3 A. 2D-TOFMRA, B. 3D-PC MRA及 C. 3D-CE MRA, 丘纹静脉、大脑内静脉、Rosenthal 基底静脉、Galen 静脉在 3 种 MRA 均显示良好

失相位或饱和效应不敏感,但是需要适宜的速度编码。2D-PC MRA 扫描速度快,但是单层块扫描范围非常有限,不能 全面评价颅内静脉系统。3D-PC MRA 对湍流信号丢失和血 管方向改变产生的失相位非常敏感。

本研究中的 3D-CE MRA 采用基于时间敏感性的 3D-FLASH 序列联合团注钆对比剂显示颅内静脉系统,静脉内 对比剂浓度达到峰值时完成中心 K 空间数据的采集,有效避 免了 2D-TOF MRA 的层面流入增强效应的依赖性和 3D-PC MRA 相位离散效应的技术缺陷。3D-CE MRA 以 3 ml/s 流 率团注无肾毒性的钆剂 20 ml 就能获得高质量的静脉血管影像,避免了大剂量对比剂的应用,除颅底小范围区域外,颅内 其余区域均未见明显动、静脉重叠影像。3D-CE MRA 三维 图像后处理对上矢状窦全程走行、浅静脉属支及窦汇区复杂 解剖结构的观察更直观。采用短 TR 以及层面方向容积内插 处理,3D-FLASH 序列可以在尽可能减少扫描层数的情况下 以矢状位扫描覆盖全脑范围,而且单时相扫描时间缩短至 30s 以内,显著短于相同覆盖范围的 2D-TOF 及 3D-PC MRA 的扫描时间。 本组结果显示,对于颅内大的硬膜静脉窦如上矢状窦、直 窦、双侧横窦、双侧乙状窦及较大的深部静脉如 Galen 静脉的 显示,3D-CE MRA 与 2D-TOF 之间及 3D-CE MRA 与 3D-PC 之间比较并无显著性差异,这提示 3 种 MRA 技术对上述 颅内大的静脉结构的显示均较好。

本组资料双侧横窦均势引流占 71.4% (20/28)、右侧横 窦优势引流占 21.4% (6/28),左侧横窦优势引流仅占 7.1% (2/28)。窦汇区、横窦的解剖变异及血流动力学变化复杂^[1], 非优势引流的横窦发育不良、血流过度缓慢,超过信号采集阈 值或者窦汇区湍流存在,可以造成 2D-TOF MRA 的"流动间 隙"现象,表现为窦汇区及横窦血流信号中断消失^[1,12]。在 3D-PC MRA 上由于速度混淆,仅能见微弱的血流信号,而 3D-CE MRA 技术可以真实反映窦汇区及横窦的解剖形态。

大脑皮层浅静脉属支形态、数目、走向变异很大,2D-TOF及3D-PC对这些皮层浅静脉全程的显示很困难。窦旁脑膜瘤侵犯上矢状窦慢性闭塞的病例,需要评价皮层静脉是 否侵犯以及代偿的侧支引流静脉^[4+13],3D-CE MRA 也能显示 2D-TOF不能显示的静脉窦闭塞后代偿的皮层侧支引流静 脉^[6]。本组结果表明:对正常大脑上静脉、Trolard 静脉、 Labbë静脉的显示,3D-CE MRA 优于 2D-TOF和 3D-PC;但 2D-TOF、3D-PC MRA、3D-CE MRA 对大脑中浅静脉结构 I、II级显示率仅分别为 17.9%、14.3%、25.0%,可能的原 因是脑底部动脉影像对 3D-CE MRA 及 3D-PC 图像的"污 染"以及颅底硬膜静脉窦重叠对 2D-TOF 图像的影响。

对管径细小、位置固定的脑深部静脉如透明隔静脉、丘纹 静脉、大脑内静脉、Rosenthal 基底静脉的显示, 3D-CE MRA 并不优于 2D-TOF 和 3D-PC,这是由于在本研究技术条件下, 3D-FLASH 体素大小为 1.2 mm×1.46 mm×0.98 mm, 而 2D-TOF 体素大小为 2.0 mm×0.98 mm×0.98 mm、3D-PC 体素大小为 1.0 mm×1.30 mm×0.98 mm, 3D-FLASH 的空 间分辨率略低于 2D-TOF 和 3D-PC 的空间分辨率。

[参考文献]

- [1] Ayanzen RH, Bird CR, Keller PJ, et al. Cerebral MR venography: normal anatomy and potential diagnostic pitfalls[J]. AJNR, 2000, 21(1):74-78.
- [2] Liauw L, van Buchem, MA, Spilt A, et al. MR angiography of the intracranial venous system [J]. Radiology, 2000, 214(3):678-682.

- [3] Wetzel SG, Law M, Lee VS, et al. Imaging of the intracranial venous system with a contrast-enhanced volumetric interpolated examination[J]. Eur Radiol, 2003, 1395):1010-1018.
- [4] Farb RI, Scott JN, Willinsky RA, et al. Intracranial venous system: Gadolinium-enhanced three-dimensional MR venography with auto-triggered elliptic centric-ordered sequence-initial experience [J]. Radiology, 2003, 226(1): 203-209.
- [5] Kirchhof K, Welzel T, Jansen O, et al. More reliable noninvasive visualization of the cerebral veins and dural sinuses: comparison of three MR angiographic techniques [J]. Radiology, 2002, 224 (3): 804-810.
- [6] Lövblad KO, Schneider J, Bassetti C, et al. Fast contrast-enhanced MR whole-brain venography [J]. Neuroradiology, 2002, 44 (8):681-688.
- [7] Liang L, Korogi Y, Sugahara T, et al. Evaluation of the intracranial dural sinuses with a 3D contrast-enhanced MP-RAGE sequence: prospective comparison with 2D-TOF MR venography and digital subtraction angiography[J]. AJNR, 2001, 22(3):481-492.
- [8] Schoenberg SO, Knopp MV, Prince MR, et al. Arterial-phase three-dimensional gadolinium magnetic resonance angiography of the renal arteries. Strategies for timing and contrast media injection: original investigation [J]. Invest Radiol, 1998, 33 (9): 506-514.
- [9] Osborn AG. Diagnostic cerebral angiography [M]. PA Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 1999.
- [10] Scott JN, Farb RI. Imaging and anatomy of the normal intracranial venous system[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2003, 13(1):1-12.
- [11] Yu Q, Kong XQ, Liu DX, et al. MR venography in diagnosing intracranial venous sinus thrombosis [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2004, 20(9):1343-1346.
 于群,孔祥泉,刘定西,等.磁共振静脉系血管成像对颅内静脉血 栓的诊断价值[J].中国医学影像技术,2004,20(9):1343-1346.
- [12] Gao GJ, Feng XY, Geng DY, et al. MR angiography appearance of venous sinuses in the region of the torcular Herophili[J]. Chin J Radiol, 2003, 37(4):331-334.
 高歌军,冯晓源,耿道颖,等. 窦汇区解剖形态的 MR 血管成像表 现[J]. 中华放射学杂志, 2003, 37(4):331-334.
- [13] Wetzel SG, Cha S, Law M, et al. Preoperative assessment of intracranial tumors with perfusion MR and a volumetric interpolated examination: a comparative study with DSA[J]. AJNR, 2002, 23 (10):1767-1774.