

上矢状窦生理流动模式的相位对比磁共振研究

麦慧, 董天发, 钟熹, 江魁明, 李黎, 郭美芬

【摘要】 目的:利用相位对比磁共振成像(PC-MRI)观察上矢状窦(SSS)不同解剖段的生理流动模式及血流动力学的差异。**方法:**选取 19 例健康志愿者,采用 MRV 定位,对 SSS 的前、中及后段分别行 PC-MRI 扫描,在工作站采用 Q-Flow 软件包进行后处理,获得各段的时相-流速曲线,测量和记录各解剖段的平均流量(MF)、平均流速(MV)、血管面积、收缩期最高流速(PSV)和舒张期最低流速(PDV)及其对应的时相点(TH),计算峰值时相差率($R_{\Delta TH}$)及峰值流速差(ΔV)。**结果:**前、中及后段 SSS 在心动周期内呈单向、低幅、振荡式流动,时相-流速曲线平滑,呈“缓降-缓升-缓降”型,三段间 $R_{\Delta TH}$ 及 ΔV 的差异无统计学意义($H_{\text{时相差率}}=3.70, P=0.16; F_{\Delta V}=0.43, P=0.65$)。前、中及后段 SSS 的血管面积及 MF 依次递增,各段间的差异均有统计学意义($H_{\text{血管面积}}=35.18, H_{MF}=41.98; P<0.01$);三段间 MV 的差异有统计学意义($H=15.14, P<0.01$),其中前段与中段 MV 的差异无统计学意义($P>0.05$),而后段的 MV 显著高于前段和中段($P<0.01$)。**结论:**前、中及后段上矢状窦的生理流动模式相似,PC-MRI 能直观、准确地评估上矢状窦的流动模式。

【关键词】 上矢状窦; 血流动力学,流动模式; 磁共振成像; 相位对比法

【中图分类号】 R445.2; R543.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)08-0825-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.08.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Phase-contrast MRI study of the physiological flow pattern in superior sagittal sinus MAI Hui, DONG Tian-fa, ZHONG Xi, et al. Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou 510150, China

【Abstract】 Objective: To explore the differences of physiological flow modes and hemodynamics in different anatomical segments of superior sagittal sinus (SSS) using phase-contrast magnetic resonance imaging (PC-MRI). **Methods:** Nineteen healthy volunteers were selected and PC-MRI scanning was performed at the anterior, middle and posterior segments of SSS by MRV localization. Then all images were post-processed on Q-Flow workstation, phase-flow velocity curve was obtained and analyzed. The peak diastolic velocity (PDV), peak systolic velocity (PSV) and their corresponding time phases were recorded. Then difference ratio of the time phases ($R_{\Delta TH}$) and difference value (ΔV) between the PDV and PSV were calculated. Mean velocity (MV), mean flux (MF) and vascular area were recorded. **Results:** The flow modes in different anatomical segments of SSS appeared as one-way with low amplitude. The type of time-flow velocity curve was smooth and appeared as "slow descending-slow rising-slow descending". The difference of $R_{\Delta TH}$ and ΔV among the three groups were not statistically significant ($HR_{\Delta TH}=3.70, P=0.16; F_{\Delta V}=0.43, P=0.65$). The vascular area and MF in anterior, middle and posterior segments of SSS increased in turn and the difference among the three segments were statistically significant ($H_{\text{vascular area}}=35.18, H_{MF}=41.98$; both $P<0.01$). The difference in MV among the three groups was statistically significant ($H=15.14, P<0.01$), the difference in MV between anterior segment and middle segment had no statistical significance ($P>0.05$), but the MV of posterior segment was obviously higher than that of the anterior and middle segment with statistical difference ($P<0.01$). **Conclusion:** The physiological flow modes of the anterior, middle and

作者单位: 510150 广州, 广州医科大学附属第三医院放射科(麦慧、董天发、郭美芬), 妇科(李黎); 510095 广州, 广州医科大学
附属肿瘤医院放射科(钟熹); 511400 广州, 广东省妇幼保健院放射科(江魁明)

作者简介: 麦慧(1982-), 女, 广州人, 硕士, 主治医师, 主要从事妇产科、儿科及乳腺疾病的影像诊断工作。

通讯作者: 董天发, E-mail: 438863729@qq.com

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金项目(A2018147); 广东省医学科学技术研究基金项目(A2015103); 广东省科技计划项目(粤科规划字[2013]137号-8)

posterior segments of SSS are similar. PC-MRI can show the flow modes of SSS visually and accurately.

【Key words】 Superior sagittal sinus; Hemodynamics; Flow mode; Magnetic resonance imaging; Phase contrast

相位对比磁共振成像(phase contrast magnetic resonance imaging, PC-MRI)作为一项无创、定量的流体测量技术,无需注射对比剂,在颅内流体循环的定量研究中展现了广阔的应用空间,获得的时相-流速曲线能反映心动周期内流体的流速、流动方向随时间的动态变化情况等,能直观地观察流体的流动模式。目前已有学者采用 PC-MRI 对颅内动脉及脑脊液循环的流体动力学进行研究^[1-3],但将其应用于颅内静脉窦生理流动模式的研究甚少。上矢状窦(superior sagittal sinus, SSS)是大脑半球静脉引流的最主要途径,也是脑脊液回流的主要通道。SSS 行程长、解剖复杂,由前至后走行过程中伴随着浅静脉血流的不断注入,SSS 各解剖段的流动模式及血流动力学的变化规律有待阐明,本文拟应用 PC-MRI 探讨 SSS 前、中及后段生理流动模式及血流动力学的差异。

材料与方法

1. 一般资料

将 19 例健康志愿者纳入本研究,其中男 10 例,女 9 例,年龄 21~43 岁,平均(34.3±7.8)岁。纳入标准:健康的青中年志愿者,心率 60~100 次/分,律齐,无高血压、心脏病及血液系统疾病等,纳入研究前均行常规 MRI 平扫和 MRV 以排除脑缺血、静脉畸形等病变。本研究获得医院伦理委员会批准,所有志愿者在 MRI 检查前签署知情同意书。

2. 仪器和方法

使用 Philips Achieva 3.0T 多源超导 MR 成像系统和 8 通道感应头线圈。常规扫描序列为 3D MRV、横轴面 T₁WI、T₂WI、T₂-FLAIR 及矢状面 T₂WI。采用 MRV 图像进行定位,垂直于 SSS 的前段(额部)、中段(顶部)和后段(枕部)分别行 2D 流体定量(quantitative flow, QFlow)序列 PC-MRI 扫描(图 1):选择外周脉搏门控,编码方向由足向头,采用流动补偿技术,TR 25 ms,TE 3.5 ms,视野 150 mm×100 mm,层厚 5 mm,无间隔,矩阵 256×256,采集次数 2 次,心脏相位(Cardiac phase)数 16,翻转角 20°,编码速率 40 cm/s。

3. 图像分析

采用流体定量软件,于 Extended MRI Work-Space2.6.3.2 后处理工作站进行图像后处理。在 PC-MRI 的血管相位图上,分别在 SSS 的前、中及后段的血管断面绘制 ROI,获得 SSS 各段在心动周期内的时相-流速曲线和每个相位点的流体动力学数据(图 2),

记录收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)和舒张期峰值流速(peak diastolic velocity, PDV),以两峰值对应时相的差值除以 15 获得峰值时相差率,计算两个峰值流速的差值△V(即 PSV-PDV);记录平均流量(mean flow, MF)、平均流速(mean volume, MV)和血管面积(MF/MV)。所有操作由 2 位高年资影像医师独立完成,所有测量数据取两者的平均值。

4. 统计学分析

使用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析,以 P<0.05 为差异有统计学意义。正态分布的计量资料以均数±标准差的形式表示,若数据方差齐,采用单因素方差分析比较多组数据间的差异;若计量资料不符合正态分布或数据方差不齐,以中位数和四分位间距(M, Q)表示,采用 Kruskal-Wallis H 秩和检验比较多组数据间的差异;两组间的比较均采用 SNK 检验。

结 果

各段 SSS 的流动模式和血流动力学相关参数见表 1~2。

表 1 各段 SSS 流动模式相关参数的比较

参数	SSS 前段	SSS 中段	SSS 后段	H 值	P 值
PSV 峰值时相点	13,1	13,2	13,1	0.08	0.96
PDV 峰值时相点	8,2	8,1	8,1	3.45	0.18
峰值时相差率	0.33,0.06	0.33,0.06	0.33,0.13	3.70	0.16

表 2 各段血流动力学相关参数的比较

参数	SSS 前段	SSS 中段	SSS 后段	统计量	P 值
血管面积(cm ²)	0.12,0.05	0.26,0.10	0.31,0.12	35.18	<0.01
MV(cm/s)	11.20,3.61*	11.30,5.86*	15.00,5.70	15.14	<0.01
MF(mL/s)	1.27,0.66	3.37,1.56	5.03,1.98	41.98	<0.01
△V(cm/s)	5.77±2.30	6.36±2.64	6.45±2.36	0.43*	0.65

注:* SSS 前段和中段的 MV 比较,差异无统计学意义(P<0.05);血管面积、MV 和 MF 在其余组间进行两两比较,差异均有统计学意义(P<0.05)。

每个心动周期内 SSS 前、中及后段的血流在“基线”上下呈低幅、振荡式流动,时相-流速曲线平滑,呈“缓降-缓升-缓降”型。比较 SSS 前、中及后段的峰值时相差率,三组间的差异无统计学意义(H=3.70, P=0.16)。三组间△V 的差异亦无统计学意义(F=0.43, P=0.65)。

SSS 前、中及后段的血管面积、MF 均依次增大,三组间均存在显著差异(H_{血管面积}=35.18, H_{MF}=41.98, P<0.01)。SSS 前、中及后段三组间 MV 的差异存在统计学意义(H=15.14, P<0.01),其中前段和中段的 MV 无统计学差异,后段 MV 显著高于前、中段。

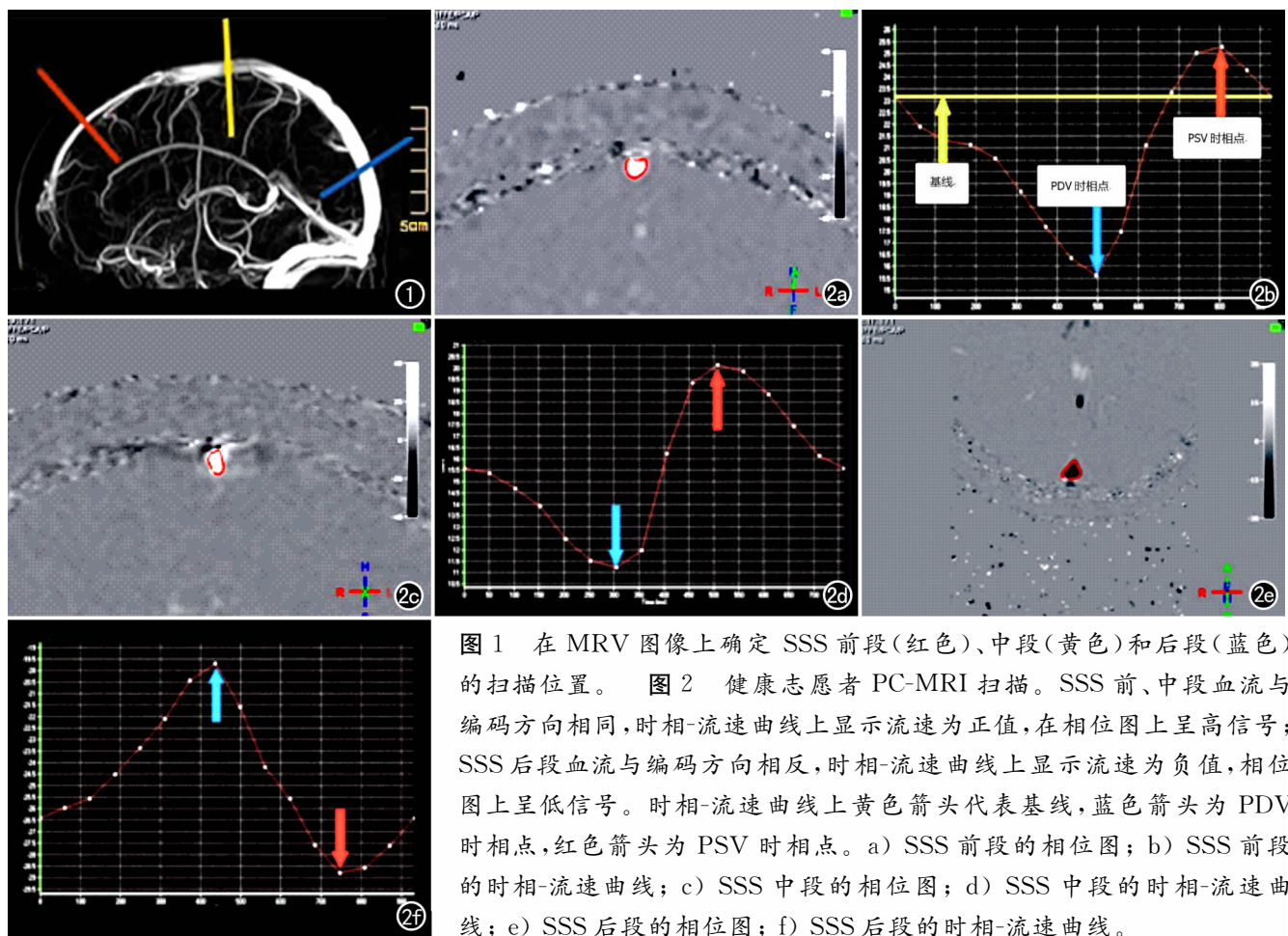


图 1 在 MRV 图像上确定 SSS 前段(红色)、中段(黄色)和后段(蓝色)的扫描位置。图 2 健康志愿者 PC-MRI 扫描。SSS 前、中段血流与编码方向相同,时相-流速曲线上显示流速为正值,在相位图上呈高信号;SSS 后段血流与编码方向相反,时相-流速曲线上显示流速为负值,相位图上呈低信号。时相-流速曲线上黄色箭头代表基线,蓝色箭头为 PDV 时相点,红色箭头为 PSV 时相点。a) SSS 前段的相位图; b) SSS 前段的时相-流速曲线; c) SSS 中段的相位图; d) SSS 中段的时相-流速曲线; e) SSS 后段的相位图; f) SSS 后段的时相-流速曲线。

讨论

本研究通过分析 PC-MRI 的时相-流速曲线特征观察 SSS 的生理流动模式,该曲线横轴为时相点,纵轴为各时相点对应的瞬时速率。研究结果显示 SSS 在心动周期内呈单向、低幅、振荡式流动,时相-流速曲线规律、走行平滑,可见一个波峰代表 PSV,一个波谷代表 PDV,定义 ΔV 为 PSV 与 PDV 的差值,定义 PSV-PDV 时相点差值除以 15 为峰值时相差率。“峰值时相差率”的定义在本项目组的前期研究^[4]中首次提出,原定义为 PSV-PDV 时相点差值/16,但在后续研究中本项目组认为一个心动周期设置 16 个时相点,即将一个心动周期平均分割成 15 等份,“峰值时相差率”定义为 PSV-PDV 时相点差值/15 更科学合理,故在本研究中修正定义。

ΔV 值反映流体流速在心动周期内的波动幅度。血管成像解剖学研究认为 SSS 中段的桥旁静脉属支最多且流入方式以垂直、逆行为主,同时发现与 SSS 前、后段相比,SSS 中段的蛛网膜颗粒分布最多^[5],目前认为蛛网膜颗粒是脑脊液回收的主要途径。因此,SSS 中段桥旁静脉属支的数目、流入角度及蛛网膜颗粒的解剖分布可能会使流体动力学变得更为复杂,成

为影响 SSS 中段流动幅度波动的重要因素,但是我们的研究并未发现 SSS 各段 ΔV 差异存在统计学意义,可能与本组研究样本量较少有关,桥旁静脉属支及蛛网膜颗粒的解剖分布是否会影响 SSS 流动模式尚有待更大样本量的研究证实。

峰值时相差率反映目标流体的流速由最低变成最大所需的时间占整个心动周期的比例,峰值时相差率越大表明流体流动越平缓,时相-流速曲线所见波峰、波谷变宽、变平,PSV 与 PDV 间曲线斜率越低。本研究中 SSS 前、中及后段时相-流速曲线的流速波峰位置无差异,提示心动周期内上矢状窦各段流动节律基本吻合。“门-克里二式动态平衡学说”认为生理状况下颅内容积及脑内动脉、静脉、脑脊液循环总量是恒定的,这是心动周期颅内压维持平衡的机制,该平衡一旦被打破势必会引起颅内压的变化^[6,7]。我们前期研究利用 PC-MRI 的时相-流速曲线发现基底动脉的峰值时相差率显著低于 SSS,中脑导水管脑脊液心动周期内呈收缩期向下、舒张期向上的双向振荡式流动^[4]。因此,尽管心动周期颅内循环总量维持动态稳定,动脉、静脉及脑脊液的流动模式却并未同步,三者在颅内压的平衡中扮演各自的角色。但就同种类别的流体而言,其流动模式是否同步有待研究,本组中 SSS 前、中

及后段以“同步”、“平缓”的流动模式参与了静脉的引流。该研究结果间接地反映了脑组织容积在心动周期内的“同步”变化。

PC-MRI 在脑脊液、脑血管流体动力学的定量研究中展现了其独特的应用价值^[8-10]。本研究的 SSS 前、中及后段血管面积、MV、MF 等血流动力学变化规律将为后续的研究提供一定参考。本组 SSS 由前至后血管面积、血流量依次递增,差异存在统计学意义,验证了伴随浅静脉的不断注入 SSS 的管径及流量逐渐增大的解剖生理。通常流体流速与管径面积呈反比,即流体通过管径较大的切面时流速会下降。然而,本组中 SSS 后段血管面积最大,其 MV 却显著高于前、中段。这与 SSS 腔内存在板层纤维素的节段性分布有关,后段板层纤维分布最多,SSS 末段到窦汇区的板层纤维素将窦腔分成多个独立的血流腔^[11],从而缩小单个血流腔的截面积,避免血流变慢和湍流,以确保 SSS 静脉血流迅速向窦汇回流。

本研究的局限性:样本量有限,部分数据不符合正态分布或方差不齐,不适合采用数值变量与多项无序分类变量关系分析中的优选统计学方法(单因素方差分析),只能采用次选方法(Kruskal-Wallis H 秩和检验),可能会导致统计分析过程中假阴性结果的增加;未比较年龄、性别组间 SSS 生理流动模式的差异;未比较 SSS 引流解剖变异对其流动模式的影响;缺乏病理状态下的对照。

本研究提示 SSS 前、中及后段的生理流动模式相似,PC-MRI 能直观、准确地评价 SSS 的流动模式,为进一步研究病理状态下的流动模式的改变提供一定的参考。目前利用 PC-MRI 时相-流速曲线研究循环的病理生理报道少见,郭立等研究认为 PC-MRI 时相-流速曲线可以鉴别 DeBakey I 型主动脉夹层的真腔和假腔^[12]。PC-MRI 时相-流速曲线用于 SSS 的流动模式评估为静脉窦血栓的早期预测与诊断提供新的思路值得期待。血栓或肿瘤压迫导致 SSS 梗阻,利用梗阻部位 SSS 前、后部的流动模式差异评估病情及治疗效

果同样值得期待。

参考文献:

- [1] 董天发,麦慧,陈展航等.慢性脑缺血血流动力学的 PCMRI 研究[J].实用放射学杂志,2017,33(6):925-928.
- [2] Battal B,Kocaoglu M,Bulakbasi N,et al.Cerebrospinal fluid flow imaging by using phase-contrast MR technique[J].Br J Radiol,2011,84(1004):758-765.
- [3] Stoquart-Elsankari S,Baledent O,Gondry-Jouet C,et al.Aging effects on cerebral blood and cerebrospinal fluid flows[J].J Cereb Blood Flow Metab,2007,27(9):1563-1572.
- [4] 钟熹,汤日杰,江魁明,等.相位对比磁共振成像观察颅内基底动脉、上矢状窦和中脑导水管的生理流动模式[J].中国医学影像技术,2014,30(12):1797-1800.
- [5] 张丽娟,吕发金,谢惠,等.上矢状窦旁桥静脉解剖形态的容积 CT 数字减影血管造影表现[J].中国医学影像技术,2010,26(6):1016-1020.
- [6] Bateman GA.Association between arterial inflow and venous outflow in idiopathic and secondary intracranial hypertension[J].J Clin Neurosci,2006,13(5):550-556.
- [7] Baledent O,Gondry-Jouet C,Meyer ME,et al.Relationship between cerebrospinal fluid and blood dynamics in healthy volunteers and patients with communicating hydrocephalus[J].Invest Radiol,2004,39(1):45-55.
- [8] Liu YJ,Huang TY, Lee YH, et al. The cerebral vasomotor response in varying CO₂ concentrations, as evaluated using cine phase contrast MRI: flow, volume, and cerebrovascular resistance indices [J]. Med Phys, 2012, 39(11): 6534-6541.
- [9] 张鸿日,彭静华,李小潘.相位对比法脑脊液电影磁共振成像在诊断脑室-腹腔分流装置梗阻中的应用[J].中国临床神经外科杂志,2017,22(7):467-469.
- [10] Zeeman GG,Hatab MR,Twickler DM.Increased cerebral blood flow in preeclampsia with magnetic resonance imaging[J].Am J Obstet Gynecol,2004,191(4):1425-1429.
- [11] 王娜,邓雪飞,陈丹,等.上矢状窦窦腔内纤维素分布的解剖学特征[J].解剖学杂志,2011,34(3):370-373.
- [12] 郭立,杨达宽,袁曙光,等.相位对比 MRI 时间-流速曲线判别 DeBakey I 型主动脉夹层真腔和假腔的价值[J].放射学实践,2010,25(4):397-399.

(收稿日期:2018-01-22 修回日期:2018-05-25)