

论 著

探讨导水管面积及ROI大小对PC-MRI流量检测的影响*

彭静华¹ 杨海鑫² 孟磊²
郭孝龙² 李小潘³ 张鸿日^{2,*}

1.河南科技大学第一附属医院神经内科
(河南 洛阳 471000)

2.河南科技大学第一附属医院神经外科
(河南 洛阳 471000)

3.河南科技大学第一附属医院影像中心
(河南 洛阳 471000)

【摘要】目的 探讨中脑导水管面积、感兴趣区域(ROI)大小对脑脊液(CSF)流量检测的影响。方法 19名志愿者纳入研究,3.0-T磁共振,手动ROI放置对导水管CSF流量定量分析,比较5、10、15mm²大小ROI检测CSF流量的结果(对应为SV5、SV10、SV15)。心动周期内进行12次扫描,测量导水管不同时间点的面积并进行分析。依据不同面积设计新方法计算流量(SVtotal),与常规方法检测的流量(SVnormal)进行比较。结果 SV5显著低于SV10(0.003±0.002 mL vs.0.0057±0.0025 mL, P=0.031)和SV15(0.0068±0.0034 mL, P=0.035)。心动周期内导水管的面积存在差别(P=0.01),SVTotal显著低于SVNormal(0.005±0.003 mL vs.0.0069±0.0027 mL, P=0.023)。结论 中脑导水管面积变化、ROI面积对CSF流量的检测有影响。

【关键词】脑脊液;中脑导水管;核磁共振;脑脊液电影;感兴趣区域;流量

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】河南省高端人才国际化培养项目
(0120180099);
河南省医学科技攻关省部共建项目
(SB201901066)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.03.009

Influence of Aqueduct Area and Region of Interest Size on Quantification of Stroke Volume in Healthy Volunteers Using Phase Contrast Cine MRI*

PENG Jing-hua¹, YANG Hai-xin², MENG Lei², GUO Xiao-long², LI Xiao-pan³, ZHANG Hong-ri^{2,*}.

1.Department of Neurology, The First Affiliated Hospital, and College of Clinical Medicine of Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan Province, China.

2.Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital, and College of Clinical Medicine of Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan Province, China.

3.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital, and College of Clinical Medicine of Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, Henan Province, China.

ABSTRACT

Objective To assess the influence of the area and the region of interest (ROI) in quantifying the aqueductal stroke volume (SV) measured with phase-contrast magnetic resonance imaging (PC-MRI) within the cerebral aqueduct at the level of the intercollicular sulcus. **Methods** Nineteen healthy volunteers (mean age 29.6 years) were enrolled in the study, and brain MRI examinations were performed on a 3.0-T system. Quantitative analysis of the aqueductal cerebrospinal fluid (CSF) flow was performed using manual ROI placement. ROIs were separately drawn for each of the 12 phases of the cardiac cycle, and changes in aqueduct size during the cardiac cycle were determined. The SV was calculated using 12 different aqueductal ROIs and compared with the SV calculated using a fixed ROI size. **Results** There was variation in the size of the aqueduct during the cardiac cycle was noted. In addition, the measured SV increased with a greater area of the ROI. A significant difference in the calculated SVs with the 12 variable ROIs was observed compared with that using a fixed ROI throughout the cardiac cycle. **Conclusion** The study results indicate a variation in the size of the cerebral aqueduct, which is used to calculate the SV during the cardiac cycle. To establish reliable reference values for the SV in future studies, a variable ROI should be considered and incorporated to account for cardiac cycle variations.

Keywords: CSF; Magnetic Resonance Imaging; Aqueduct; PC-MRI; Region Of Interest; Stroke Volume.

相位电影磁共振成像(PC-MRI)常用于测量中脑导水管脑脊液(CSF)的流量。用于正常脑积水患者、第三脑室造口术等的评估^[1]。中脑导水管CSF流量的计算受磁共振场强、序列参数和后处理软件等的影响^[2]。导水管面积可能会随着年龄、疾病和颅内压(ICP)而变化^[3];然而,导水管面积在单个心动周期内的变化目前尚无报道。此外,在计算脑脊液流量时,手动感兴趣区域(ROI)仍然被广泛使用^[1-3],手动ROI面积可能因为操作者的不同产生差异,而ROI差异对流量计算结果的影响尚无报道。因此,本研究旨在探索中脑导水管面积大小在心动周期内的变化、ROI面积大小影响中脑导水管CSF流量的测量。在此研究中,我们开发了一种心动周期内具有12个ROI的CSF流量计算新方法,并和常规测量方法的结果进行了比较,为中脑导水管CSF流量的计算提供参考。

1 材料和方法

1.1 一般资料 此项研究纳入19名健康志愿者,排除心律失常者。经河南科技大学第一附属医院伦理委员会批准,参与者均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 MR采集 仪器:3.0-T MRI系统(Phillips Achieva 3.0T TX,荷兰),16通道头部线圈和MR Extended Workspace R2.6.3.5工作站(Philips,荷兰)。常规获取T1加权(T1w)、T2w和T2w FLAIR图像。使用2D相位对比技术进行流量定量测量,数据采集与心动周期同步。使用以下成像参数:TR和TE取最小值,翻转角15°,FOV 150×150 mm,矩阵256×256,切片厚度4mm,速度编码值为12 cm/s,方向为足端至头端。根据参与者的速率,采集时间为3-6分钟。在丘间沟水平获得一个与导水管正交的平面(图1)。采用外周心电门控,根据R-R间期,在心动周期内扫描12次。使用工作站中配备的流量分析软件(Q-flow, Philips Healthcare)对脑脊液流量进行定量分析^[4-5]。

1.2.2 分析 首先,测量一个心动周期内导水管面积的变化。本研通过手绘ROI来测量导水管面积。ROI由两位放射科主治医师绘制,以导水管中点为中心对称绘制,尽量减少包围导水管周围的组织(图2A),分别测量12个次扫描的每个导水管的面积(图2B、2C)。根据心电图的特点,R-R间期平均12个扫描中第1次对应心室收缩前期,第9次扫描对应心房收缩前期,考虑这两个时间点心脏处于相反的生理状态,因此我们重点观察并定义第1和第9个时间点的面积为S1和S9,并分析他们的差异。

【第一作者】彭静华,女,副主任医师,主要研究方向:脑脊液循环障碍,癫痫。E-mail: jinghuapeng@126.com

【通讯作者】张鸿日,男,主任医师,主要研究方向:脑脊液循环障碍。E-mail: hongrizhang@126.com

其次,观察不同面积的 ROI 对流量计算的影响。由于正常人中脑导水管的直径范围为 2-3 mm(面积为 $3.14-7.06\text{mm}^2$)^[6]。因此,我们选择 1、2、3 倍导水管面积即 5、10 和 15mm^2 大小的椭圆形作为 ROI,分三组进行流量的测量的测量。将椭圆形 ROI 中心和导水管中心重叠,测量得流量值 SV 标记为 SV5、SV10、和 SV15,比较三组之间的差别。

最后,根据 12 次扫描,将心动周期流量进行 12 等分,根据每次不同面积,单独手绘 ROI,可得到 12 个不同的流速,计算每等分的流量,最后 12 个流量相加得到总流量 SVTotal。计算公式如下。

$$SV_{\text{Total}} = \left| \sum_{i=1}^{12} x_i \times t \right|$$

为 12 次不同流速, t 心动周期时间的 12 分之一。将常规测量的流量值定义为 SVNomal, 比较 SVTotal 组和 SVNomal 组的差别。两名放射科主治医师进行同样的培训后独立完成所有数据的测量,最终数据为两人的平均值。

1.3 统计分析 本研究数据均采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析,计量资料采用均数 ± 标准差描述;中脑导水管面积应用弗里德曼检验(Friedman)进行分析,如果具有统计学差异,则使用威尔科克森检验(Wilcoxon)进行多重比较。不同 SV 组的配对比较使用 Wilcoxon 检验进行分析。P<0.05 为差异具有统计学意义。使用

组内相关系数(ICC)比较两名放射科医生测量的面积和每组 SV 值。其中 0 到 1 的值表示不一致和完全一致。ICC 值小于 0.50、介于 0.50 和 0.75 之间、介于 0.75 和 0.90 之间以及大于 0.90 分别表示可靠性差、中等、良好和极好。

2 结果

2.1 19 名志愿者包括 9 名男性和 10 名女性 年龄在 20-58 岁之间,平均年龄为 (26.6 ± 8.5) 岁。所有志愿者均无神经系统疾病、无脑血管疾病或药物使用史。

2.2 12 个时间点中脑导水管面积的 Friedman 检验结果 显示,面积大小存在差异(P=0.01)。Wilcoxon 分析结果显示: S1 大于 S9 ($9.1556 \pm 2.5168\text{mm}^2$ vs. $7.1222 \pm 1.8021\text{mm}^2$, P = 0.023),差异具有统计学意义(图 4)。两位放射科医生绘画 ROI 面积的 ICC 值为 0.977(95% 置信区间 [CI], 0.938-0.991)。

2.3 在整个心动周期使用不同面积 ROI 检测流量的结果 SV5 显著低于 SV10($0.003 \pm 0.002\text{mL}$ vs. $0.0057 \pm 0.0025\text{mL}$, P = 0.031)和 SV15($0.0068 \pm 0.0034\text{mL}$, P = 0.035)。SV10 低于 SV15,但差异无统计学意义(图 5)。两名放射科医生测量的每搏输出量与 SV5 的 ICC 为 0.989(95% 置信区间 [CI], 0.952-0.998)、SV10 的 0.991(95% 置信区间 [CI], 0.961-0.998)和 0.988(SV15 的 95% 置信区间 [CI], 0.949-0.997)。

2.4 使用新方法计算和常规计算流量的比较结果 SVTotal 显著低于 SVNomal($0.005 \pm 0.003\text{mL}$ vs. $0.0069 \pm 0.0027\text{mL}$, P = 0.023)差异具有统计学意义(图 6)。

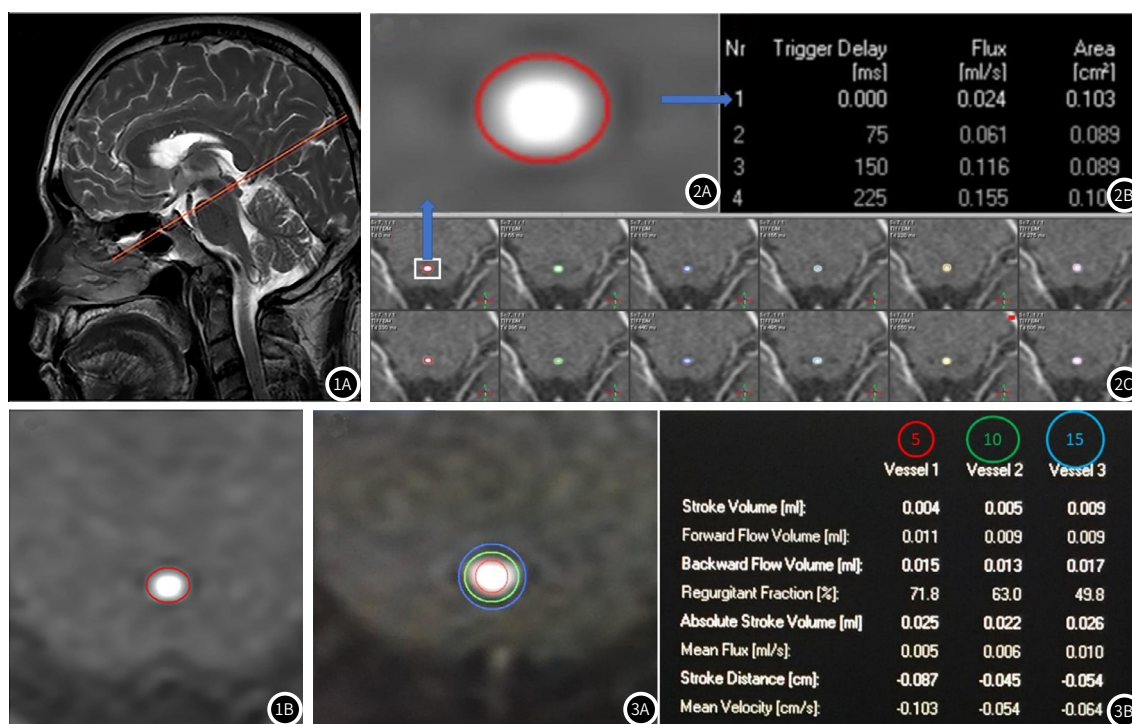


图1 扫描定位的示意图。(图1A)矢状 MRT2加权图像显示垂直于导水管(红线)成像平面,以评估CSF流动。(图1B)轴向相位对比图像显示导水管周围的环形 ROI。**图2** 测量心动周期内12个中脑导水管面积示意图。(图2A)ROI 被绘制导水管中心,周围组织尽可能少。(图2B)自动计算每个导水管面积和流量。(图2C)所有ROI均采用相同的标准绘画。**图3** 不同面积的ROI测量流量的示意图。(图3A)以中脑导水管为中心手绘面积为 5(红色)、10(绿色)和 15(蓝色) mm^2 的ROI。(图3B)经过自带软件计算,不同的ROI显示不同流量结果。

3 讨论

目前PC-MRI常用于阿尔茨海默病、脑积水和和其他神经系统疾病患者CSF循环的评估^[7-8]。中脑导水管CSF流量是CSF循环研究中使用的参数,但由于流量的计算方法存在差异。例如,在Bradley等人^[9]的一项研究中,CSF流量是舒张和收缩流量的平均值,定义为通过导水管的CSF尾部和颅侧流量的体积平均值;而在Sartoretti等人^[10]的研究中,导水管的CSF流量等于一个心动周

期中CSF的净流量(为正向流量减去反向流量)。另外在当前大多数后处理软件中,忽略了 ROI 区域对CSF流量的影响,于是在不同的研究中出现了各种形大小各异的手绘ROI^[8,9,10],甚至在一项研究中,对照组和治疗组的ROI面积存在显著差异^[11]。因此,目前报道的中脑导水管CSF流量结果存在较大的差异。而本研究发现,不同大小的ROI可导致不同的流量计算结果。可能原因是:中脑导水管壁周围的结构中含有血管,脑脊液流动也可能发生漏

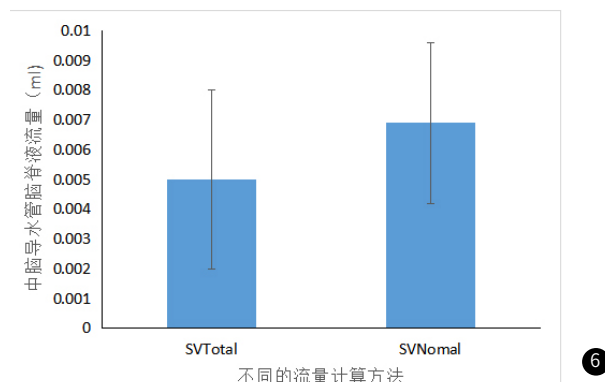
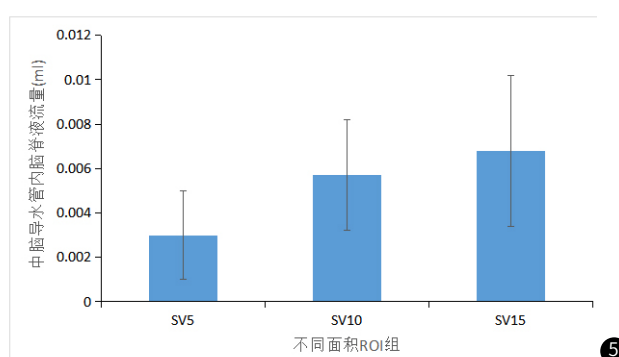
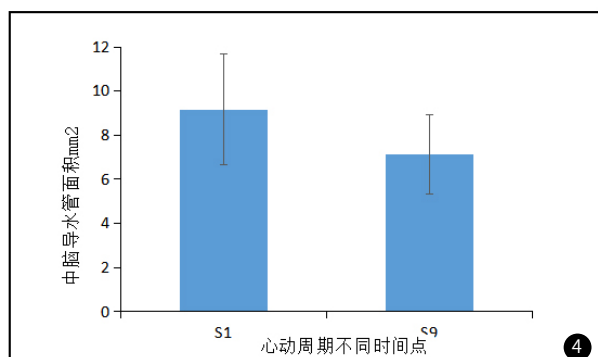


图4 显示S1和S9的差别结果显示S1大于S9, 差别具有统计学意义, $P < 0.05$ 。**图5** 三种不同面积ROI得到的流量值示意图。结果显示SV5明显低于SV10和SV15 ($P < 0.05$)。SV10低于SV15, 但差异无统计学意义。**图6** 心动周期分阶段测量和常规测量的结果图显示SVNoma1明显高于和SVTotal差别具有统计学意义, $P < 0.05$ 。

流。不同面积的ROI包含的血管和涡流不同, 从而导致检测流量结果的差异。

中脑导水管面积因人而异, Long 等人^[4]报道导水管面积变化与ICP相关, ICP与导水管面积之间存在非线性关系。Enzmann 等人^[12]报道, CSF流动的主要驱动力是血管收缩期间大脑的扩张; 在整个心动周期中动脉流入和静脉流出不相等, 血管收缩期间大脑短时间扩张, 根据此理论推测: 脑组织在动脉收缩期扩张并挤压中脑导水管, 导致中脑导水管面积变小; 而在动脉舒张过程中, 脑组织收缩, 中脑导水管面积扩大。在本研究中, 第1次扫描为对应的时间心室收缩前期, 此时脑组织开始扩张, 此时中脑导水管面积最大; 而第9次扫描对应的时间为, 为心室收缩末期, 脑组织扩张末期, 导水管面积最小。本研究结果和Enzmann 等的理论吻合。

目前CSF电影计算软件是默认中脑脑水管面积心动周期内固定的, 因此往往采用一个ROI来计算流量。本研究采用新的计算方法后发现, 中脑导水管面积变化影响CSF流量的检测。尽管何种计算方式更接近真实流量有待于进一步研究, 但由于中脑导水管面积的变化引起的CSF流量检测的误差应谨慎对待。

除了ROI的面积之外, CSF流量检测还可能受其他参数的影响。其中一个重要参数是VENC。低VENC需要大梯度, 从而导致长TE, 这会通过体素内移相增加信号损失, 尤其是在复杂流动的病理情况下, VENC值应设置为接近参与者中流体流动的速度^[10]。因此本研究选择了VENC(12cm/s)。

这项研究有几个局限性。第一, 样本相对较少, 总体结果可能存在一些不准确之处。第二, 本研究中使用了2D PC-MRI, 仅在一个空间方向上进行速度编码, 只能产生平面内速度图像; 然而流动可能是三维的过程, 需要通过3D分析更准确地研究^[13]。第三, 一些相关因素对呼吸、睡眠和年龄的影响, 也可能会影响了我们的结果。

综上所述, 中脑导水管的大小在心动周期中会发生变化。ROI面积的变化影响CSF流量的检测。在CSF流量检测时, 应考虑中脑导水管面积的变化及手绘ROI的影响。

参考文献

- [1] 方翠敬, 雷益, 林帆. PC-MRI对三脑室底造瘘术后脑脊液循环的研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2015, 13(8): 14-16.
- [2] 钟熹, 江魁明, 陈永露, 等. PC-MR测量中脑导水管脑脊液流动的影响因素[J]. 中国CT和MRI杂志, 2013, 11(1): 1-4.
- [3] Wymer DT, Patel KP, Burke WF, et al. Phase-contrast MRI: physics, techniques, and clinical applications[J]. Radiographics, 2020, 40(1): 122-140.
- [4] Long J, Lin H, Cao G, et al. Relationship between intracranial pressure and phase-contrast cine MRI-derived measures of cerebrospinal fluid parameters in communicating hydrocephalus[J]. Quant Imaging Med Surg, 2019, 9(8): 1413-1420.
- [5] Markenroth BK, Töger J, et al. Ståhlberg F. Investigation of cerebrospinal fluid flow in the cerebral aqueduct using high-resolution phase contrast measurements at 7T MRI[J]. Acta Radiol, 2018, 59(8): 988-996.
- [6] Yoshida K, Takahashi H, Saijo M, et al. Phase-contrast MR studies of CSF flow rate in the cerebral aqueduct and cervical subarachnoid space with correlation-based segmentation[J]. Magn Reson Med Sci, 2009, 8(3): 91-100.
- [7] 雷益. PC-MRI对脑脊液循环的研究价值[J]. 罕少疾病杂志, 2015, 22(1): 3-5.
- [8] Chiang WW, Takoudis CG, Lee SH, et al. Relationship between ventricular morphology and aqueductal cerebrospinal fluid flow in healthy and communicating hydrocephalus[J]. Invest Radiol, 2009, 44(4): 192-199.
- [9] Bradley WG, Scalzo D, Queralt J, et al. Normal-pressure hydrocephalus: evaluation with cerebrospinal fluid flow measurements at MR imaging[J]. Radiology, 1996, 198(2): 523-529.
- [10] Sartoretti T, Wyss M, Sartoretti E, et al. Non-invasive assessment of cerebrospinal fluid flow dynamics using phase-contrast magnetic resonance imaging in communicating hydrocephalus[J]. J Clin Neurosci, 2021, 93(11): 116-121.
- [11] Holmlund P, Qvarlander S, Malm J, et al. Can pulsatile CSF flow across the cerebral aqueduct cause ventriculomegaly? A prospective study of patients with communicating hydrocephalus[J]. Fluids Barriers CNS, 2019, 16(1): 40-41.
- [12] Enzmann DR, Pelc NJ. Cerebrospinal fluid flow measured by phase-contrast cine MR[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 1993, 14(6): 1301-1307.
- [13] Stadlbauer A, Salomonowitz E, Riet W, et al. Insight into the patterns of cerebrospinal fluid flow in the human ventricular system using MR velocity mapping[J]. NeuroImage, 2010, 51(1): 42-52.

(收稿日期: 2022-06-18)

(校对编辑: 谢婷婷)