

论 著

正常成人中脑导水管层面脑脊液流动MRI测量：与年龄和性别相关分析*

张皓钦¹ 关天明¹ 吴春华¹
苏 斌² 黄德荣¹ 高振华^{3,*}

1.广东省惠州市中大惠亚医院放射科

(广东 惠州 516081)

2.广东省惠州市中大惠亚医院病案统计室

(广东 惠州 516081)

3.广东省广州市中山大学附属第一医院

放射科 (广东 广州 510080)

【摘要】目的 对不同年龄、性别的正常成人的中脑导水管层面的脑脊液(CSF)波形、流速和流量进行MRI测量分析比较。方法 扫描设备为Philips 1.5T MR, 采用中脑导水管MR相对对比法CSF-QF序列扫描, 志愿者年龄区间在21-60岁之间, 均为健康成年人, 分别为21-30岁年龄组、31-40岁年龄组、41-50岁年龄组、51-60岁年龄组, 每组20人, 每组包含男性和女性各10人, 总共为80名志愿者。然后由2名MR操作者使用MR扫描仪自配的流动分析软件, 分别独立测量每个志愿者中脑导水管层面脑脊液的流体动力学数据, 包括平均流量、平均流速、最大流速。结果 所有志愿者中脑导水管层面的脑脊液流量或流速的变化曲线均表现为光滑平整的正弦波形。一致性检验显示2名MR操作者所测量的流体动力学数据的一致性良好(信度系数为0.97-0.99), 继而采用2名MR操作者所测量的中脑导水管层面脑脊液的流体动力学数据的平均值做统计学分析。分析表示在各年龄组内, 其男性与女性脑脊液的平均流量、平均流速、最大流速均无统计学差异($P>0.05$); 男性在不同年龄组间, 其脑脊液的平均流量、平均流速、最大流速均无统计学差异($P>0.05$); 女性在不同年龄组间, 其脑脊液的平均流量、平均流速、最大流速均无统计学差异($P>0.05$)。结论 在21-60岁的正常成人中, 其中脑导水管层面脑脊液流动的MR测量具有良好的可重复性, 其平均流量、平均流速、最大流速均不受年龄和性别影响。

【关键词】中脑导水管; 脑脊液流动;
磁共振成像; 相位对比

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】广东省惠州市科技计划项目
(2018Y298)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.12.008

MRI Measurement of Midbrain Aqueductal Cerebrospinal Fluid Flow in Normal Adults: Analysis with Age and Gender*

ZHANG Hao-qin¹, GUAN Tian-ming¹, WU Chun-hua¹, SU Bin², HUANG De-rong¹, GAO Zhen-hua^{3,*}.

1.Department of Radiology, Hui Ya Hospital of the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Huizhou 516081, Guangdong Province, China

2.Department of Medical Records Management, Hui Ya Hospital of the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Huizhou 516081, Guangdong Province, China

3.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To conduct MRI measurement of midbrain aqueductal cerebrospinal fluid (CSF) waveform, velocity and flux in normal adults with different ages and genders. **Methods** 80 healthy volunteers aged 21-60 years old were scanned with phase contrast CSF-QF sequence by using Philips 1.5T MR machine. They were divided into four groups according to age: 21-30 years old group, 31-40 years old group, 41-50 years old group and 51-60 years old group, with 20 persons (including 10 males and 10 females) in each group. The flow velocity code is 12cm/s. The average flow velocity, average flow flux and maximum flow velocity of CSF in midbrain aqueduct were measured by two MR operators independently using flow analysis software. **Results** CSF flow waveforms in midbrain aqueduct in all volunteers were smooth sine wave. The consistency test showed that the data from the two testers were consistent (the reliability coefficient was 0.97-0.99), and the average value from these two data was taken for statistical analysis. There was no statistical difference of CSF average flow velocity, average flow flux and maximum flow velocity between male and female among all four age groups ($P>0.05$), and also no statistical difference among all four age groups for males or females ($P>0.05$). **Conclusion** MRI measurement of midbrain aqueductal CSF waveform, velocity and flux in normal adults aged 21-60 years old has good repeatability. The average flow velocity, average flow flux and maximum flow velocity of CSF in midbrain aqueduct are not affected by age and gender, which can provide normal reference for brain disease research.

Keywords: Midbrain Aqueduct; Cerebrospinal Fluid Flow; Magnetic Resonance Imaging; Phase-contrast

多个研究表明, 正常的脑脊液循环常常会受到各类颅内病变的影像, MR相位对比成像是目前唯一一种无创且有效的用于评估脑脊液流体动力学的方法, 临床上已逐渐将其应用于脑脊液循环障碍性疾病的诊断和术后疗效评估^[1-8]。在以往文献中, 对正常人中脑导水管层面脑脊液的MR流体动力学测量的正常值范围跨度较大, 不能很好地被实际临床所应用, 对年龄和性别同时分组的深入研究也不多^[9-11]。本研究采用Philips 1.5T MR相位对比成像, 对80例健康成人中脑导水管层面脑脊液流动的波形、速率、流量进行年龄和性别分组测量, 观察CSF流动的MR测量结果是否受年龄和性别的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取男性和女性志愿者各40人, 总共80人, 均为健康成年人, 其年龄范围在21-60岁之间。将志愿者按年龄分成4组: 21-30岁组、31-40岁组、41-50岁组和51-60岁组, 每组均20人, 每组中男性和女性各10人。所有志愿者均未发现神经系统疾病, 无心血管疾病史, 无高血压疾病史; 除颅内少量缺血灶, 所有志愿者头颅MRI扫描均未见异常。

1.2 检查方法 检查前取下志愿者身上所有金属物品, 核对身份信息。志愿者取仰卧位, 保持平静呼吸。使用飞利浦公司生产的1.5T MR扫描仪进行检查。所有受检者先行常规头颅轴位T₁WI、T₂WI、T₂-FS序列扫描, 排除脑缺血灶以外的颅内病变。然后使用外周心电门控(PPU), 将指脉压置于左手中指, 扫描采集脑脊液相位对比CSF-QF序列, 在中脑导水管正中矢状面图像上, 选择中部垂直于导水管的层面作为测量区域。扫描参数: TE、TR均选择最短, 视野(FOV): 80mm×80mm, 层间隔: 0mm, 层厚: 4mm, 翻转角: 15°, 矩阵: 256×128, 激励次数(NSA): 3次, 流速编码方向为足端至头端, 大小为12cm/s, R-R间隔重建相位数: 16。

1.3 图像分析 由2名放射科MRI操作者使用MR扫描仪自配的流动分析软件, 分别独立测量80名志愿者中脑导水管中部层面的脑脊液流体动力学数据(包括平均流量、平均流速和最大流速), 结果采用($\bar{x} \pm s$)形式表达。

由两名放射科MRI操作者勾画出中脑导水管管腔的感兴趣区(ROI), 通过MR扫描仪自配的流动分析软件处理, 可在一个心动周期内, 自动生成以脑脊液流量或者脑脊液流速为纵坐标轴, 以R-R间期为横坐标轴的脑脊液流量或流速的变化曲线。观察该曲线的波形(U形、倒U形、正弦波形、不规则形)以及曲线是否光滑平整。

【第一作者】张皓钦, 男, 住院医师, 主要研究方向: 医学影像诊断。E-mail: 1047661899@qq.com

【通讯作者】高振华, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 医学影像诊断。E-mail: zhenhua_gao@163.com

1.4 统计学处理 采用组内相关系数方ICC对2名MR操作者所测量的流体动力学数据进行一致性检验；使用独立样本t检验检验各年龄组内男性和女性各流体动力学测量数据是否存在差异；使用方差分析检验男性不同年龄组间各流体动力学测量数据是否存在差异；使用方差分析检验女性不同年龄组间各流体动力学测量数据是否存在差异；年龄21-60岁健康成人的中脑导水管层面脑脊液各流体动力学测量数据与年龄的Pearson相关分析；所有统计结果均以 $P<0.05$ 视为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 中脑导水管层面脑脊液流动曲线表现 80名志愿者中脑导水管中部层面脑脊液流动曲线均表现为正弦波形，曲线光滑平整(图1)。

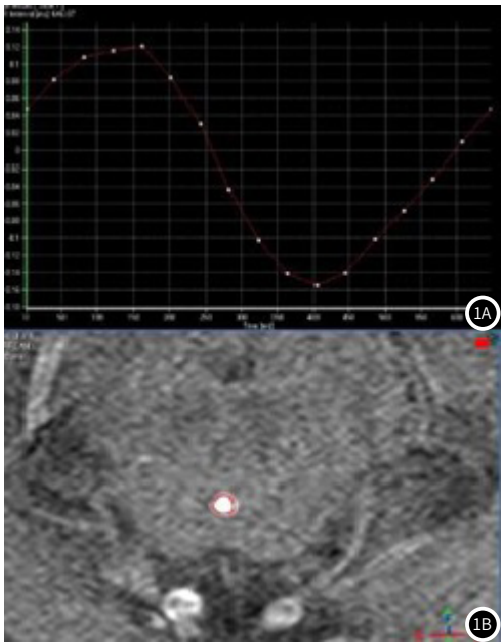


图1A-图1B 正常志愿者中脑导水管层面脑脊液流动曲线及测量。图1A脑脊液流动曲线表现为正弦波形；图1B于中脑导水管中部层面进行脑脊液流体动力学测量。

2.2 2名MR操作者所测量的脑脊液数据的一致性检验 经检验后平均流量信度系数为0.98，最大流速信度系数为0.99，平均流量信度系数为0.97，2位测量者独立测量的两组数据一致性良好，可使用2位MR操作者所测量的脑脊液流体动力学数据的平均值进行统计学分析(一般认为信度系数低于0.4表示信度较差，大于0.75表示信度良好)。

2.3 男性和女性各年龄组内各测量指标的t检验统计结果 每个年龄组内平均流量、平均流速和最大流速在男女性别之间t检验统计量t值和P值见表1。对于21-30岁、31-40岁、41-50岁、51-60岁这四个不同的年龄组，每个年龄组内男性与女性的各脑脊液流体动力学测量指标均无统计学差异($P>0.05$)。

2.4 不同年龄组间测量指标在不同性别之间的方差分析检验统计结果 (1)不同年龄组间男性志愿者平均流量、平均流速和最大流速之间的方差分析统计量F值和P值分别如下：平均流量组间 $F=0.703$ ， $P=0.557$ ；最大流速组间 $F=0.924$ ， $P=0.439$ ；平均流速组间 $F=2.540$ ， $P=0.072$ 。由此可见，男性志愿者不同年龄组间各指标无统计学差异($P>0.05$)。(2)不同年龄组间女性志愿者平均流量、平均流速和最大流速之间的方差分析统计量F值和p值分别如下：平均流量组间 $F=0.451$ ， $P=0.718$ ；最大流速组间 $F=0.328$ ， $P=0.805$ ；平均流速组间 $F=0.290$ ， $P=0.833$ 。由此可见，女性志愿者不同年龄组间指标无统计学差异($P>0.05$)。(3)21-60岁(不分性别)全部志愿者中脑导水管脑脊液流动的平均流量、平均流速和最大流速与年龄关系的散点图见

图2，其Pearson相关性分析结果如下：平均流量与年龄Pearson值 $=-0.128$ ， $P>0.05$ ；平均流速与年龄Pearson值 $=-0.202$ ， $P>0.05$ ；最大流速与年龄Pearson值 $=0.096$ ， $P>0.05$ 。由此可见，21-60岁成人志愿者中脑导水管脑脊液流动的平均流量、平均流速、最大流速与年龄均无明显相关性。

表1 男性和女性各年龄组内各测量指标的t检验统计结果

指标	年龄组	t值	P值
平均流量	21-30岁	-0.107	0.916
	31-40岁	0.000	1.000
	41-50岁	1.020	0.320
	51-60岁	-0.839	0.413
平均流速	21-30岁	-0.693	0.497
	31-40岁	0.810	0.428
	41-50岁	-1.403	0.178
	51-60岁	-1.131	0.273
最大流速	21-30岁	-0.552	0.587
	31-40岁	-0.447	0.660
	41-50岁	0.658	0.519
	51-60岁	-1.418	0.173

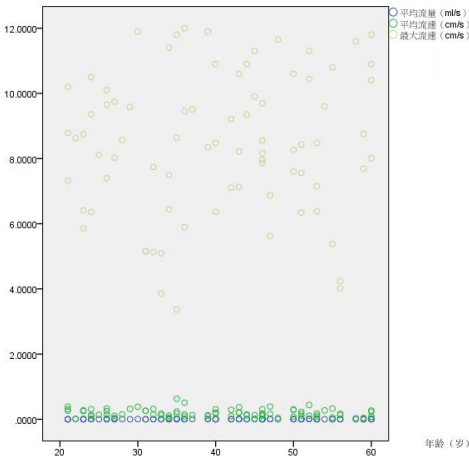


图2 21-60岁志愿者中脑导水管脑脊液流动的平均流量(蓝色圈)、平均流速(绿色圈)、最大流速(黄色圈)与年龄关系的散点图，三个指标均与年龄无明显相关性。

3 讨 论

3.1 脑脊液流动与研究意义 脑脊液由脑室中的脉络丛产生，各脑室产生的脑脊液经中脑导水管汇入第四脑室，再由第四脑室的正中孔和侧孔流入脑和脊髓的蛛网膜下腔；进入蛛网膜下腔后，脑脊液在脊髓背侧向下流至腰椎区，然后流转至脊髓前方并向上经基底池直达颅顶，最后经上矢状窦旁的蛛网膜颗粒回流入上矢状窦，最终汇入人体静脉系统。脑脊液在维持颅内压的相对稳定方面起到重要作用。在正常人体中，脑脊液的产生和吸收处于动态平衡^[2]。以往各类研究表明，多种颅内病变会导致患者脑脊液循环状态异常，研究明了脑脊液流体动力学特征，可以为这些颅内病变的诊治提供相关依据和疗效评价^[1-8]。

3.2 脑脊液流动的MR成像 早期MR速度成像仅用于研究血管系统，1985年Feinberg等^[12]最早将其运用于脑脊液流动的研究。

1994年,磁共振相位对比成像首次被Enzermann等^[13]应用于正常人脑脊液流体动力学的研究,并发现了脑脊液的搏动性流动与心脏搏动密切相关。随着磁共振技术的发展,人们通过结合相位对比成像与心电门控技术,使脑脊液流动相位位移与时间结合,并通过流动分析软件,获取脑脊液流动曲线,以及流动速度和流量数据。在每个心动周期内,均表现为由头侧与向足侧的双向节律性流动,两种方向的流速流量均可呈现逐渐平滑的曲线变化,可呈U形、倒U形或正弦波形^[14-15]。本研究使用外周心电门控、R-R间隔重建相位数16、流速编码方向由足端至头端,通过规范化扫描,获取同质化的图像和数据,得到80例Philips 1.5T MR中脑导水管脑脊液流动的光滑曲线,呈正弦波形曲线。在此基础上,由2名放射科MR操作者使用MR扫描仪自配的流动分析软件,分别独立测量中脑导水管中部层面脑脊液的平均流量、平均流速、最大流速,并将2名MR操作者所测量的数据进行一致性检验,结果表明测量结果均具有良好的一致性和可重复性。

3.3 脑脊液流动的MR测量结果 在以往的文献研究中,对正常人中脑导水管层面脑脊液流体动力学的MR测量结果存在较大差异,这削弱了其在临床实际工作中的参考价值。通过国内文献复习^[2-16],我们认为测量结果可能受到以下因素的影响:(1)不同个体、不同部位(中脑导水管入口、中间段和出口段)和不同年龄(儿童、成人和老年人)的脑脊液的流体动力学测量结果本身可能就存在差异;(2)测量使用的MRI设备(不同制造商)、场强(1.5T和3.0T)不同;(3)操作人员选择测量层面位置、扫描方向、感兴趣区大小、以及脑脊液流动相位/幅度图像窗宽窗位调整的经验;(4)MR成像参数有所不同,包括TR时间、TE时间、翻转角、采样次数、速度编码方向以及预设流速编码大小;(5)大多数研究对正常中脑导水管脑脊液测量指标的样本量较小,年龄组跨度较大,对年龄和性别的分组研究不多。

相对于以往研究,本研究采用Philips 1.5T MR对80例志愿者正常中脑导水管层面脑脊液流动参数进行年龄和性别分组研究,结果表明:年龄在21-60岁的正常成人中,其中脑导水管中部层面脑脊液的流体动力学测量结果(包括平均流量、平均流速、最大流速)基本稳定,并不受年龄和性别的影响,与以往研究结果^[10,11,14]相似,结合我们前期研究缩窄了以往文献报道的正常值范围^[1],为脑脊液循环障碍性疾病的相关研究提供进一步参考依据。

参考文献

- [1] 关天明, 黄德荣, 苏斌, 等. 成人正常与异常脑脊液流动的MRI测量比较[J]. 中国继续医学教育, 2020, 12(23): 105-107.
- [2] 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: 14-16.
- [3] 张成, 石长斌. 磁共振相位对比电影成像法在Chiari I型畸形诊断与治疗中的应用[J]. 临床神经外科杂志, 2018, 15: 232-235.

- [4] 曾双林, 谭利华. 紧张型头痛患者导水管平面脑脊液流动相位对比法磁共振成像研究[J]. 中南大学学报(医学版), 2014, 39: 168-172.
- [5] 黄生炫, 刘窗溪, 熊云彪. MR相位对比电影成像在脑脊液循环障碍性疾病中的应用[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2012, 17: 333-335.
- [6] 赵海军, 范涛. 以脑脊液动力学分析为依据微创减压治疗Chiari畸形I型[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2019, 24: 267-270.
- [7] Fan T, Zhao HJ, Zhao XG, et al. Surgical management of Chiari I malformation based on different cerebrospinal fluid patterns at the cranial-vertebral junction[J]. Neurosurgical Review, 2017, 40: 663-670.
- [8] 林帆, 雷益, 方翠敬. 正常脑压性脑积水与脑血管病脑脊液动力学的差异[J]. 深圳中西医结合杂志, 2018, 28: 7-9.
- [9] 王晶. 3.0T MR在CSF循环系统不同解剖部位的动力学分析[J]. 影像研究与医学应用, 2019, 3: 117-118.
- [10] 尚华, 刘怀军, 耿左军, 等. 应用3.0T MR相位对比成像定量研究中脑导水管脑脊液流动的性别和年龄差异[J]. 河北医药, 2011, 33: 835-837.
- [11] Unal O, Kartum A, Avcu S, et al. Cine phase-contrast MRI evaluation of normal aqueductal cerebrospinal fluid flow according to sex and age[J]. Diagn Interv Radiol, 2009, 15: 227-231.
- [12] Feinberg DA, Mark AS. Human brain motion and cerebrospinal fluid circulation demonstrated with MR velocity imaging[J]. Radiology, 1987, 163: 793-799.
- [13] Enzermann DR, Ross MR, Marks MP, et al. How blood in flow major cerebral arteries measured by phase-contrast cine MRI[J]. Am J Neuroradiol, 1994, 15: 123-129.
- [14] 尚国松, 范涛. 磁共振相位对比电影法在脑脊液流体动力学领域的研究现状[J]. 中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2013, 3: 62-64.
- [15] 宋扬, 谭晓天, 王雪梅. 3.0T MRI对中脑导水管脑脊液流动的研究[J]. 磁共振成像, 2015, 6: 172-177.
- [16] 车英玉, 付汪星, 杨子涛, 等. 磁共振中脑导水管脑脊液流动成像在正常小儿的研究分析[J]. 中华小儿外科杂志, 2016, 37: 181-185.

(收稿日期: 2023-04-03)

(校对编辑: 谢诗婷)