

论 著

正常成人肺动脉瓣前后血流动力学的磁共振相位对比法研究

无锡明慈心血管病医院影像科
(江苏 无锡 214000)

李 琼 张青青 曹 勇
吴 帆 胡议镭 赵正斌
杨广夫

【摘要】目的 探讨磁共振相位对比法(PC-MRI)测量肺动脉瓣前后的血流动力学改变及临床应用价值。**方法** 选取33例健康青年志愿者,使用Siemens SomatomAera 1.5T磁共振系统, Syngo Argus 血流测量软件,做垂直于肺动脉瓣前后的通过平面的PC-MRI,统计肺动脉瓣前后的峰值流速(Peak Velocity, PV)、平均流速(Average Velocity, AV)及每分钟平均流量(Average Flow Per Minute, AFPM),比较肺动脉瓣前后的测量数据,利用Argiento P公式和Bernoulli方程分别计算主肺动脉平均压(mean pulmonary arterial pressure),标记为mPAPA及mPAPB,并统计两者肺动脉压力正常值的差异。**结果** 本组肺动脉瓣前后PV、AV无显著差异($P>0.05$);瓣后AFPM较瓣前大($P<0.05$)。按照Argiento P公式及Bernoulli方程计算肺动脉平均压力(mPAPA, mPAPB)经统计分析,发现二者有显著差异性($P=0.000$)。**结论** PC-MRI可以准确测量肺动脉瓣前后的血流速度及流量,并可计算其压力值,对研究肺动脉的血流动力学改变有重要价值,为特发性肺动脉高压(IPAH)的诊断和评估建立了正常MRI标准。

【关键词】 肺动脉瓣前后; 血流动力学; 相位对比法; 特发性肺动脉高压

【中图分类号】 R543.2; R445.2

【文献标识码】 A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2018.07.007

通讯作者: 杨广夫

PC-MRI Study of Hemodynamics of Before and After the Normal Pulmonary Arterial Valve

LI Qiong, ZHANG Qing-qing, CAO Yong, et al., Department of Imaging, Wuxi Mingci Cardiovascular Hospital, Wuxi 214000, Jiangsu Province, China

[Abstract] Objective To study the blood flow dynamics changes and clinical value of before and after the pulmonary arterial valve with PC-MRI. **Methods** 33 healthy youth volunteers were enrolled. Siemens SomatomAera 1.5T magnetic resonance system and Syngo Argus flow measurement software were used in this study. The peak and average velocity and the average flow per minute before and after the pulmonary arterial valve were measured by perpendicular to the point of 1.5cm before and after the pulmonary valve with through-plane PC-MRI. The main pulmonary arterial mean pressure(mPAP) with Argiento P formula (mPAPA) and Bernoulli equation (mPAPB) were calculated and compared separately. **Results** The peak and average velocity before and after the valve had no significant differences($P>0.05$) and there was a statistical differences between that of average flow per minute($P<0.05$). According to the Argiento P formula and Bernoulli equation, the mean pulmonary arterial pressure have diffencese($P=0.000$). **Conclusion** The hemodynamics before and after the pulmonary valve can be measured accurately by PC-MRI, which is a valuable method for assessing the pulmonary blood flow dynamics changes, especially for the diagnosis and evaluation of the Idiopathic pulmonary hypertension.

[Key words] Before and After the Pulmonary Arterial Valve; the Flow Measurement; phase-contrast MRI; Idiopathic Pulmonary Hypertension

心血管疾病为国内外高发疾病, 心血管病的磁共振成像(MRI)检查已成为影像研究的热点。MRI成像流体测量技术是一种无创、准确的检查方法, 已应用于临床实践。本文旨在利用相位对比法(phase-contrast MRI, PC-MRI)研究肺动脉瓣前后的血流动力学改变, 以提高肺动脉相关疾病的诊断及治疗效果评价, 尤其是特发性肺动脉高压(idiopathic pulmonary arterial hypertension, IPAH)的诊断和治疗, 为PAH的诊断提供有价值的无创检查手段, 建立国人肺动脉瓣前后MRI正常标准范围。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2016年10月至2016年12月间经医院伦理委员会批准, 选取健康成年自愿者33人, 年龄19~38岁, 平均年龄27.32岁。其中男性17人, 年龄19~36岁, 平均年龄26.35岁; 女性16人, 年龄21~38岁, 平均年龄28.38岁。分别记录受检者身高、体重, 计算体表面积(BSA)。

1.2 检查方法 MRI检查使用Siemens公司SomatomAera 1.5T磁共振系统。线圈使用床下平板线圈1-3单元与体部1-3线圈单元结合, 使用心电门控技术采集。影像数据处理使用Syngo工作站, Argus血流分析软件。扫描方法包括定位扫描和流量扫描。定位扫描包括: 横切位Haste及冠状位、矢状位True FISP序列。Haste成像条件: TR 987ms, TE 27ms, FOV 340mm, FOV Phase 68.8%, Slice 8.0mm, Average 1。True FISP成像条件: TR 495.77ms, TE 1.65ms, FOV 340mm, FOV

Phase 81.3%, Slice 6.0mm, Average 1。在矢状位定位肺动脉瓣,然后作垂直于肺动脉瓣前后的电影相位对比序列。流量扫描定位于距离肺动脉瓣前后1.5cm处(图1、图5),流速编码设为150cm/s。令被测试者屏气,进行通过平面(through-plane)的血流测量序列,序列条件为TR 42.96ms, TE 3.01ms, FOV 340mm, FOV Phase 81.3%, Slice 6.0mm, Average 1。检查中记录受检者心率。

1.3 影像学分析及测量方法

由三名经验丰富的诊断医师进行分析,利用Argus血流分析软件定位肺动脉瓣前后通过平面的相位重聚图像、幅度图、相位对比图像,见图2-4、图6-8。取血管横断面轮廓清晰者手动定义血管分析的ROI,然后进行血管评价,分别测量三次,最终数据取3次的平均值。Argus血流分析软件显示了血流测量数据,本组测量数据记录包括下列数据的绝对值:肺动脉瓣前后通过平面的PV(cm/s)、AV(cm/s)、AFPM(L/min)。

1.4 统计学分析

使用SPSS 20.0软件系统对男女两组统计数据进行独立样本检验(independent samples t-test),如检验发现组间无差异($P>0.05$),则将男女两组数据合组,分别统计各观察数据的均值($\bar{x}$)和标准差(s)。对肺动脉瓣前后的PV、AV及AFPM进行配对样本检验(paired-samples t-test),检验水平取 $P<0.05$ 认为有显著差异。通过Argiento P肺动脉压力公式 $[(mPAP)=1.37*CO+8.2mmHg(CO代表心流出量(L/min))]$,计算mPAPA。通过Bernoulli方程,肺动脉平均压力 $[mPAP(mmHg)=4*Vmax^2(m/s)+RAP]$,计算mPAPB。利用配对样本

检验比较两组方程计算数据。

2 结果

2.1 男女两组年龄比较 男性17例,平均年龄 (26.35 ± 5.49) 岁,女性16例,平均年龄 (28.38 ± 6.75) 岁,经过独立样本检验, $P=0.299(<0.05)$,将男女合组,计算年龄平均值为 (27.23 ± 6.04) 岁。

2.2 男女瓣前PV、AV、AFPM的比较 见表1。肺动脉瓣前男女两组的PV、AV、AFPM组间比较无统计学差异,合组后统计瓣前PV、AV、AFPM的 $(\bar{x}\pm s)$ 。

2.3 男女瓣后PV、AV、AFPM的比较 见表2。肺动脉瓣后男女两组的PV、AV、AFPM组间比较无统计学差异,合组后统计瓣后PV、AV、AFPM的 $(\bar{x}\pm s)$ 。

2.4 男女瓣前后PV、AV及AFPM的比较 见表3。肺动脉瓣前后的PV、AV无显著统计学差异($P>0.05$),瓣前后AFPM有统计学差异($P<0.05$)。

2.5 男女瓣前后压力的比较 本组通过Argiento肺动脉压力公式分别计算肺动脉瓣前后的压力(mPAPA),发现肺动脉瓣后压力高于瓣前压力,其差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.6 主肺动脉压力的比较 本组根据Argiento方程和Bernoulli方程分别得出mPAPA和mPAPB,比较,其差异有统计学意义($P<0.05$),见表4。

3 讨论

3.1 肺动脉血流测量的意义 肺动脉血流测量为观察肺动脉瓣前后的血流动力学改变,本文试图使用MRI为肺动脉相关疾病的无创检查建立正常检查标准和诊断依据。肺动脉高压(pulmonary

arterial hypertension, PAH)是以肺动脉压力升高为临床特征的一种病理生理状态,是临床常见的综合征,PAH是以右心导管术为金标准,定义为静息状态下,肺动脉平均压 $\geq 25mmHg(1mmHg=0.133kPa)^{[1]}$ 。而特发性肺动脉高压(IPAH)是指原因不明的肺血管阻力不断升高,右心负荷不断加重逐渐导致右心功能衰竭的一种恶性肺血管疾病。IPAH起病隐匿,无特异性,临床容易误诊漏诊。而当IPAH进一步发展为右心功能衰竭,患者致残、致死的几率明显提高。有研究报道,大约有超过20%的早期IPAH患者得到明确诊断的时间超过2年,而这种延迟诊断在年龄小于36岁,并且有共存疾病的患者中普遍存在^[2]。IPAH患者,调查显示发病年龄在20~50岁之间,女性较为多见,及早诊断有助于改善患者预后^[3]。所以,本研究选取了20~40岁的健康年轻人。

3.2 IPAH的诊断方法

目前,IPAH的诊断方法包括很多;其中对PH诊断和治疗起关键作用的是超声心动图(echocardiogram, ECG)和右心导管术(right heart catheterization, RHC)。

3.2.1 ECG是临床诊断IPAH的最常用手段。 ECG测量肺动脉收缩压(PASP)是基于三尖瓣返流的存在,利用多普勒测量三尖瓣返流的最大喷射流速(TRV),再根据Bernoulli方程 $PASP=(4*TRV^2)+RAP$ 计算肺动脉压,其中RAP是根据下腔静脉随大小和呼吸流量的变化所测得的右房压力值。当PASP大于36,小于等于50,而TRV介于2.8~3.4之间,不能排除PAH的可能,需要RHC进一步确诊^[4];另外,有研究表明,与RHC比较,ECG测得的PASP值可以有 $\pm 10mmHg$

表1 男女瓣前PV、AV、AFPM的比较

测量指标	性别	($\bar{x} \pm s$)	P值	男女合组后测量值($\bar{x} \pm s$)
PV (cm/s)	男	76.53 ± 15.91	0.535	73.57 ± 15.00
	女	69.70 ± 13.34		
AV (cm/s)	男	18.59 ± 5.35	0.348	17.94 ± 4.61
	女	17.09 ± 3.43		
AFPM (L/min)	男	4.85 ± 0.68	0.334	4.59 ± 0.93
	女	4.15 ± 1.16		

表2 男女瓣后PV、AV、AFPM的比较

测量指标	性别	($\bar{x} \pm s$)	P值	男女合组后测量值($\bar{x} \pm s$)
PV (cm/s)	男	82.36 ± 13.04	0.118	77.59 ± 12.15
	女	71.36 ± 7.48		
AV (cm/s)	男	18.77 ± 4.49	0.083	17.73 ± 3.78
	女	16.36 ± 2.02		
AFPM (L/min)	男	5.22 ± 0.68	0.709	4.88 ± 0.79
	女	4.32 ± 0.67		

表3 瓣前、瓣后PV、AV、AFPM的比较

测量指标	($\bar{x} \pm s$)	P值
PV (cm/s)	瓣前 73.57 ± 15.00	0.227
	瓣后 77.59 ± 12.15	
AV (cm/s)	瓣前 17.94 ± 4.61	0.785
	瓣后 17.73 ± 3.78	
AFPM (L/min)	瓣前 4.59 ± 0.93	0.028
	瓣后 4.88 ± 0.79	

表4 两种计算肺动脉压力方法的比较

肺动脉压力 (mmHg)	($\bar{x} \pm s$)	P值
mPAPA	14.89 ± 1.09	0.000
mPAPB	7.42 ± 0.81	

的差异。另外，超声声窗的选择、对血流方向的校正及渗透深度的局限性，超声医师的技术差别，都可以影响肺动脉压力的测量^[5]。基于此，ECG虽然有优势，但因误差的存在，也给临床诊断IPAH带来一定的局限性。

3.2.2 而RHC作为金标准有下列限制：RHC是一种有创的介入检查，过程复杂，可能导致血管壁、心脏瓣膜以及心室壁损伤，对患者造成一定的痛苦。在不同时间段、病人的不同状态时期，右心导管术测量的值不一致，其精确性有待进一步提高。RHC测量中由于适当零基准点的选择和呼吸摆动的矫正，使得测量值

有-15~+9mmHg的波动范围，其精确度有限。基于此，RHC的可重复性不高，病人依从性也不高，限制了它在随诊复查时的应用。

基于PAH诊断手段的不足，本研究旨在使用MRI的方法，为早期诊断PAH、并对肺动脉高压病人随诊提供更加准确，快捷又无创的检查手段。

3.3 PC-MRI在肺动脉血流动力学的应用 MRI是一种无创的、无电离辐射、直观的、可重复性的检查手段，其流体测量技术已经在临床工作中普遍应用。幅度图像可以显示血流信号，而相位图像用于定量分析血流方向、流速和流量。近年来，有关肺动脉

血流测量国内外报道很多。有学者将MRI测量结果与ECG结果比较，认为PC-MRI可以准确测量肺动脉的血流速度和血流量，对评价肺动脉血流动力学的改变具有一定价值；有学者比较了PAH患者近端肺动脉血流动力学，发现不同类型PAH患者血流动力学存在差异，且PC-MRI可以有效地检测PAH患者近端肺动脉的血流动力学状态^[6]；还有学者研究了流体测量模型的动力学改变，认为PC-MRI能够准确反映主、肺动脉的血流情况，并将主动脉、肺动脉起始部净血流量进行比较，发现主、肺动脉起始部净血流量差异无统计学意义^[7]。

3.4 本组肺动脉瓣前后测量结果比较

3.4.1 正常人肺动脉瓣前后的PV、AV无显著差异。本组计算的是一个心动周期的肺动脉瓣血流数据，瓣膜开放时，瓣前后的PV、AV无显著差异表明肺动脉和右心室压力的一致性，右心室的结构和功能的改变对肺动脉压力的改变至关重要，这与国内外相关研究一致^[8]；PAH患者可以通过CMR检查评价右心结构和功能改变，提示PAH的严重程度和预后。另外，数据表明肺动脉瓣后的平均流速AV无性别差异，这与相关研究有所不同，Paola等学者发现男性的最大运动负荷和心脏指数较女性高，这可能与不同种族人群男女心脏大小及心功能相关。肺动脉瓣前后的AFPM存在差异，说明在心脏收缩过程中肺动脉瓣前后存在返流。返流是由于右心室与肺动脉之间的压力差发生变化所致，存在于大部分正常人和心脏病人中。通过PC-MRI可以绘制返流量与时间的动态曲线，从而观察PAH病人随心动周期返流量改变特点，从而测量肺动脉压力的高低。

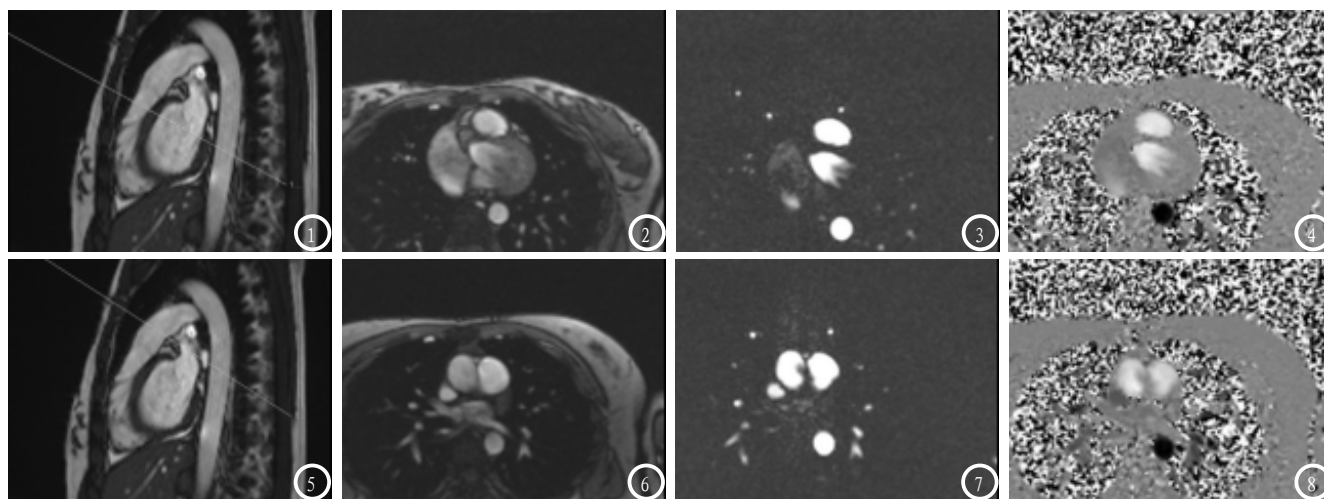


图1 肺动脉瓣前定位图。图2 肺动脉瓣前1.5cm相位重聚图。图3 肺动脉瓣前1.5cm幅度图。图4 肺动脉瓣前1.5cm相位对比图。图5 肺动脉瓣后定位图。图6 肺动脉瓣后1.5cm相位重聚图。图7 肺动脉瓣后1.5cm幅度图。图8 肺动脉瓣后1.5cm相位对比图。

3.4.2 根据Forouzan研究推荐的Argiento P公式来计算PAP^[9], 即主肺动脉压(mPAP)=1.37*CO+8.2mmHg, CO为心流出量(L/min), 该公式是Argiento等学者通过ECG研究正常健康人在运动状态下增加的CO与MPAP的线性关系得出的线性方程, 经此方程还可推导出肺动脉收缩压和舒张压力。本组得出mPAPA为(14.89±1.09)mmHg。而Bernoulli方程是临床广泛运用的流体力学公式, ECG计算各房室瓣的最大压差均运用此公式计算。本组利用肺动脉瓣后的峰值流速计算压力差, 再结合右房压力估算值, 计算出mPAPB值(7.42±0.81)mmHg, 与RHC金标准比较, 本组Argiento P公式计算的数据在其范围内, 而Bernoulli方程得出的数据较右心导管术测量值偏小, 表明简化的Bernoulli方程在无瓣膜返流情况下准确性有待探讨。

本组研究表明, Argiento P公式及Bernoulli方程均能利用PC-MRI所测量数据得出肺动脉压力值。Argiento P公式是利用流量计算压力, 而简化的Bernoulli方程利用的是肺动脉返流速度计算的; 二者相比较, 即为流量与流速的关系, 这与肺

动脉瞬时横截面积相关, 而肺动脉血管的管径随心动周期不断变化中, Argiento P公式更能准确反映瞬时肺动脉压力变化, 而简化的Bernoulli方程中RAP也是估算值, 精确度不够。可见, Argiento P公式计算的正常肺动脉压力值更接近现阶段RHC的金标准数据。

4 本组存在的局限性

本组选取的健康成年人年龄在20~40岁组青年人, 缺乏小儿及老年组的数据, 今后我们要加大数据采集, 建立不同年龄正常人群的血流测量值的正常范围。且本组研究i缺乏MRI与ECG、RHC横向的比较研究, 今后, 本组拟收集临床相关疾病导致的PH患者, 同时进行MRI、ECG或RHC的检查, 比较这三种检查方法为临床诊断肺动脉疾病提供更加方便、准确的诊断手段。

综上所述, 利用PC-MRI可以方便、简易、重复地对肺动脉瓣前后血流动力学进行测量, 是研究肺动脉相关疾病的重要手段。

参考文献

[1] 范文斌, 乔建华. 先天性心脏病

合并肺动脉高压外科治疗的研究进展[J]. 中国CT和MRI杂志, 2009, 16(1): 42-44.

[2] Runo J R, Loyd J E. Pulmonary hypertension[J]. Lancet, 2003, 361(9368): 1533-1544.

[3] 黄松, 顾文华, 等. CT肺动脉成像在特发性肺动脉高压中的诊断价值[J]. 陕西医学杂志, 2017, 4(46): 437-439.

[4] Bossone E, Bodini B D, et al. Pulmonary arterial hypertension: the key role of echocardiography[J]. Chest, 2005, 127(5): 1836-1843.

[5] 霍福涛, 李建, 等. 3.0T磁共振对心脏优化检查的临床再评价[J]. 中国CT和MRI杂志, 2010, 10(6): 61-62.

[6] 郭晓娟, 刘敏, 等. 3.0T相位对比MRI评估肺动脉高压患者近端肺动脉血流动力学特征[J]. 中国放射学杂志, 2016, 50(2): 101-104.

[7] 郭立, 郭皓, 等. 相位对比法磁共振成像测量主动脉和肺动脉起始部净流量的准确性研究[J]. 中国全科医学, 2015, 18(15): 1840-1844.

[8] Freed B H, Collins J D, et al. MR and CT Imaging for the evaluation of PH[J]. Cardiovascular Imaging, 2016, 9(6): 715-732.

[9] Forouzan O, Warczytowa J, et al. Non-invasive measurement using CMR of changes in pulmonary artery stiffness with exercise[J]. Cardiovasc Magn Reson, 2015, 17(1): 109-132.

(本文编辑: 刘龙平)

【收稿日期】2017-12-25