

· 心血管影像学 ·

4D Flow MRI 对主动脉夹层患者腹部血流模式的定量研究及评估

刘东婷, 刘家祎, 温兆赢, 李宇, 张楠, 范占明

【摘要】 目的:采用 4D-flow MRI 分析主动脉夹层(AD)患者腹部真腔和假腔内的血流动力学特点,以及各血流指标与夹层破口大小、数量及假腔内血栓之间的相关性,探讨其临床应用可行性及诊断价值。**方法:**16 例主动脉夹层患者采用 4D Flow MRI 技术进行腹主动脉成像,同时行胸腹主动脉 CTA 检查。对腹主动脉 4 个层面的图像进行分析,测量各层面真腔和假腔的横断面积、血流速度、峰值速度、平均净流量、最大流量、净正向血容量及反流分数,并观察主动脉夹层各种形态学指标。真假腔各血流指标及面积的比较采用配对 t 检验,AD 的各形态学指标与血流指标的关系采用 Pearson 相关分析和多元线性回归分析。**结果:**腹主动脉各水平真腔的平均横断面积及反流分数均小于假腔,真腔内血流速度、峰值速度、平均净流量、最大流量、净正向血容量均明显高于假腔,两组间差异均有统计学意义($P < 0.05$)。夹层破口越大,真腔血流速度及流量越小($P < 0.05$),而假腔的平均血流速度、平均净流量及最大流量越高($P < 0.05$)。随破口数量增多,真腔各血流指标增高($P < 0.05$),假腔最大流量变小($P = 0.025$)。假腔有血栓形成,则真腔平均血流速度、峰值速度增高($P = 0.003, 0.005$)。破口大小对真假腔血流指标的影响意义较大。**结论:**4D Flow MRI 技术能够定性、定量地提供主动脉夹层患者的腹主动脉血流信息,在主动脉夹层的诊断和治疗方案的选择中有重要的临床应用价值。

【关键词】 主动脉夹层; 腹主动脉; 磁共振血管成像; 4D 相位对比技术; 血流动力学

【中图分类号】 R543.1; R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)04-0388-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.04.020

Quantitative study on abdominal blood flow patterns in patients with aortic dissection using 4D flow MRI LIU Dong-ting, LIU Jia-yi, WEN Zhao-ying, et al. Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing Institute of Heart, Lung and Blood Vessel Diseases, Beijing 100029, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the characteristics of abdominal hemodynamic changes in the true lumen (TL) and the false lumen (FL) in aortic dissections (AD) using 4D flow MRI, and to determine the relationship between blood flow indexes and the size, number of intimal entries and false lumen thrombosis, and to assess the clinical feasibility and diagnostic value of 4D flow MRI. **Methods:** Sixteen AD patients underwent abdominal 4D flow MRI and thoracic and abdominal CTA at the same time. Images of abdominal aorta at four planes were quantitatively analyzed, the hemodynamic parameters including lumen area, velocity, peak velocity, average net flow volume, peak flow volume, net forward volume, and regurgitant fraction in the TL and FL were measured and compared using Paired t -test. The anatomic morphology of aortic dissection were also observed. The correlation between various morphological changes and hemodynamic parameters were analyzed using Pearson correlation analysis and multiple linear regression analysis. **Results:** The average area and regurgitant fraction of TL were significantly smaller than those of FL at all four levels ($P < 0.05$); the average velocity, peak velocity, average net flow volume, peak flow volume, net forward volume in TL were significantly higher than those in FL ($P < 0.05$). With the increase of the size of intimal entry, the flow velocity and flow volume in TL were decreased ($P < 0.05$), and the average velocity, average net flow volume, peak flow volume in FL were increased ($P < 0.05$). With the increase of intimal entry numbers, the hemodynamic parameters in the TL became higher ($P < 0.05$), peak flow volume in the FL became lower ($P = 0.025$); If there was thrombosis in false lumen, the average velocity and peak velocity in TL were higher ($P = 0.003, 0.005$), the size of intimal entry had a strong impact on hemodynamic parameters in TL and FL. **Conclusions:** 4D flow MRI provided qualitative and quantitative information on alterations of abdominal aortic blood flow in AD patients. It is important for clinical application in the diagnosis and therapeutic management choice of AD.

【Key words】 Aortic dissection; Aorta, abdominal; Magnetic resonance angiography; Four-dimensional phase contrast technique; Hemodynamics

主动脉夹层(aortic dissection, AD)是一种常见的复杂大血管疾病,系高血压等各种病因导致主动脉内膜破裂,血液通过破裂口进入主动脉壁中层,逐渐在中层内扩展,形成真腔及假腔。AD 的发病率和死亡率均较高^[1-2]。除原发破口外,通常在胸主动脉中远段及腹主动脉同时存在内膜再破口^[3],其大小及数目直接影响假腔的血流灌注量。形态学和血流动力学变化是影响 AD 稳定和进展的最重要因素,主动脉管径的大小是预测 AD 进展的一个重要指标^[4-5]。管径越大,血管壁所承受的切应力越大,主动脉夹层和主动脉瘤扩张及破裂的风险就越高。一些 AD 体外流体力学模型研究证明,血流动力学变化是导致假腔扩张和真腔塌陷的直接原因且早于形态学变化,但对在体的研究目前国内外报道仍罕见。本研究通过无创性 4D Flow MRI 技术对 AD 患者腹部血流模式进行定量研究及评估,分析手术前腹主动脉血流动力学的改变情况,旨在为临床提供一种无创的血流动力学监测手段。进一步探讨其在主动脉夹层患者术前评估及术后指导治疗中的应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

将 2015 年 8 月—2016 年 6 月经外院或急诊检查诊断为 AD 并在本院行外科或介入手术的 16 例 AD 患者纳入研究,所有患者无严重肝肾功能不全、碘对比剂过敏及 MRI 检查禁忌证。其中男 15 例,女 1 例,年龄 22~73 岁。所有患者均有急性胸背部疼痛病史,自发病至 MRI 检查的时间为 0.5~15.0 天。14 例患者有明确高血压病史。约 4/5 患者在检查前已接受降压治疗,1 例患者有冠心病。所有患者既往均无肾病和糖尿病的病史。8 例患者行开胸手术,8 例行介入治疗。患者入院后于手术前 1 周内分别行胸腹主动脉 CTA 及腹主动脉 4D Flow MRI 检查。本研究经医院伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

2. 检查方法

使用 Toshiba Aquilion ONE 320 排螺旋 CT 机行胸腹主动脉 CTA 检查。扫描参数:120 kV,400 mA,层厚 0.5 mm,重建间隔 1.0 mm,螺距 0.828。扫描范围自胸腔入口水平至髂内、外动脉分叉水平下方,一次屏气完成扫描。采用 Supstart 实时跟踪技术确定扫描延迟时间,感兴趣区(region of interest, ROI)为肺动脉分叉水平升主动脉处,触发阈值 180 HU。使用双筒高压注射器经肘静脉注射非离子型碘对比剂碘必乐(370 mg I/mL) 80~95 mL,注射流率 4.0 mL/s,再以相同流率注射 0.9%生理盐水 40 mL。由系统自动计算 CT 剂量指数(CT dose index, CTDIvol)和剂量

长度乘积(dose-length product, DLP),有效剂量(effective dose, ED)的计算中剂量系数 K 取值为 0.015 mSv/(mGy·cm)^[9]。

使用 Siemens Magnetom Verio 3.0T 磁共振扫描仪、48 通道系统、32 通道体部接收线圈及心电门控技术行腹主动脉 MRI 扫描。选取能够显示主动脉内膜及真假腔的层面进行血流测量。首先采用 HASTE 黑血序列获取各向同性的横轴面、斜矢状面(左前斜位)和冠状面的主动脉解剖图像,其次进行矢状面及冠状面 4D Flow 序列扫描。HASTE 序列扫描参数:TR 700 ms, TE 83 ms,层厚 5.0 mm,翻转角 180°,带宽 781 Hz/px。4D-Flow MRI 常规行斜矢状面及冠状面扫描,于自由呼吸状态下采集数据,扫描参数:视野 340 mm×255 mm, TR 47.2 ms, TE 2.79 ms,带宽 491 Hz/px,矩阵 115×192,层厚 1.80 mm,翻转角 8°,速度编码 90~150 cm/s。速度编码的选择根据初测速度值来确定,以清晰显示主动脉夹层的真腔为准。

3. 图像后处理分析

扫描所得图像使用 Siemens Vitrea 工作站及 4D flow MRI 软件进行分析。由从事 CT 及 MR 影像诊断 7 年以上的 1 位主治医师及 1 位副主任医师共同阅片,经讨论达成共识后记录。进行 4D 血流分析时选取 4 个层面的腹主动脉进行观察和测量(图 1a):①腹腔干开口水平;②肠系膜上动脉开口水平;③较低的一支肾动脉开口水平;④腹主动脉近髂动脉分叉水平。每个断面进行真腔及假腔的血流测量。将 4D flow 扫描获得的原始图像载入血流后处理软件,手动勾画 ROI,即分别勾出每一分析层面主动脉真腔和假腔的边界,软件自动生成 1 个心动周期的平均血流速度、峰值速度(图 1b)、平均净流量、最大流量、净正向血容量及反流分数的时间曲线等,并计算出相应的定量数据。同时获得可视化的流线图、路径图及矢量图,可整体观察真假腔内血流状态。

所有患者均行胸腹主动脉 CTA 检查,常规采用多平面重组(MPR)、最大密度投影(MIP)和容积再现(VR)技术进行图像后处理。主要观察主动脉夹层内膜破口及再破口的位置、大小和数量(图 2a、b)、假腔有无血栓化及腹主动脉四个不同层面真假腔的面积(图 2c)。

使用 SAS 9.2(SAS Institute Inc, USA)软件进行统计分析。所有计量资料的数据先进行正态性分布检验。采用配对 t 检验分析真假腔之间管腔面积、平均血流速度、峰值速度、平均净流量、最大流量、净正向血容量和反流分数的差异。对夹层破口大小、数量和假腔有无血栓化与真假腔血流指标(平均血流速度、峰值速度、平均净流量、最大流量)之间的相关性的评估采

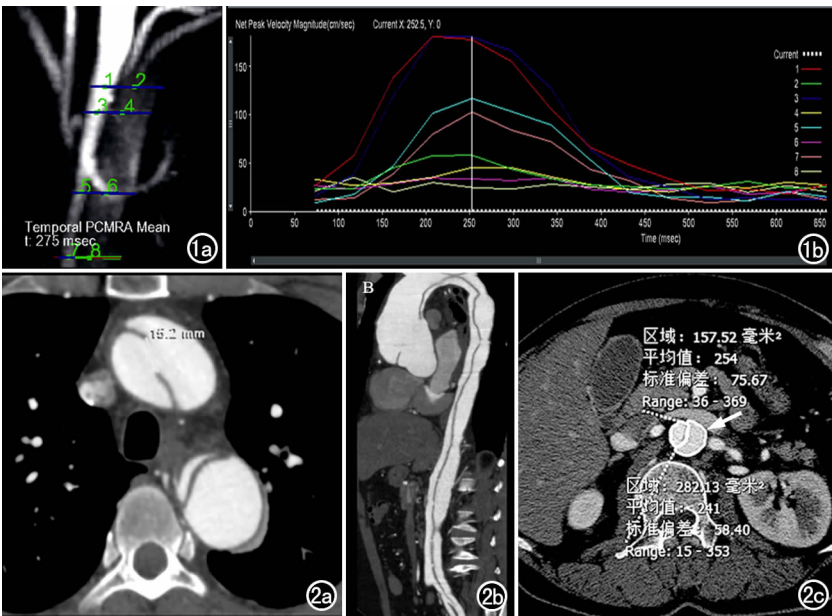


图 1 AD 患者。a) 腹主动脉 4 个分析层面(蓝线),图中奇数显示为真腔,偶数为假腔; b) 血流峰值速度-时间曲线,显示真腔的流速明显高于假腔(1、3、5、7 分别为腹腔干开口、肠系膜上动脉开口、平较低一支肾动脉开口及腹主动脉近髂分叉水平这四个平面的真腔,2、4、6、8 依次为这四个平面的假腔)。图 2 AD 患者。a) 横轴面 CTA 图像,显示主动脉内膜破口的大小及位置; b) 斜矢状面 MPR 图像,显示夹层原发破口及再破口的位置、大小及数目; c) 在横轴面 CTA 图像上手动勾画 ROI,测量真腔和假腔(箭)的面积。

用 Pearson 相关分析和多元线性回归分析。检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧)。

结果

16 例患者均成功地进行了胸腹主动脉 CTA 及腹主动脉 4D Flow MRI 检查,图像质量满足诊断要求。A 型夹层 1 例,原发内膜破口位于升主动脉;B 型夹层

15 例,原发破口位于左锁骨下动脉开口以远。原发破口大小(10.65 ± 5.22) mm。9 例仅有一个破口,7 例有 2 个或以上的破口。5 例患者有假腔血栓化。

真假腔面积的测量结果及比较见表 1。四个层面的真腔面积均小于假腔($P<0.05$),其中有 2 例患者在腹腔干开口水平真腔几乎完全塌陷。

真假腔 6 个血流动力学参数的测量值及比较见表 2 和图 3。①腹腔干及肠系膜上动脉开口水平:真腔内平均流速、峰值速度、平均净流量和净正向血容量均明显高于假腔($P<0.05$),反流分数低于假腔($P<0.05$),而最大流量与假腔间的差异无统计学意义($P>0.05$)。

②较低一支肾动脉开口水平:真腔内平均流速明显高于假腔($P<0.05$),反流分数低于假腔($P<0.05$);而其它 4 个参数值与假腔间差异无统计学意义($P>0.05$)。③腹主动脉近髂动脉分叉水平:真腔内平均流速和峰值速度明显高于假腔($P<0.05$),反流分数低于假腔($P<0.05$),其它 4 个参数值与假腔间差异无统计学意义($P>0.05$)。

夹层破口大小、数量和血栓情况与血流指标间的相关分析结果见表 3、4。总体而言,破口越大,真腔的平均流速、峰值速度、平均净流量和最大流量越小,假腔则越大。破口数量越多,真腔的平均流速、峰值速度、平均净流量和最大流量越大;假腔最大

表 1 真假腔之间平均横断面积的比较

部位	面积(mm ²)		t 值	P 值
	真腔	假腔		
腹腔干开口水平	219.88±113.64	541.39±169.02	-5.95	<0.0001
肠系膜上动脉开口水平	229.24±110.84	485.35±166.23	-4.34	0.0008
较低一支肾动脉开口水平	161.14±68.15	357.05±166.28	-3.90	0.0018
髂动脉分叉水平	160.67±100.90	331.01±175.69	-4.02	0.0017
合计	192.73±102.81	432.46±186.82	-9.08	<0.0001

表 2 真、假腔各血流动力学参数的测量结果及比较(补充各参数值的单位!!)

分析平面	平均流速(cm/s)		t 值	P 值	峰值速度(cm/s)		t 值	P 值	平均净流量(mL/s)		t 值	P 值
	真腔	假腔			真腔	假腔			真腔	假腔		
腹腔干开口水平	22.05±13.02	4.46±3.17	5	0.0002	112.37±55.84	50.81±11.82	4.98	0.0002	44.74±25.8	17.2±14.46	2.63	0.02
肠系膜上动脉开口水平	17.61±10.58	3.19±2.37	4.52	0.0006	94.53±48	51.28±17.52	4.01	0.0015	33.97±19.9	14.11±11.95	2.29	0.0391
平较低一支肾动脉开口水平	11.58±7.29	3.69±2.84	3.14	0.0078	85.3±38.41	64.36±27.63	1.92	0.0768	18.24±12.51	12.18±10.65	0.83	0.4191
腹主动脉近髂分叉水平	9.21±5.77	2.3±2.11	3.44	0.0049	72.2±30.25	52.68±15.62	2.18	0.0497	11.36±7.12	6.9±7.19	0.87	0.4024
四个平面汇总	15.11±10.65	3.45±2.72	7.64	<0.0001	91.1±45.58	54.75±19.33	6.33	<0.0001	27.07±21.82	12.78±11.79	3.5	0.0009
分析平面	最大流量(mL/s)		t 值	P 值	净正向血容量(mL)		t 值	P 值	反流分数(%)		t 值	P 值
	真腔	假腔			真腔	假腔			真腔	假腔		
腹腔干开口水平	129.39±74.85	63.31±59.34	1.92	0.0761	32.5±18.69	12.9±11.48	2.52	0.0245	4.46±13.13	22.84±24.47	-2.21	0.0439
肠系膜上动脉开口水平	103.42±64.72	45.68±79.44	1.45	0.1712	24.58±14.17	10.42±8.84	2.32	0.0371	7.46±23.76	35.38±30.55	-2.24	0.0433
平较低一支肾动脉开口水平	68.6±43.92	47.37±56.81	0.62	0.545	13.16±8.87	8.88±7.39	0.87	0.3985	11.26±17.12	31.53±26.63	-2.37	0.0338
腹主动脉近髂分叉水平	48.88±32.25	25.78±53.89	0.72	0.4875	8.22±5.1	5.02±4.9	0.98	0.3487	14.3±13.83	48.6±34.4	-3.17	0.0081
四个平面汇总	87.57±63.39	46.2±62.95	2.54	0.014	19.61±15.74	9.44±8.85	3.5	0.0009	9.37±17.46	34.13±29.75	-5.01	<0.0001

表 3 破口大小、数量、假腔有无血栓化与真腔血流指标间的相关性

变量	真腔平均血流速度		真腔峰值速度		真腔平均净流量		真腔最大流量	
	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值
破口大小	-0.46	0.0001	-0.61	<0.0001	-0.35	0.0042	-0.46	0.0002
破口数量	0.30	0.0145	0.44	0.0003	0.33	0.0080	0.34	0.0059
假腔血栓化	0.36	0.0032	0.34	0.0055	0.14	0.2809	0.06	0.6262

表 4 破口大小、数量、假腔有无血栓化与假腔血流指标间的相关性

变量	假腔平均血流速度		假腔峰值速度		假腔平均净流量		假腔最大流量	
	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值
破口大小	0.36	0.0066	-0.26	0.0542	0.38	0.0041	0.38	0.0035
破口数量	-0.14	0.3166	0.06	0.6816	-0.12	0.3969	-0.30	0.0225
假腔血栓化	-0.23	0.0841	-0.05	0.6979	-0.25	0.0642	-0.25	0.0642

表 5 破口特点与真腔血流指标间的回归分析结果

变量	平均血流速度		峰值速度		平均净流量		最大流量	
	β 值	P 值	β 值	P 值	β 值	P 值	β 值	P 值
破口大小	-0.68	0.0221▲	-3.98	0.0006▲	-1.46	0.0262▲	-6.03	0.001▲
破口数量	1.12	0.5111	11.56	0.081	2.49	0.5116	7.76	0.4525
假腔血栓化	5.62	0.0541	17.67	0.1116	-2.93	0.6454	-22.80	0.1911

注:β 值代表样本的回归系数;▲自变量对相关血流指标的影响有统计学意义(P<0.05)。

表 6 破口特点与假腔血流指标间的回归分析结果

变量	平均血流速度		峰值速度		平均净流量		最大流量	
	β 值	P 值	β 值	P 值	β 值	P 值	β 值	P 值
破口大小	0.17	0.0451▲	-1.35	0.0264▲	0.62	0.0817	3.17	0.0887
破口数量	-0.13	0.7874	-1.16	0.749	-1.34	0.5333	-19.04	0.0928
假腔血栓化	-0.10	0.9011	-9.06	0.1372	-3.18	0.3756	-3.42	0.8547

注:β 值代表样本的回归系数;▲自变量对相关血流指标的影响有统计学意义(P<0.05)。

流量越小。假腔有血栓形成,则真腔平均血流速度和峰值速度越大。

多因素回归分析结果见表 5、6。结果表明:破口大小对真假腔血流指标的影响意义较大。破口越大,真腔的平均血流速度、峰值速度、平均净流量、最大流量越小;假腔的平均血流速度越大,峰值速度越小。

对于腹主动脉尤其是肾动脉开口水平存在再破口的患者,4D Flow MRI 较常规 CTA 能更精确地显示破口的位置及受累分支动脉在收缩期及舒张期的血流情况(图 4)。

讨 论

近年来,无创性影像学技术(如 MDCT、MRI)基本取代了常规血管造影用于 AD 的诊断^[6-7]。CT 由于具有较高的空间分辨率,可以提供详尽的 AD 解剖形态学信息,但其尚不能用于观察真腔和假腔内的血流动力学变化、假腔稳定性及顺应性等,并且存在电离辐射的影响。MRI 对心血管疾病解剖形态和血流动力学的研究有许多优势。早期应用的相位对比磁共振血管成像(phase-con-

trast MR angiography,PC-MRA)技术,可以简单地测量真腔和假腔内的血流流速和方向,并初步推测假腔与真腔面积的比值增加及收缩期真腔平均流速减低可能是引起假腔扩张的主要因素。传统 PC-MRA 研究由于受采集视野的限制,仅限于主动脉单层面测量,很难反映 AD 患者整体主动脉血流动力学状况。近年来,由于 MR 硬件设备的更新和软件的开发,PC-MRA 血流测量已经由采集二个方向血流信息发展到三个方向,由单层面二维采集发展到三维或四维采集,采集速度也明显提高^[8],从而为获取3D或容积血流

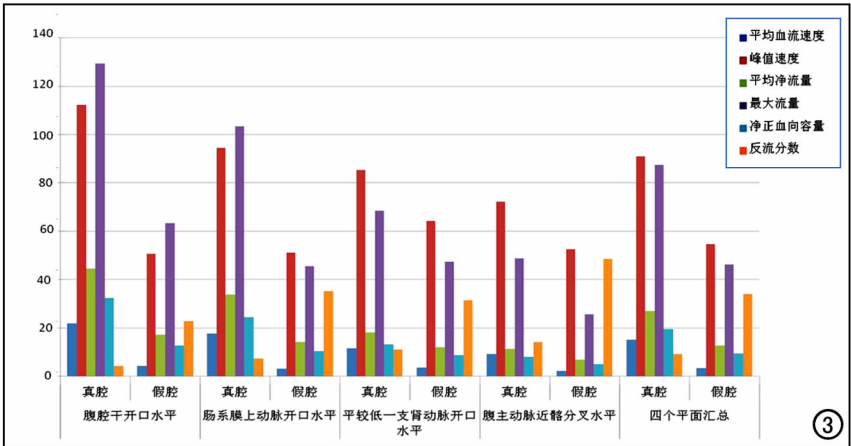


图 3 直方图显示主动脉不同分析层面真、假腔各血流参数的差异。

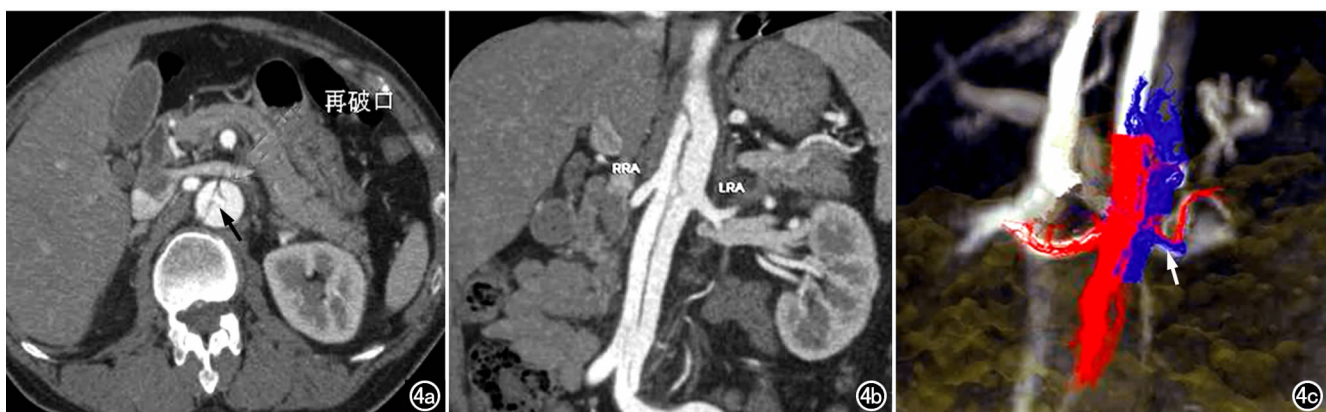


图4 B型AD患者。a) 横轴面CTA图像,显示腹主动脉真、假双腔结构,真假腔间可见再破口形成(箭);b) MPR图像显示右肾动脉起自真腔,左肾动脉起自假腔,左肾动脉开口水平可见再破口;c) 4D flow MRI获得的收缩期冠状面主动脉夹层血流路径图,真腔(红色)内血流速度较快,假腔(蓝色)内血流速度较慢,由于再破口的存在,左肾动脉可见真假腔共同供血(箭)。

动力学信息提供了可能。

主动脉夹层的形成和进展与主动脉内的血流动力学因素及顺应性密切相关,真腔和假腔的血流速度、血流量、血流模式以及真假腔内的压力差都是影响真腔塌陷、假腔扩张的关键因素。4D Flow MRI方法可以对主动脉夹层患者的血流速度、正反向血流量、血流模式及反流分数等进行准确的定量测量^[10-11],可以从血流动力学方面来探讨主动脉夹层的病理形态改变的力学根源,并可根据血流的定量信息来预测夹层的发展。本研究及以往的研究结果均提示,假腔内血流动力学改变与主动脉夹层的假腔内血栓形成与扩张相关,如低速血流伴随大量血栓形成,高速血流伴随管腔的扩张^[12-14]。以往最常见的MR血流成像技术是2D PC-MRI^[15-18],但此技术在定量测量时,通常选择垂直于二维平面的单一方向的速度编码,未能探测到通过平面的整体血容量,因此经常会低估血流参数。而4D Flow技术能够在3D方向上测量血液流速,即所谓的4D流速敏感编码(三维空间+一维时间)^[19]。此项技术能够较大范围覆盖感兴趣区,并能定量分析复杂的涡流及螺旋血流等。

以往的研究中重点关注的是胸主动脉的血流情况^[14,20],对胸主动脉远段及腹主动脉的血流模式的研究甚少,因此,本研究中主要观察AD患者腹部血流模式的变化,旨在对AD患者复杂的血流动力学变化有一个更全面的认识,为临床医师提供定量分析数据及可视化血流模式,更好地指导临床制订治疗方案,获得更好的治疗效果。在这项研究中,我们联合使用了CTA及4D Flow MRI对主动脉夹层的腹部血流情况进行分析。研究结果显示,真腔的面积和反流分数明显低于假腔,而假腔内平均血流速度均明显低于真腔,可以推测假腔内的压力明显高于真腔,故形态学上多见真腔受压变窄、假腔扩张,表明真腔塌陷程度与假腔

内血流速度有明显的相关性。假腔内压力越大,真腔变窄或塌陷程度越大,主动脉最大管径越大,导致主动脉破裂的危险性及脏器缺血的程度也越大^[21]。Tolenaar等^[22]假定,假腔的高压力是主动脉增宽的一个主要因素,假腔有沿长轴的更均匀的压力梯度,速度和壁面切应力比真腔低。本研究中,真腔内平均净流量、最大流量、净正血向容量均高于假腔,并且在腹腔干及肠系膜上动脉开口水平平均净流量及净正血向容量二者之间的差异达到明显统计学意义。以远两个分析平面虽然也有差别但未达到统计学意义,这一现象可能是由于血流量=血流速度×面积,而真腔塌陷程度随着远离原发破口的位置有降低的趋势所致。

以往的研究仅通过对临床资料分析,发现影响夹层预后的一个结论为假腔的持续存在是影响AD病情恶化或进展的主要因素^[23,4]。Toshihisa等^[24]从血流动力学方面对慢性主动脉夹层假腔增长率的影响因素研究进行了多因素方差分析,结果表明,假腔内血流量是影响假腔增长速度的独立因素,即假腔内血流量越大,假腔增长越快。这也提示AD的预后与其病理形态所产生的血流动力学改变是分不开的。AD作为一种复杂大血管疾病,除原发内膜破口外,通常在夹层中远段同时存在内膜再破口^[25],其大小、数目直接影响假腔的血流灌注量。Dillon-Murphy等^[2]发现这些再破口在夹层血流动力学中发挥重要作用,多个破口导致主动脉夹层真假腔间压力的均衡。Tolenaar等^[22]的研究发现只有一个破口的患者比有多个破口的患者预后较差。然而Rudenick等^[26]发现再发小破口导致了真假腔之间更大的压力差,真腔产生了更高的压力,而较大的破口导致真假腔间压力比较均衡。这项研究还表明破口较小时真腔接受更大比例的血流量。Berguer等^[27]的研究结果表明,真假腔之间的压差与破口的横截面积成反比。本研究中采用CTA及MRI

两种方法分析夹层的形态,结果显示原发破口越大,真腔的血流速度及血流量越小,而假腔相反;随胸主动脉远段及腹主动脉再破口数目的增多,假腔最大流量变小;假腔有血栓形成时真腔血流速度变大。多模式成像可以有效地从形态学及血流动力学方面综合评估夹层的预后。

同时,在本研究中我们通过路径图及矢量图来分析真假腔内的血流模式,发现所有患者的假腔内均为双向血流,9 例患者的真腔内为单向血流(即自上而下的正向血流);再破口好发于肾动脉水平,导致血流动力学状态比较复杂。分支血管受累是 AD 进程中的严重并发症。急性主动脉夹层接近 30% 伴有分支动脉缺血表现,肾动脉最常受累,导致受累肾脏的血流灌注减低。另外,夹层常累及腹部重要的分支血管,以肠系膜上动脉^[28]及腹腔干^[29]最常见,可引起肠缺血坏死及脏器缺血,患者出现相应症状。

外科手术治疗及覆膜血管内支架置入术能否改善分支血管的缺血状态是令人关注的问题。在主动脉夹层的临床研究中,目前普遍将注意力集中在对主动脉病变的治疗上,一般只是处理了近端原发破口,忽略了分支血管受累尤其是肾动脉受累导致的急、慢性缺血等情况^[30]。张研等^[31]的研究还提到,AD 的壁面切应力的分布在假腔远段最大,且随 AD 瘤体的不对称性而增加。从流体力学上来分析,假腔的远端是发生破裂的危险点,夹层直径越大越容易破裂。这也提示我们,夹层的预后与其病理形态所产生的血流动力学改变是分不开的。本研究中采用的 4D Flow 技术可以定性和定量分析腹主动脉各段的血流动力学情况,从而能更好地评估主动脉夹层的预后。

本研究也存在一些局限性。首先,这是一个单中心的研究,样本量较小。基于临床有随访资料的的大样本的研究是下一步要进行的。其次,局限性是 4D Flow 扫描过程中假腔的低信号,因为夹层患者存在真假双腔,本研究是以真腔的速度编码值为主进行扫描,这样在舒张中晚期假腔内可能存在一些噪声。下一步的工作将改进扫描策略,提高假腔的速度编码值,对真假腔进行更精确的分析。另外,4D Flow 技术在临床应用中还存在一些挑战,如呼吸及心电门控技术能在一定程度上弥补心跳和呼吸带来的伪影,但部分患者呼吸、心跳配合不好导致采集时间长,所以如何能够在较大范围内快速、准确获取相关信息是值得进一步研究的。最后一点,更高效的后图像处理工具也是关键问题,目前我们所使用图像后处理软件不能在体内进行真假腔内压力和壁切应力的准确测定,这也是以后研究要完善的一个方面。

总之,我们的初步研究结果表明,通过 4D Flow

MRI 能够无创性地对 AD 真腔和假腔的血流动力学情况进行定量分析,因此可作为监控 AD 病变发展及疗效的有效检查手段。随着血管重塑还需要对患者进行长期的随访观察,客观定量地对夹层真、假腔的演变进行进一步评估。做为一种多功能的评估流量和流速的方法,4D Flow 检查为临床主动脉夹层患者提供了一种无创的血流动力学监测手段,对临床医生进行 AD 的形态和功能诊断,进而在指导治疗方案的制订、治疗时机的选择等方面具有重要的临床应用价值。

参考文献:

- [1] Braverman AC. Acute aortic dissection: clinician update[J]. Circulation, 2010, 122(2): 184-188.
- [2] Dillon-Murphy D, Noorani A, Nordsletten D, et al. Multi-modality image-based computational analysis of haemodynamics in aortic dissection[J]. Biomech Model Mechanobiol, 2016, 15(4): 857-876.
- [3] Theisen D, von Tengg-Kobligh H, Michaely H, et al. CT angiography of the aorta[J]. Radiology, 2007, 47(11): 982-992.
- [4] Sueyoshi E, Sakamoto I, Hayashi K, et al. Growth rate of aortic diameter in patients with type B aortic dissection during the chronic phase[J]. Circulation, 2004, 110(11 Suppl 1): S256-S261.
- [5] Hata M, Sezai A, Niino T. Prognosis for patients with type B acute aortic dissection: risk analysis of early death and requirement for elective surgery[J]. Circ J, 2007, 71(8): 1279-1282.
- [6] Estrera AL, Miller CC III, Safi HJ. Outcomes of medical management of acute type B aortic dissection[J]. Circulation, 2006, 114(1 Suppl): S384-S389.
- [7] Nienaber CA, Eagle KA. Aortic dissection: new frontiers in diagnosis and management: part from etiology to diagnosis strategies [J]. Circulation, 2003, 108(5): 628-635.
- [8] Dyverfeldt P, Bissell M, Barker AJ, et al. 4D Flow cardiovascular magnetic resonance consensus statement [J/OL]. J Cardiovasc Magn Reson, 2015, 10: 17-72. DOI: 10.1186/s12968-015-0174-5.
- [9] Brix G, Lechel U, Veit R, et al. Assessment of a theoretical formalism for dose estimation in CT: an anthropomorphic phantom study[J]. Eur Radiol, 2004, 4(7): 1275-1284.
- [10] Markl M, Draney MT. Time-resolved three-dimensional magnetic resonance velocity mapping of aortic flow in healthy volunteers and patients after valve-sparing aortic root replacement[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2005, 130(2): 456-463.
- [11] Tolenaar JL, van Keulen JW, Trimarchi S, et al. Number of entry tears is associated with aortic growth in type B dissections[J]. Ann Thorac Surg, 2013, 96(1): 39-42.
- [12] 李宇, 范占明, 张兆琪. MRI 对急性 Stanford B 动脉夹层的形态及血液动力学的定量研究[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(4): 363-367.
- [13] Kilner PJ, Yang GZ, Mohiaddin RH, et al. Helical and retrograde secondary flow patterns in the aortic arch studied by three-directional magnetic resonance velocity mapping [J]. Circulation, 1993, 88(5 Pt 1): 2235-2247.
- [14] 郭子义, 陈晶. 动态三维血管建模法分析 Stanford B 型胸主动脉夹层四维相位对比 MRI[J]. 第二军医大学学报, 2014, 35(6):

- 651-655.
- [15] Pelc NJ, Herfkens RJ, Shimakawa A, et al. Phase contrast cine magnetic resonance imaging[J]. *Magn Reson Q*, 1991, 7(4): 229-254.
- [16] Bryant DJ, Payne JA, Firmin DN, et al. Measurement of flow with NMR imaging using a gradient pulse and phase difference technique[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1984, 8(4): 588-593.
- [17] Underwood SR, Firmin DN, Rees RS, et al. Magnetic resonance velocity mapping[J]. *Clin Phys Physiol Meas*, 1990, 11(1): 37-43.
- [18] Atkinson DJ, Edelman RR. Cine angiography of the heart in a single breath hold with a segmented turbo FLASH sequence[J]. *Radiology*, 1991, 178(2): 357-360.
- [19] Miyazaki M, Akahane M. Non-contrast enhanced MR angiography: established techniques[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2012, 35(1): 1-19.
- [20] François CJ, Markl M, Schiebler ML, et al. Four-dimensional, flow-sensitive magnetic resonance imaging of blood flow patterns in thoracic aortic dissections[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 145(5): 1359-1366.
- [21] Strotzer M, Aebert H, Lenhart M, et al. Morphology and hemodynamics in dissection of the descending aorta. Assessment with MR imaging[J]. *Acta Radiol*, 2000, 41(6): 594-600.
- [22] Tolenaar JL, van Keulen JW, Trimarchi S, et al. Number of entry tears is associated with aortic growth in type B dissections[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(1): 39-42.
- [23] Bernard Y, Zimmermann H, Chocron S, et al. False lumen patency as a predictor of late outcome in aortic dissection[J]. *Am J Cardiol*, 2001, 87(12): 1378-1382.
- [24] Inoue T, Watanabe S, Sakurada H, et al. Evaluation of flow volume and flow patterns in the patent false lumen of chronic aortic dissections using velocity-encoded cine magnetic resonance imaging[J]. *Jpn Circ J*, 2000, 64(10): 760-764.
- [25] Theisen D, von Tengg-Kobligk H, Michaely H, et al. CT angiography of the aorta[J]. *Radiologe*, 2007, 47(11): 982-992.
- [26] Rudnick PA, Bijlens BH, García-Dorado D, et al. An in vitro phantom study on the influence of tear size and configuration on the hemodynamics of the lumina in chronic type B aortic dissections[J]. *J Vasc Surg*, 2013, 57(2): 464-474.
- [27] Berguer R, Parodi JC, Schlicht M, et al. Experimental and clinical evidence supporting septectomy in the primary treatment of acute type B thoracic aortic dissection[J]. *Ann Vasc Surg*, 2015, 9(2): 167-173.
- [28] 卢浩浩, 郑传胜, 熊斌, 等. 孤立性肠系膜上动脉夹层的治疗策略[J]. *放射学实践*, 2016, 31(10): 965-969.
- [29] 宁辉, 张龙江. 自发性腹腔干夹层的 MSCT 血管成像表现[J]. *放射学实践*, 2015, 30(9): 940-943.
- [30] Martinelli O, Malaj A, Gossetti B, et al. Stenting versus medical treatment for renal atherosclerotic artery stenosis[J]. *Angiology*, 2015, 66(3): 201-203.
- [31] 张研, 张锡文, 许尚栋, 等. 动脉瘤内流场以及流体尺寸的影响的数值研究[J]. *应用力学学报*, 2006, 23(4): 423-426.

(收稿日期: 2016-11-10 修回日期: 2017-02-11)

中华医学会放射学分会第十届 中国放射青年医师学术论坛

由中华医学会、中华医学会放射学分会、中华医学会放射学分会青年委员会主办, 陕西省医学会和西安交通大学第一附属医院承办的中华医学会放射学分会第十届中国放射青年医师学术论坛拟定于 2017 年 6 月 23 日~25 日在西安市召开。

本次学术大会着重在以下两方面进行交流与探讨: “医学影像新技术的临床应用”、“医学影像住院医师规范化培训”。会议将邀请国内著名专家作专题讲座, 为广大与会同行搭建一个高水平的学术交流平台。活动还将继续根据青年医师的特点, 在来稿中挑选优秀论文, 进行中、英文优秀论文比赛、博士论坛等专场, 以增加交流的广泛性和鼓励青年医师积极向上的优秀品质。欢迎全国中青年放射医师及研究生踊跃投稿、积极参会。本次论坛为国家级继续教育项目, 授予国家级继续教育 I 类学分。

(中华医学会放射学分会)