

综述

磁共振成像在慢性主动脉夹层中的临床价值及研究进展*

邓 铁^{1,2,3} 王文静^{2,3} 余 洪¹
李传明^{2,3} 李邦国^{1,*}

1.遵义市 遵义医科大学附属医院 放射科
(贵州 遵义 563000)

2.重庆市重庆大学附属中心医院 医学影像
科 (重庆 400010)

3.重庆市重庆市急救医疗中心医学影像科
(重庆 400010)

【摘要】主动脉夹层(aortic dissection, AD)是急性主动脉综合征(acute aortic syndrome, AAS)的其中一种,其发病急、进展迅速,临床表现复杂多变,具有较高的致死率和致残率,因此快速准确的诊断非常重要,临床上多采用计算机断层扫描(computed tomography, CT)和超声心动图(echocardiography, ECG)进行诊断。虽然慢性主动脉夹层(chronic aortic dissection, CAD)的病程相对较长、病情较为稳定,但可出现严重并发症(包括动脉瘤及假腔血栓的形成),所以针对CAD进行定期检查并监测并发症的发生就显得尤为重要。众所周知,磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)作为一项能够开展多序列多维度的影像检查技术,在日常工作中对慢性主动脉夹层的评价具有重要意义。本文将对MRI在慢性主动脉夹层诊疗中的临床价值及研究进展进行综述。

【关键词】慢性主动脉夹层; 磁共振; 4D-Flow; 假腔; 血栓

【中图分类号】R739.45

【文献标识码】A

【基金项目】贵州省卫生健康委科学技术基金项目(gzwmkj2021-380);
国家自然科学基金项目(82060336)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.04.063

Clinical Value and Research Progress of Magnetic Resonance Imaging in Chronic Aortic Coarctation*

DENG Tie^{1,2,3}, WANG Wen-jing^{2,3}, YU Hong¹, LI Chuan-ming^{2,3}, LI Bang-guo^{1,*}.

1.Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou Province, China

2.Medical Imaging Department, Chongqing University Central Hospital, Chongqing 400010, China

3.Medical Imaging Department, Chongqing Emergency Medical Center, Chongqing 400010, China

ABSTRACT

Aortic dissection (AD) is one of the acute aortic syndrome (AAS), which has a rapid onset, rapid progression, complex and variable clinical manifestations, and high mortality and disability rates. Computed tomography (CT) and echocardiography (ECG) are often used for diagnosis. Although the course of chronic aortic dissection (CAD) is relatively long and stable, serious complications (including aneurysm and pseudo-lumen thrombosis) can occur, so it is especially important to perform regular examinations and monitor the occurrence of complications in CAD. It is well known that magnetic resonance imaging (MRI) is an imaging technique capable of performing multiple sequences and dimensions, which is important in the evaluation of chronic aortic coarctation in daily practice. In this paper, we will review the clinical value and research progress of MRI in the diagnosis and treatment of chronic aortic coarctation.

Keywords: Chronic Aortic Dissection; Magnetic Resonance Imaging; 4D-Flow; False Lumen; Blood Clots

主动脉夹层(aortic dissection, AD),属危重症,通常危及生命,致死率和致残率均较高^[1-2],AD具有真腔和假腔。临床上将发病时间≤14天定义为急性主动脉夹层(acute aortic dissection, AAD),发病时间在15-90天定义为亚急性主动脉夹层(subacute aortic dissection, SAD),发病时间>90天定义为慢性主动脉夹层(chronic aortic dissection, CAD)^[1,3]。CAD的患病率目前尚不清楚^[4],大部分为Stanford A型手术后存活的患者(约占比60%)和Stanford B型夹层通过药物治疗后好转的患者(约占比25%),少部分是自由主动脉壁间血肿、局限性主动脉夹层发展所致。CAD患者持续存在的假腔是导致后续主动脉扩张、主动脉瘤形成以及夹层进一步进展的主要因素^[5-6],因此,有必要对CAD患者进行定期影像学随访^[7]。由于CAD患者对于扫描时间要求相对不高,同时随着MRI图像空间分辨率和扫描速度的不断提高,MRI检查又不产生射线造成患者辐射损伤,所以MRI在CAD研究中的应用越来越广泛。本文就近年来MRI在CAD中的临床应用价值及相关研究进展进行综述。

1 MRI在CAD中的应用

1.1 MRI对于CAD患者的诊断优势 在临床工作中,如何选择AD的影像检查手段,主要取决于患者身体情况(比如:碘对比剂过敏、甲状腺功能亢进、肾功能损害、妊娠)以及病情的紧急程度。CT得益于其扫描速度快、检查便捷、空间分辨率高、视野大、诊断准确性高、可以快速评估整个主动脉夹层及动脉分支受累情况,常被用作诊断AD的首选方法。但它却对伴发的主动脉瓣关闭不全无法进行评价,而且需要使用可能引起碘过敏的对比剂。经食道超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)常用作急诊情况下的初始检查方式,可以发现心包填塞、主动脉瓣关闭不全,还可定量评估左心室心功能,但对主动脉的分支血管受累情况以及对内膜破口的显示不如CT及MRI。MRI作为一种高精度、非侵入性的成像模式,对确诊或排除主动脉夹层具有与CT、TEE同样可靠的诊断价值,甚至在主动脉夹层高风险患者中(术前预测概率为50%),MRI确认胸主动脉夹层的价值最高^[8]。随着MRI硬件设施和软件配备方面的迅速发展,以及多序列多参数成像,并与多种后处理技术有机结合,可以区分快慢血流,同时可以对扫描或重建的角度根据需求进行调整,能够对夹层范围、内膜破口以及受累分支情况提供更多有用信息^[9]。MRI检查虽然受限于设备兼容性、检查时间长等原因,以至于在急诊紧急情况下无法对AD患者进行检查^[10],但CAD患者病情相对稳定,对检查时间要求较宽松,这一切都使得MRI检查在CAD中的研究应用越来越广泛,重要作用愈发明显。

MRI检查中自旋回波(spine-cho, SE)是诊断AD的基本序列,其中的“黑血”技术(正常速度流动的血液几乎没有信号,表现为黑色)给主动脉提供了一个自然对比,突出了主动脉中流动和静止的血液,在不需要注射对比剂的情况下即可显示CAD患者假腔中血流流动和静止情况。Amano等^[11]对16例CAD患者进行了心电图联合呼吸门控的3D-MRI扫描,并对夹层假腔内是否存在血液流动的情况进行了准确的判断。当SE序列对鉴别慢血流及血栓有一定困难时,磁共振电影成像(Cine-MRI)可加以补充:Cine-MRI可动态观察主动脉真、假腔内流动血液的信号变化,从而达到鉴别血栓与慢血流的目的,而且还能对主动脉瓣关闭不全做出定性及反流容积、左心室收缩末期和舒张期容积大小等的定量诊断。相位对比技术(phase contrast, PC)中流动的质子相位发生变化,而静态的质子相位不产生变化,利用流动质子、静态质子间形成的相位差别,同样可以在不注射对比剂的情况下明显区分真假腔以及血流信号,从而明确主动脉夹层的解

【第一作者】邓 铁,男,主治医师,主要研究方向:心血管/人工智能方向。E-mail: dengtieky420@163.com

王文静,女,主治医师,主要研究方向:胸部影像学/人工智能方向。E-mail: 150555467@qq.com

【通讯作者】李邦国,男,主任医师,主要研究方向:胸部影像学。E-mail: lbg2015@163.com

剖分型,并对血管腔内血栓及慢血流进行鉴别,而且还能做血液流量定量分析。相位对比磁共振血管成像(phase-contrast MR angiography, PC-MRA)技术中最常见的二维相位对比磁共振血管成像(2D-PC-MRA)技术可以显示真腔和假腔血流模式的差异,对真腔及假腔内的血流流速、血流方向进行简单的测量,并初步推测真腔面积/假腔面积比值的增加和收缩期真腔内平均血流速度的降低可能是引起假腔扩张的主要因素,但此技术受限于采集视野,对主动腔的覆盖范围有限,且仅限于对单个2D平面进行成像,在定量测量时亦局限于选择垂直于二维平面的单一方向进行速度编码,很难反映CAD患者整体主动腔血流动力学状况,因此常常会低估血流参数。使用含钆对比剂进行磁共振血管造影(MR angiography, MRA)可以获得与CT血管造影(CT angiography, CTA)类似的三维图像,特别是三维增强MR血管成像(3D-DCE-MRA)经MIP(maximum intensity projection, MIP)重建后可直观、立体地显示主动腔夹层累及范围、主动腔分支血管受累情况等,并且可以清晰显示内膜破口表现为线状连续性中断结构,真腔假腔经破口相通。真实稳态快速梯度回波(true-FISP)是一种快速屏气MRI技术,在不注入对比剂的情况下能在不到4分钟的时间内完成对CAD的初步、准确诊断,且对内膜破口及分支血管受累情况的显示明显优于常规使用的未增强自旋回波或快速自旋回波序列^[12-13]。同时,该序列还可用于不能完全配合检查的CAD患者以及有顺磁对比剂药物禁忌症或外周静脉导管插入困难的情况。Andrea Iozzelli等^[12]作者研究发现在3D-DCE-MRA扫描序列结合true-FISP扫描序列可以在临床实践中为CAD患者提供更多的重要信息,3D-DCE-MRA能显示管腔内情况、血栓和分支血管情况;而true-FISP能以较高的图像质量显示血管壁和血管外部情况,比如血管外压迫和腹部血管外病变等。

1.2 MRI对于CAD患者假腔血栓的甄别 LePage等研究发现,由于CAD假腔的平均直径较AAD更大,加上动脉粥样硬化及扩张假腔内血流瘀滞,导致CAD具有更高的假腔血栓发生率^[14]。李逸明、Spinelli等^[15]研究表明主动腔夹层假腔完全血栓化提示预后良好,并将假腔完全血栓化视为AD愈合的影像学表现。而假腔内部分血栓化或无血栓形成造成假腔内持续的血流存在,并直接影响主动腔内的血流动力学,使得主动腔壁结构弱化,从而使得病变段主动腔直径将持续增大,甚至导致主动腔破裂^[16-17]。对于CAD患者,其预后主要取决于假腔内血栓的存在以及高血压的控制水平,这是因为假腔内血栓的存在能帮助血管壁更好地抵御血流所造成的冲击,从而降低主动腔局限性膨胀的概率及假腔破裂的危险性^[18]。因此准确判断CAD假腔内血栓化的情况对于指导临床治疗、随访具有重要意义^[19-20]。CTA广泛应用于主动腔夹层,常常通过观察假腔内有无强化区域来判断假腔内是否形成血栓,但该成像方式严重依赖于对比剂分布情况,包括注射部位、对比剂输入量及速率、心脏输出量以及血管腔内的流速等,往往会造成假腔内血栓和慢血流的误判、高估假腔内血栓的体积^[21]。当MRI显示CAD患者血管腔内有异常信号时,通过更替脉冲序列或是改变扫描层面方向来显示血管腔内异常信号有无变化,以此区别该异常信号是慢血流抑制或是血栓,因为慢血流信号是可变的,而血栓信号无明显变化。使用特殊扫描技术也可区分慢血流抑制或血栓:例如二维PC-MRA成像,设置低流速编码,慢血流多表现为高信号;在异常信号血管腔的上游设置饱和带,此时正常的血流MRI信号将减弱或消失,而血栓的信号强度不变。还可以利用Cine-MRI技术,对流动血液的信号变化进行动态的观察。CAD假腔血栓的MRI表现复杂多样,不同时期的血栓有着不同的信号表现。Takamiya等^[22]研究发现,在AD发生的最初几天, T₁WI、T₂WI序列上血栓均表现为等或者低信号,随着时间的推移,血栓逐渐演变为在各个序列上均呈高信号表现,进入慢性期,血栓在所有序列上呈等信号或低信号;其演变过程类似于颅内血肿磁共振表现。弥散张量成像(direct thrombus imaging, DTI)通过利用血栓内富含高铁血红蛋白使血栓在黑色血液成像上呈现出明亮的高信号,并可以准确的测量出血栓的体积^[21]。

1.3 MRI对于CAD患者的长期随访 对于CAD患者,影像学检查的重点是识别其高风险特征,比如血流模式、发现夹层并发症等^[23]。持续存在的假腔是主动腔进一步扩张和夹层扩展的危险因素^[5]。假腔的持续开放也与动脉瘤性扩张有关, Sueyoshi等^[24]认为假腔内持续血流的存在是假腔扩大最重要的因素。且随着时间的推移,夹层的假腔可能会发生扩张和动脉瘤性变性,从而引起主动腔破裂,进而导致患者死亡^[25]。当假腔持续性扩大形成动脉瘤性扩张时主

动脉破裂风险明显增高,直径>60mm时年破裂率≥6.9%,死亡率为11.8%^[26];动脉瘤的大小与破裂风险的增加比夹层解剖风险更为严重^[27]。相比之下,完全血栓形成是假腔稳定性的一个独立预测因素^[28]。CAD患者管理的一个关键问题就是预防假腔逐渐增大。CAD患者无论采取的是保守治疗或者是手术治疗,脏器缺血、血管瘤样扩张、破裂或新发夹层等并发症均有可能发生,甚至是已经康复出院的患者亦有可能发生。因此,无论主动腔夹层的初始处理如何,后续都必须通过适当的影像检查进行仔细随访^[7, 29]。Yusuke Takei、Chien-Wei Chen^[30]等研究表明四维相位对比磁共振成像(four-dimensional phase-contrast magnetic resonance imaging, 4D-PC-MRI)不仅可以呈现与CTA媲美的图像,还能够提供丰富的血流动力学参数信息,并计算术前、术后主动腔内以及进入和再进入部位的血流方向和体积变化,评估主动腔修复术后的内漏情况。同时,该检查对主动腔直径、体积等数据的测量重复操作性较好,与CTA直径测量具有较好的一致性^[4],在一定程度上避免了因多次复查带来的射线损害和潜在的对对比剂过敏反应,而这对CAD患者的长期随访显得尤为重要。

对于CAD患者,我们需要定期监测主动腔重塑的情况及夹层内血栓等的动态变化,并且评估脏器的血供、功能,及时发现影像CAD预后的危险因素,对药物进行必要的调整或进行必要的二次手术,以达到改善患者远期预后、提高CAD患者的总体生存率。因此,对CAD患者进行规律的随访是必要的。在条件允许的情况下,CAD如果处于疾病稳定期,则建议间隔一年时间随访复查,而处于进展期(即主动腔破裂、快速扩张或分支血管灌注不良而需要紧急血管内或外科修复)的话,则需要更短的随访间隔^[31]。对于遗传性疾病所致CAD患者,同样建议定期进行临床和影像随访。Erbel等^[32]为洛伊-迪茨综合征(Loeys-Dietz syndrome, LDS)患者应在诊断时和此后间隔1年进行完整的主动腔成像,优先使用从脑血管循环到股动脉的核磁共振筛查。选择MRI成像对CAD患者定期随访检查可以避免CT检查带来的反复辐射损害或ECG检查因操作者不同导致的结果差异。另外,MRI不仅可以对血管径线进行测量,还可以对血流动力学进行定性及量化分析,提供血流性质及主动腔壁的情况,对主动腔夹层进行远期预后评估^[33]。但是对于CAD患者假腔侧壁的钙化敏感性不如CT。

2 MRI在CAD中的研究进展

现如今,MRI技术日渐更新,包括在梯度技术、射频线圈、脉冲序列设计和后处理方面的改进,图像质量已经大为改善,除了能充分评估假腔的通畅性、血栓形成程度和主动腔直径外,还能够对CAD中发生的复杂解剖学、功能学变化提供静态或动态的高分辨率信息,甚至量化潜在的预后血流动力学参数,如对局部壁面剪切应力的测量、血流模式及速度的分析、瓣膜功能的分析等。PC-MRA血流测量亦由二个方向采集发展到三个方向血流信息,由单层面二维采集发展到三维、甚至四维采集,采集速度也得到了显著的提高,从而实现了获取3D或容积血流动力学信息的可能。三维(3D)速度编码(VEC)磁共振成像(three-dimensional velocity-encoded magnetic resonance imaging, 3D-VEC-MRI),是一种通过矢量速度编码来扩展相位对比流动测量技术的方法,该方法通过对体积数据集的所有三个空间方向进行编码,无需注入对比剂即可完成对胸腹部和外周动脉血管的病理生理性血流动力学可视化解释,且该技术对判定真假腔及了解假腔内血栓形成情况有绝对优势。Callaghan、Sherrah^[34-35]等研究表明使用多速度编码(multi-VEC)方法可以进一步改进主动腔血流的路径线跟踪和流线型估计,甚至可以评估CAD假腔血流及内膜皮瓣的完整性。Müller-Eschner等人^[36]用1.5T MRI对1例慢性Stanford B型主动腔夹层患者进行三维速度编码电影磁共振(3D-VEC-MRI)扫描,血流的流线图及电影可以清晰地显示血液通过破口加速流入假腔,导致真腔内血流受到干扰。假腔内的涡流导致进一步的假腔扩张,甚至动脉瘤样扩张。在夹层真假腔内的血流速度差异足够大的情况下,Maj等^[37]使用瞬时分辨对比增强MRA获得了差异分明的夹层真假腔图像,并对血流动力学参数进行测量。四维相位对比磁共振成像(four-dimensional phase-contrast magnetic resonance imaging, 4D-PC-MRI)无需对比剂即可提供与CTA图像质量相当的图像^[30],而且还能获得有关血流动力学参数的信息,在评估CAD和残余主动腔夹层方面是安全和准确的,甚至能对多通道的复杂CAD血流动力学模式进行可视化和量化^[38]。4D-PC-MRI中又以四维(三维空间+一维时间)

流动MRI(4D-flow-MRI)最常见,该技术使用K空间分割技术,在多个心动周期下对每个原始数据连续采集四个数据,最后通过图像重建,得到3D电影幅度图像和相位差图像。这种扫描技术虽然成像时间较长,但能够较大范围覆盖感兴趣区,精确定量通过主动脉的血流速度和体积、流速、湍流动能、血管壁压力、剪切力以及随时间变化的流体力学,并可将主动脉内血流的速度、方向以流线图的形式呈现,进而依据血流动力学情况对主动脉夹层的病理形态改变进行力学根源层面的探讨,并可依据血流的定量信息对夹层的发展进行预测。既往研究结果提示主动脉夹层的形成以及进展与主动脉内的血流动力学因素及顺应性有着密切的关系,真假腔内血流的量、速度、模式以及真假腔内的压力差都是造成真腔塌陷、假腔扩张的关键因素。Clough等^[23]证实了4D-PC-MRI,可准确地应用于可视化和量化主动脉夹层患者的血流特征,且在测量血液流动速度时精确度较2D-PC-MRI高;对研究中的12例患者进行4D-PC-MRI分析发现,假腔内涡流的发生率与假腔扩张大小呈线性相关。M. Strotzer^[39]等通过对15例降主动脉夹层患者研究发现夹层的真腔内存在单向血流,而在未经处理的夹层假腔中存在双向血流,假腔内血液流动的不规则程度明显高于真腔内的。假腔内的湍流流动可能会引起主动脉壁剪切应力的改变。Sakalihasan^[40]利用4D-PC序列和速度图可能使血流模式和血流动力学评估得出主动脉壁应力参数,提供超出解剖程度和主动脉直径的解剖评估信息。Sakata等^[41]对腹主动脉瘤腔内修复术后内漏情况的研究表明4D-flow-MRI较传统增强CT对内漏情况检测更加有效和敏感,还可根据血流分布特点对II型内漏进行分类。David Marlevi等作者^[42]利用4D-flow-MRI技术对12例B型CAD患者进行研究发现:夹层入口撕裂处逆行和顺行血流量之比与主动脉生长速率呈正相关,主动脉根部和远端假腔之间的绝对压力差与主动脉生长速率呈负相关。4D-flow-MRI扫描下夹层的假腔压力监测可能有助于对主动脉扩张和夹层并发症风险的识别。

然而,4D-PC-MRI的时间分辨率低于2D-PC法,这导致了4D-PC法在峰值流速上测得的数值小于2D-PC法^[33]。同时,4D-PC-MRI的临床应用也存在一定的缺点。首先,4D-PC-MRI数据是在大体积上采集的,并且容易受到磁场不均匀性、麦克斯韦效应、涡流和梯度磁场的非线性影响。其次,来自心脏和呼吸运动的运动伪影是4D-PC-MRI采集中另一个潜在的误差来源。最后,4D-PC-MRI相对耗时较长且价格昂贵,这阻碍了其在临床中的应用。

3 CAD患者MRI检查的展望

CAD病情相对稳定,其血流动力学发展变化贯穿于主动脉夹层发生与发展的整个过程,影像学检查重点是识别其高风险特征。MRI作为非侵入、无辐射的检查手段,不仅能实现对主动脉形态的显示及主动脉管径的精准测量,还能观察到真腔和假腔内血流的变化情况,而且还能对重要的预后因子(如假腔血栓)进行评估。4D-PC-MRI更是对主动脉夹层的、血液量、血流速度、血流模式、壁面剪应力、血流动力学参数进行精确的评估,有助于指导医生对CAD病变进行更全面的术前和术后评估,对CAD长期随访和可能发生的并发症提供更好的预测因素。所以在条件允许的情况下,应该多加使用MRI对CAD患者进行病情评估及后期随访监测。

参考文献

- [1] Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) [J]. Eur Heart J, 2014, 35 (41): 2873-2926.
- [2] Fattori R, Cao P, De Rango P, et al. Interdisciplinary expert consensus document on management of type B aortic dissection [J]. Am Coll Cardiol, 2013, 61 (16): 1661-1678.
- [3] Boohar AM, Isselbacher EM, Nienaber CA, et al. The IRAD classification system for characterizing survival after aortic dissection [J]. Am J Med, 2013, 126 (8): 730 e19-24.
- [4] Fleischmann D, Afifi RO, Casanegra AI, et al. Imaging and Surveillance of Chronic Aortic Dissection: A Scientific Statement From the American Heart Association [J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2022, 15 (3): e000075.
- [5] Jonker FH, Trimarchi S, Rampoldi V, et al. Aortic expansion after acute type B aortic dissection [J]. Ann Thorac Surg, 2012, 94 (4): 1223-1229.
- [6] Kirsch M, Legras A, Bruzzi M, et al. Fate of the distal aorta after surgical repair of acute DeBakey type I aortic dissection: a review [J]. Arch Cardiovasc Dis, 2011, 104 (2): 125-130.
- [7] Reeps C, Pelisek J, Bundschuh RA, et al. Imaging of acute and chronic aortic dissection by 18F-FDG PET/CT [J]. J Nucl Med, 2010, 51 (5): 686-691.
- [8] Shiga T, Wajima Z, Apfel CC, et al. Diagnostic accuracy of transesophageal echocardiography, helical computed tomography, and magnetic resonance imaging for suspected thoracic aortic dissection: systematic review and meta-analysis [J]. Arch

- Intern Med, 2006, 166 (13): 1350-1356.
- [9] 陈祖望, 周康荣, 陈福真, 等. 主动脉夹层几种磁共振影像的评价和比较 [J]. 中华放射学杂志, 1997, 31 (1): 15-19.
- [10] Hartnell GG. Imaging of aortic aneurysms and dissection: CT and MRI [J]. J Thorac Imaging, 2001, 16 (1): 35-46.
- [11] Amano Y, Sekine T, Suzuki Y, et al. Time-resolved three-dimensional magnetic resonance velocity mapping of chronic thoracic aortic dissection: a preliminary investigation [J]. Magn Reson Med Sci, 2011, 10 (2): 93-99.
- [12] Iozzelli A, D'Orta G, Aliprandi A, et al. The value of true-FISP sequence added to conventional gadolinium-enhanced MRA of abdominal aorta and its major branches [J]. Eur J Radiol, 2009, 72 (3): 489-493.
- [13] 范占明, 张兆琪, 刘玉清, 等. 快速屏气MRI技术对主动脉夹层的诊断价值 [J]. 中华放射学杂志, 2003, 37 (8): 737-741.
- [14] LePage M A, QLE, Sonnad S S, et al. Aortic dissection: CT features that distinguish true lumen from false lumen [J]. AJR Am J Roentgenol, 2001.
- [15] Spinelli D, Benedetto F, Donato R, et al. Current evidence in predictors of aortic growth and events in acute type B aortic dissection [J]. J Vasc Surg, 2018, 68 (6): 1925-1935 e8.
- [16] Evangelista A, Maldonado G, Grasso D, et al. Insights from the International Registry of Acute Aortic Dissection [J]. Glob Cardiol Sci Pract, 2016, 2016 (1): e201608.
- [17] 慈红波, 戈小虎. 急性Stanford B型主动脉夹层假腔部分血栓化研究进展 [J]. 国际外科学杂志, 2020, 47 (12): 793-796.
- [18] Ouchi K, Sakuma T, Fukuda K, Yoshitake M. Contrast-enhanced magnetic resonance imaging to detect chronic aortic dissection complicated by acute aortitis [J]. Radiol Case Rep, 2017, 12 (3): 443-448.
- [19] Nienaber CA, Rousseau H, Eggebrecht H, et al. Randomized comparison of strategies for type B aortic dissection: the INvestigation of STEnt Grafts in Aortic Dissection (INSTEAD) trial [J]. Circulation, 2009, 120 (25): 2519-2528.
- [20] Tsai TT, Evangelista A, Nienaber CA, et al. Partial thrombosis of the false lumen in patients with acute type B aortic dissection [J]. N Engl J Med, 2007, 357 (4): 349-359.
- [21] Clough RE, Hussain T, Uribe S, et al. A new method for quantification of false lumen thrombosis in aortic dissection using magnetic resonance imaging and a blood pool contrast agent [J]. Journal of Vascular Surgery, 2011, 54 (5): 1251-1258.
- [22] Kaminaga T, Yamada N, Takamiya M, et al. Sequential MR signal change of the thrombus in the false lumen of thrombotic aortic dissection [J]. Magn Reson Imaging, 1995, 13 (6): 773-779.
- [23] Clough RE, Waltham M, Giese D, et al. A new imaging method for assessment of aortic dissection using four-dimensional phase contrast magnetic resonance imaging [J]. J Vasc Surg, 2012, 55 (4): 914-923.
- [24] 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): II256-261.
- [25] Nienaber CA, Kische S, Rousseau H, et al. Endovascular repair of type B aortic dissection: long-term results of the randomized investigation of stent grafts in aortic dissection trial [J]. Circ Cardiovasc Interv, 2013, 6 (4): 407-416.
- [26] Kuang SQ, Medina-Martinez O, Guo DC, et al. FOXE3 mutations predispose to thoracic aortic aneurysms and dissections [J]. J Clin Invest, 2016, 126 (3): 948-961.
- [27] Barbier M, Gross MS, Aubart M, et al. MFAP5 loss-of-function mutations underscore the involvement of matrix alteration in the pathogenesis of familial thoracic aortic aneurysms and dissections [J]. Am J Hum Genet, 2014, 95 (6): 736-743.
- [28] Onitsuka S, Akashi H, Tayama K, et al. Long-term outcome and prognostic predictors of medically treated acute type B aortic dissections [J]. Ann Thorac Surg, 2004, 78 (4): 1268-1273.
- [29] 中国医师协会心血管外科分会大血管外科专业委员会. 主动脉夹层诊断与治疗规范中国专家共识 [J]. 中华胸心血管外科杂志, 2017, 33 (11): 641-654.
- [30] Chen CW, Tseng YH, Lin CC, et al. Aortic dissection assessment by 4D phase-contrast MRI with hemodynamic parameters: the impact of stent type [J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11 (2): 490-501.
- [31] Schmidt M TP, Klempt G, et al. Long-term follow-up of 82 patients with chronic disease of the thoracic aorta using spin-echo and cine gradient magnetic resonance imaging [J]. Magn Reson Imaging, 2000.
- [32] Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. [2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases] [J]. Kardiol Pol, 2014, 72 (12): 1169-1252.
- [33] Francois 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.
- [34] Callaghan Fraser M KR, Sherrah Andrew G, et al. Use of multi-velocity encoding 4D flow MRI to improve quantification of flow patterns in the aorta [J]. J Magn Reson Imaging, 2016.
- [35] Sherrah AG, Callaghan FM, Puranik R, et al. Multi-Velocity Encoding Four-Dimensional Flow Magnetic Resonance Imaging in the Assessment of Chronic Aortic Dissection [J]. Aorta (Stamford), 2017, 5 (3): 80-90.
- [36] Muller-Eschner M, Rengier F, Partovi S, et al. Tridirectional phase-contrast magnetic resonance velocity mapping depicts severe hemodynamic alterations in a patient with aortic dissection type Stanford B [J]. J Vasc Surg, 2011, 54 (2): 559-562.
- [37] Maj E, Cieszanowski A, Rowinski O, et al. Time-resolved contrast-enhanced MR angiography: Value of hemodynamic information in the assessment of vascular diseases [J]. Pol J Radiol, 2010, 75 (1): 52-60.
- [38] Guo B, Pirola S, Guo D, et al. Hemodynamic evaluation using four-dimensional flow magnetic resonance imaging for a patient with multichanneled aortic dissection [J]. J Vasc Surg Cases Innov Tech, 2018, 4 (1): 67-71.
- [39] Strotzer M, Aeberth 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.
- [40] Sakalihasan N, Nienaber CA, Hustinx R, et al. (Tissue PET) Vascular metabolic imaging and peripheral plasma biomarkers in the evolution of chronic aortic dissections [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16 (6): 626-633.
- [41] Sakata M, Takehara Y, Katahashi K, et al. Hemodynamic Analysis of Endoleaks After Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair by Using 4-Dimensional Flow-Sensitive Magnetic Resonance Imaging [J]. Circ J, 2016, 80 (8): 1715-1725.
- [42] Marlevi D, Sotelo JA, Grogan-Kaylor R, et al. False lumen pressure estimation in type B aortic dissection using 4D flow cardiovascular magnetic resonance: comparisons with aortic growth [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2021, 23 (1): 51.