·综 述·

主动脉瘤的影像监测及手术方案设计

吕彦泽,李方达,廖鹏志,郑月宏*
(中国医学科学院北京协和医院血管外科, 北京 100730)

【摘 要】 主动脉瘤腔内修复主要依靠放射显像技术进行术前监测、术中处理和术后随访。超声、计算机断层扫描(CT)、磁共振成像(MRI)和血管造影在不同的治疗阶段发挥不同的作用,通常一种成像方式通过提供补充信息来支持另一种成像方式。多种影像学检查的数据必须综合成一个连贯的计划才能对主动脉瘤患者进行治疗和随访。本文拟对目前主动脉瘤影像检查方面已经确定和正在更新的经验进行总结。

【关键词】 主动脉瘤;血管;腔内手术
【中图分类号】 R654 【文献标志码】 A 【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2017.10.182

Image monitoring and surgical design of aortic aneurysm

LYU Yan-Ze, LI Fang-Da, LIAO Peng-Zhi, ZHENG Yue-Hong*
(Department of Vascular Surgery, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China)

【Abstract】 Endovascular repair of aortic aneurysm mainly depends on preoperative monitoring, intraoperative management and post-operative follow-up based on radiological imaging technology. Ultrasound, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and angiography all play their roles in different stages of treatment. Usually, one imaging modality supports another one by providing additional information. A variety of imaging data must be integrated into a coherent program to manage patients with aortic aneurysms during treatment and follow-up.

【Key words】 aortic aneurysm; vessel; endovascular surgery

Corresponding author: *ZHENG Yue-Hong*, *E-mail*: *yuehongzheng@yahoo.com*

影像学检查在主动脉瘤患者的术前监测、术中处理和术后随访中都起重要作用。大多数动脉瘤多偶然或在对高危患者的监测中被发现,被发现的主动脉瘤体积通常小或中等,可通过超声、计算机断层扫描(computed tomography, CT)或磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)定期监测。患者很少出现诸如胸痛、背痛或腹痛等急性症状。而快速增大的动脉瘤或动脉瘤体积达到介入手术干预标准时则需要手术治疗。目前胸部降主动脉瘤(descending aortic aneurysm, DAA)和腹主动脉瘤(abdominal aortic aneurysm, AAA)常规通过腔内修复治疗[1],腹主动脉瘤腔内修复术(endovascular abdominal aortic aneurysm repair, EVAR)的死亡率 < 2%[2]。血管外科医师在行腔内修复术前需通过影像学检查制定适当的手术方案,高分辨率的图像则有助于确定合适的穿刺点位置、确保足够的入路长度以及测量血管内支架的大小。术中 X 线和血管内超声可用于确定支架位置,以保证支架放置准确,术后影像学检查可用于发现早期或晚期内漏,如患者出现内漏则需进一步处理。因此,血管外科医师必须熟悉不同病程阶段需进行的影像学检查,必要时还需要熟练操作影像学设备[3]。本文对目前主动脉瘤影像检查方面已经确定和正在更新的经验总结如下。

1 术前影像学检查

1.1 超声检查

诊断主动脉瘤在很大程度上依赖于影像学检查,通过体格检查诊断动脉瘤并不可靠,有研究结果表明通过症状和查体只能发现 < 38% 的 AAA,大多数主动脉瘤需通过影像检查被发现[4],有报道显示通过超声检查可诊断 1966 例 AAA 患者[5]。超声检查的原理为超声波探头在使用电子信号时产生声波,声波在组织中传播并反射回传感器,传感器可检测到信号。早期超声产生的图像是一维(A 型),之后附加晶体阵列后可产生二维图像(B 型),目前的机器可产生三维和四维图像。

收稿日期: 2017-08-14; 修回日期: 2017-09-05
通信作者: 郑月宏, E-mail: yuehongzheng@yahoo.com

超声检查对升主动脉和腹主动脉小动脉瘤的检出和监测非常有效,是诊断升主动脉瘤高危人群的主要检查。由于邻近肋骨和充气肺的干扰和阴影,主动脉弓和降主动脉很难准确地通过表面超声成像。超声检查也常用于肾下腹主动脉成像,但结果的可靠性受不同超声医师技术的影响,往往无法检出最大直径 2 ~ 5 mm 的动脉瘤[6]。然而,超声检测 AAA 的敏感度和特异度接近 100%,是一种极好的筛查工具。多中心动脉瘤筛查研究结果显示,超声检查对 AAA 的依从性导致动脉瘤相关死亡风险降低 53%[7]。美国预防服务工作队依从这项研究和其他大型超声筛查研究结果的建议,对所有 65 ~ 75 岁有吸烟史的人行腹部超声检查来筛查 AAA[8]。血管外科学会(Surgery Vascular Society, SVS)实践指南推荐所有 >65 岁男性和有吸烟史的女性均应行超声检查[9]。

对于暂时不需要干预的小动脉瘤,超声是一种很好的无创监测方法。SVS 指南推荐动脉瘤直径 3.0 ~ 3.4 cm 患者应每 3 年进行一次超声监测,动脉瘤直径 3.5 ~ 4.4 cm 患者应每年进行一次超声监测。动脉瘤直径 ≥4.5 cm 已经接近需要干预的标准,患者需每 6 个月行一次超声检查[9]。较大的动脉瘤就需要更准确的成像方式,医师通过超声检查结果可能低估动脉瘤的大小[10]。

1.2 CT 和 CT 血管造影

CT 和 CT 血管成像(computed tomography angiography,CTA)可以拟定的适当扫描方式获得准确信息,是血管内介入、主动脉成像的“金标准”,可用于各种目的的检查(如复杂动脉瘤测量和分析)。CT 原理为在 X 线发射器对面机架上安装多个探测器,通过螺旋方式获得图像,数据获取非常快速,患者不适程度也很小。层距 <1 mm 的高分辨率薄层图像可显示非常详细的信息,并能准确描述主动脉的解剖结构及瘤体尺寸,测量的细节和精确水平均高于超声检查。

CTA 检查需静脉注射含碘对比剂以增强图像,同时平扫图像可用于评估血管壁钙化灶、血管走行以及管腔病变如血管壁剥离、溃疡或附壁血栓。CTA 图像很容易显示分支血管,并因终末器官是不透明的,故其可显示高风险血管的不同表现,如炎症、新月标志或囊状形状。增强扫描后血管腔动脉期强化,延迟期图像可用于评估术后是否发生Ⅱ型内漏,同时显示终末器官的影像细节。肾功能不全患者不能静脉注射造影剂,但平扫 CT 图像仍有助于监测主动脉瘤直径。

CTA 检查在轴向平面获得数据之后,后续可在两个或三个维度重建图像。矢状面和冠状面重建有助于动脉瘤解剖和主动脉在体内走行以及主要分支血管的可视化,包括主动脉起始处的分叉角度、相互关系和距离,测量及重建图像很容易,有助于手术方案的制定。另外,正常主动脉出现弯曲常导致倾斜测量,通过主动脉倾斜角度和主动脉轴偏移测量可使测量结果不准确,高估主动脉的最大直径,特别是脊柱后凸或侧弯的老年患者。CTA 可通过重建中心线的走行来测量主动脉直径,与中心线垂直的测量可防止离轴测量,能最精确地测出主动脉最大直径[11]。

1.3 MRI

MRI 原理是通过强磁场获取及排列体内的氢原子,高频脉冲使原子发出信号以被收集。简言之,图像处理依赖于时间常数。T_1 加权像中脂肪显示为高亮,T_2 加权像中含水结构表现为高亮。快速脉冲序列和梯度回波序列可使血液成像,使用钆剂对比可增强。MRI 可成像多个不同平面的主动脉及其分支,并不需要接触电离辐射和使用含碘造影剂,能更好地监测年轻和肾功能不全以及对造影剂严重过敏的动脉瘤患者[12]。然而,由于使用的钆剂可导致肾小球滤过率 <30 ml/(min · 1.73 m^2),增加患者肾源性系统性纤维化的发病可能,因此这类患者禁忌使用钆剂。MRI 的主要缺点是采集图像的检查时间过长,不能用于有金属植入物或幽闭恐惧症的患者。此外,国内医师不习惯通过 MRI 图像制定手术计划,因为它很难获得高分辨率 CTA 图像所能获得的信息。临床实践中,医师可以利用 MRI 来监测胸部动脉瘤尚未修复的年轻患者。如果胸主动脉瘤接近需要腔内修复的标准,就需要通过 CTA 检查协助制定手术计划。

1.4 血管造影

在血管的腔内修复过程中,血管造影是必须的,但对于随访监测以及手术方案的设计来说,血管造影是不必要的检查,因为血管造影是一种需要动脉穿刺的侵入性检查,且所能提供的信息有限。放大倍数不同导致很难获得精确的测量结果,因此不能精确测量动脉瘤的大小。此外,血管造影仅显示主动脉的血流通道,如果动脉壁上有明显的附壁血栓,则可能低估主动脉的实际直径。

术前插管造影常用于狭窄血管的血流动力学评价以及肾功能不全患者,可以计算狭窄分支动脉的血流动力学和血流压力梯度。在动脉瘤的腔内修复术中,重要的病变可能需术前介入或术中血管成形

术(放置支架)。对于肾功能不全明显的患者,造影技术与 CT 检查相结合有助于术前影像学成像。可将猪尾导管放在主动脉内,然后患者接受 CT 平扫。注射对比剂后立即再次行 CT 平扫得到增强图像。这种检查方法仅需使用 20 ~ 40 ml 对比剂,明显低于 CTA 需使用 200 ~ 300 ml 对比剂的量[13]。

2 设计手术方案

EVAR 或胸主动脉瘤腔内修复(thoracic endovascular aortic repair,TEVAR)术中最关键的部分是术前手术方案的设计。CTA 是术前手术方案设计最理想的成像方式,通过强化前及强化时高分辨率的图像可对手术从开始到结束的过程进行规划。CTA 还可对主动脉及其主要分支直径、角度、长度、钙化区域进行测量,从而帮助选择适当的血管腔内植入物,使得未来内漏或植入物移位风险降到最低。

血管内植入物近端和远端的理想位置是位于正常主动脉,应在平扫 CT 图像上评估移植物的位置以明确血管是否钙化,突起的钙化斑块是否会破坏支架与血管壁之间的密闭性,同时钙化性斑块也可影响血管内锚的使用,因为线圈不能进入硬斑块组织,因此必要时需使用血管内锚,CT 增强图像可用于评估支架放置区域的直径、长度、形状和管腔不规则性。总体说,支架直径大于血管内径 10% ~ 20%,可保证良好的密封和防止后期内漏,支架直径过小或过大都可增加内漏或颈部扩张的风险[14]。

对于 TEVAR 术来说,支架近端锚定区的分析非常重要。最常见的是胸部支架近端应放置在主动脉弓第三区(左锁骨下动脉末端)或第二区(覆盖左锁骨下动脉和左颈总动脉远端),距离颈部末端至少 2 cm 的颈下部,主动脉弓的形状也必须考虑在内。在主动脉弓成角部位放置支架会导致Ⅰ型内漏,最常见的原因是主动脉弓较小弯曲处的“鸟嘴样”形状。如果外科医师考虑“鸟嘴区”风险较高,放置支架时就需更接近放置位置,支架放置在第二区并覆盖左锁骨下动脉有助于在主动脉水平段提供足够长度的支架放置区。外科手术前颈动脉 - 锁骨下动脉旁路有助于防止术后左上肢间歇性跛行、后循环脑卒中和脊髓损伤,甚至心肌缺血。左锁骨下动脉被覆盖的许多患者尽管无相关并发症,但有 10% ~ 20% 可出现左手臂跛行,5% 患者会出现后循环脑卒中[15]。

TEVAR 远端支架着陆区取决于动脉瘤样病变的程度。对于孤立的 DTA,腹腔动脉上方至少应该有一个 2 cm 的颈部区域。更高的腹腔动脉有助于保留肋间动脉,最大限度地保护脊髓血流灌注。在一些外科手术中,肋间动脉的保存可显著降低脊髓损伤率。医师的目的是保证足够的支架覆盖主动脉,以防止Ⅰ型内漏,但需尽可能多地保留未被支架覆盖的正常主动脉来保证肋间动脉供血。延伸到内脏段的胸腹主动脉,如果需要进行腔内修复则需要更复杂的计划,可根据具体患者的解剖结构定制不同的有孔支架和有分支支架。这些支架需要3 ~ 4周的制作时间,需要更细致地规划支架窗口及分支位置和方向,以便使术中放置支架容易操作,并防止由于侧支扭曲和密封不足引起的迟发性堵塞。

EVAR 手术的要求是在最低肾动脉以下适当的瘤颈区放置支架,最好应超过瘤体区至少 1.5 cm 长、没有钙化或附壁血栓的正常血管。肾下瘤颈高风险特征包括长度短、圆锥形、角度大于 45°、钙化和附壁血栓。具有这些特征的患者在术后早期和晚期发展为内漏的风险很高,具有两个或两个以上高危特征的患者应考虑辅助措施或替代措施。开窗支架或烟囱技术可增加支架近心端的延伸,帮助支架着陆并减轻主动脉抵抗,但这些技术仍比标准 EVAR 术的风险要高[16]。新型近端固定方式的装置研究也有报道,但这些设备的长期随访数据有限。例如内固定装置可通过透壁螺旋形或弯曲螺钉将支架固定到主动脉壁上[17]。这些结果显示了令人满意的短期效果,但仍缺乏长期数据。

大多数 EVAR 支架可按照尺寸着陆于髂总动脉中,多达 20% 的患者有大型髂总动脉或动脉瘤性髂总动脉,需将支架移植物延伸到髂外动脉。放置支架移植物之前,需要明确髂内动脉的覆盖范围,髂内动脉栓塞通常耐受良好,但可导致 28% 的临时臀部跛行,17% 的勃起功能障碍,很少有盆腔缺血(24 例)[18]。

术中使用的穿刺血管应通过平扫和增强图像进行评估。我们需评估股动脉有无钙化,如果可能,应避免由钙化区域进行穿刺。如果通过经皮技术植入支架移植物,应了解股总动脉分叉与骨结构之间的关系,有助于穿刺股总动脉。同时还应评估髂股系统的曲折度和钙化情况,严重的曲折可使支架移植物通过输送系统进入主动脉时非常困难。弥漫性钙化也会使操作困难,严重钙化的髂动脉和股动脉均为手术易损血管。髂股动脉的直径必须足够大以适应输送系统,现代支架移植物大多小而稳固,许多可通过小至 6 ~ 8 mm 的血管。如果进入的血管过度狭窄或不能使用,则直接将 8 ~ 10 mm 支架与髂动脉缝合。

3 术中影像学检查

3.1 超声

术中超声检查可使我们实时评估血管系统,不受电离辐射或对比剂影响,并得到不能通过其他方法获得的图像。表面超声和血管内超声检查(intravascular ultrasound,IVUS)都是血管腔内手术有价值的评估工具。表面超声检查有助于在适当位置进入股总动脉,特别是计划行经皮操作时,操作人员必须确保进入股总动脉而不是股浅动脉。穿刺入针时该血管应具有收缩性且无纵行钙化,应该先纵向穿刺而不是横向穿刺,这种方式可成功地经皮穿刺闭塞动脉。如果计划切除股动脉,超声波可帮助正确定位切口。

在许多情况下,IVUS 是确保适当放置支架移植物的合适工具。对于需要打开主动脉的患者,为了避免主动脉分支血管供血不足,将支架移植物放置在主动脉的真腔中至关重要。IVUS 有助于确保导丝在整个手术过程中在真腔中行进,避免在开窗中进出。IVUS 可同时通过荧光成像检查确认主要分支的位置,尤其当着陆区较短或瘤颈解剖结构欠佳时,这一点尤为重要。EVAR 术对侧开窗完成后,可将 IVUS 置于进入对侧血管的导丝上,以确保导丝实际上与支架移植物并行,而不是在支架移植物之后。移植物完全展开后,可在每个分支中使用 IVUS 以确保分支血管的适当扩张,任何不完全扩张的区域都可使用适当尺寸的设备进行球囊扩张。

对于肾功能不全患者,IVUS 辅助装置可取代血管造影技术的许多步骤[19]。一旦通过 IVUS 识别出近端和远端着陆区域,则在释放支架前进行血管造影以确认放置部位和解剖结构,如有必要则进行支架释放和球囊扩张,然后再次进行血管造影以确保没有内漏,这种技术可使血管腔内修复所需的造影剂最小化。

3.2 血管造影

数字减影血管造影(digital subtraction angiography,DSA)可高质量显示血管系统,能够确保在精确位置释放支架植入物,同时手术过程中可识别分支血管的起源。由于手术需要最大限度地延长着陆区长度,同时不会覆盖分支血管的起始处,将 CTA 信息与 DSA 图像相结合可提高精准度。支架植入物释放后,必须进行完整的主动脉造影以评估是否存在内漏,通过造影图像还可确定是否需要额外的球囊扩张,或是否需要向近端或远端延伸。还可以确保分支血管起始处的完整,没有被无意覆盖。

4 术后监测

TEVAR 或 EVAR 术后的影像学监测对于预防晚期并发症至关重要。尽管手术死亡率较低,但由于后期发展为内漏的风险持续增加,再次干预的发生率明显高于开放性手术[20]。

4.1 超声

由于超声检查具有成本效益、易于实施、并且不需要接受电离辐射及不需要使用含碘造影剂,因此它是长期随访的绝佳选择。尽管超声检查不能充分显示胸主动脉,但它可获得腹主动脉瘤非常多的信息量。彩色多普勒超声可用于证实支架植入物内及其分支的通畅性。检查近端、远端和支架植入物附着位点可明确有无内漏。检查动脉瘤囊体自身可排除Ⅱ型内漏。还可以确认肾内分支血管通畅性及排除移植物移位的情况[21]。

用于发现内漏的超声成像准确性依赖操作者操作及识别技术。经验丰富的超声医师可使它的准确度接近 CTA 的准确性,但总体来说,超声发现内漏的诊断准确性太低,无法在 EVAR 术后常规监测内漏。有报道表明超声检测内漏的灵敏度仅 69.1%(95% *CI* 51.7% ~86.6%),特异度 90.6%(95% *CI* 86.7% ~94.6%)[22]。对比增强超声检查正在发展成为术后检查的可行替代方案,它显著提高了诊断内漏的准确性,灵敏度为 97% ~100%,特异度为 82% ~100%。准确性几乎与 CTA 媲美,可有助于检测更多的Ⅱ型内漏[23]。然而,操作员所需技能尚未广泛普及。在进行了 1 年 CTA 随访成像的患者中,如果未发现内漏或支架移位及囊体收缩的证据,之后可以用超声替代 CTA 进行长期随访。

4.2 CT 和 CTA

CT 平扫可用于检查支架植入物金属部件的完整性,可识别钙化情况,以区分钙化跟增强图像上所示内漏。增强扫描可用于测量动脉瘤最大直径,可进行中心线重建以获得最佳精准度。动脉瘤囊体应在血管腔内修复后保持稳定或收缩状态。CTA 可评估支架植入物的位置,并检查主动脉分支血管通畅性。还可检查支架两端是否出现Ⅰ型内漏,并明确有无Ⅲ型内漏。延迟期图像经常用于评估Ⅱ型内漏。长期使用 CTA 成像进行随访所需成本较高,在使用 CTA 进行一年或多年的随访之后,如果 CTA 已经证明没有内漏及瘤体已经收缩,可转而采用替代方法。如果替代成像检查怀疑相关并发症出现,则可再次行 CTA 检查。

4.3 MRI

MRI 是 CTA 的替代方案,由于 MRI 可减少个体累积寿命中所受到的辐射剂量,尤其适用于年轻患者。MRI 对于难以通过 CTA 或其他成像方法鉴别的内漏患者也可能有帮助[24]。

4.4 血管造影

血管造影不用于常规术后监测。如果 CTA、MRI 和(或)双相超声不能显示内漏的来源,这时行血管造影可能会有帮助。当其他备选方案提供的数据不足时,血管造影也是一种可选的有创检查。

总之,无论术前监测、手术规划、术中辅助或术后监测,主动脉瘤血管腔内修复都需依赖影像检查。每种检查都各有优缺点,一种成像方式可通过提供额外信息来补充另一种成像方式。血管外科医师必须将各种影像检查数据整合为一体才能制定更全面的针对主动脉瘤患者的治疗计划。

【参考文献】

[1] Gopaldas RR, Huh J, Dao TK, *et al*. Superior nationwide outcomes of endovascular *versus* open repair for isolated descending thoracic aortic aneurysm in 11 669 patients[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2010, 140(5): 1001 – 1010. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2010.08.007.

[2] Greenhalgh RM, Brown LC, Kwong GP, *et al*. Comparison of endovascular aneurysm repair with open repair in patients with abdominal aortic aneurysm (EVAR trial 1), 30-day operative mortality results: randomised controlled trial[J]. Lancet, 2004, 364(9437): 843 – 848. DOI: 10.1016/S0140-6736(04)16979-1.

[3] 李昕禾, 赵全明. 关于目前影像学技术在腹主动脉瘤风险评估方面的研究进展[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2017, 9(1): 111 – 113.
Li XH, Zhao QM. Recent advances in imaging techniques for risk assessment of abdominal aortic aneurysms[J]. Chin J Evid Based Cardiovasc Med, 2017, 9(1): 111 – 113.

[4] Chervu A, Clagett GP, Valentine RJ, *et al*. Role of physical examination in detection of abdominal aortic aneurysms[J]. Surgery, 1995, 117(4): 454 – 457.

[5] Segal BL, Likoff W, Asperger Z, *et al*. Ultrasound diagnosis of an abdominal aortic aneurysm[J]. Am J Cardiol, 1966, 17(1): 101 – 103.

[6] Chiu KW, Ling L, Tripathi V, *et al*. Ultrasound measurement for abdominal aortic aneurysm screening: a direct comparison of the three leading methods[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2014, 47(4): 367 – 373. DOI: 10.1016/j.ejvs.2013.12.026.

[7] Ashton HA, Buxton MJ, Day NE, *et al*. The Multicentre Aneurysm Screening Study (MASS) into the effect of abdominal aortic aneurysm screening on mortality in men: a randomised controlled trial[J]. Lancet, 2002, 360(9345): 1531 – 1539.

[8] Guirguis-Blake JM, Beil TL, Senger CA, *et al*. Ultrasonography screening for abdominal aortic aneurysms: a systematic evidence review for the U. S. Preventive Services Task Force[J]. Ann Intern Med, 2014, 160(5): 321 – 329. DOI: 10.7326/M13-1844.

[9] Chaikof EL, Brewster DC, Dalman RL, *et al*. SVS practice guidelines for the care of patients with an abdominal aortic aneurysm: executive summary[J]. J Vasc Surg, 2009, 50(4): 880 – 896. DOI: 10.1016/j.jvs.2009.07.001.

[10] 张杰, 戴向晨, 肖明, 等. 超声造影诊断腹主动脉瘤腔内隔绝术后Ⅰ、Ⅱ型内漏的价值[J]. 中华超声影像学杂志, 2017, 26(4): 296 – 301.
Zhang J, Dai XC, Xiao M, *et al*. Value of contrast-enhanced ultrasound in the diagnosis of intraabdominal leakage after endovascular exclusion of abdominal aortic aneurysm[J]. Chin J Ultrasonography, 2017, 26(4): 296 – 301.

[11] Dillavou ED, Buck DG, Muluk SC, *et al*. Two-dimensional *versus* three-dimensional CT scan for aortic measurement[J]. J Endovasc Ther, 2003, 10(3): 531 – 538. DOI: 10.1177/152660280301-000319.

[12] Bush RL, Lin PH, Bianco CC, *et al*. Endovascular aortic aneurysm repair in patients with renal dysfunction or severe contrast allergy: utility of imaging modalities without iodinated contrast[J]. Ann Vasc Surg, 2002, 16(5): 537 – 544. DOI: 10.1007/s10016-001-0273-7.

[13] Zemedkun M, LaBounty TM, Bergman G, *et al*. Effectiveness of a low contrast load CT angiography protocol in octogenarians and nonagenarians being evaluated for transcatheter aortic valve replacement[J]. Clin Imaging, 2015, 39(5): 815 – 819. DOI: 10.1016/j.clinimag.2014.08.010.

[14] Tolenaar JL, Jonker FH, Moll FL, *et al*. Influence of oversizing on outcome in thoracic endovascular aortic repair[J]. J Endovasc Ther, 2013, 20(6): 738 – 745. DOI: 10.1583/13-4388MR.1.

[15] Feezor RJ, Lee WA. Management of the left subclavian artery during TEVAR[J]. Semin Vasc Surg, 2009, 22(3): 159 – 164. DOI: 10.1053/j.semvascsurg.2009.07.007.

[16] Lee JT, Lee GK, Chandra V, *et al*. Comparison of fenestrated endografts and the snorkel/chimney technique[J]. J Vasc Surg, 2014, 60(4): 849 – 856. DOI: 10.1016/j.jvs.2014.03.255.

[17] Deaton DH, Mehta M, Kasirajan K, *et al*. The phase Ⅰ multicenter trial (STAPLE-1) of the Aptus endovascular repair system: results at 6 months and 1 year[J]. J Vasc Surg, 2009, 49(4): 857 – 858. DOI: 10.1016/j.jvs.2008.10.064.

[18] Karthikesalingam A, Hinchliffe RJ, Holt PJ, *et al*. Endovascular aneurysm repair with preservation of the internal iliac artery using the iliac branch graft device[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2010, 39(3): 285 – 294. DOI: 10.1016/j.ejvs.2009.11.018.

[19] Hoshina K, Kato M, Miyahara T, *et al*. A retrospective study of intravascular ultrasound use in patients undergoing endovascular aneurysm repair: its usefulness and a description of the procedure[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2010, 40(5): 559 – 563. DOI: 10.1016/j.ejvs.2010.07.018.

[20] United Kingdom EVAR Trial Investigators, Greenhalgh RM, Brown LC, *et al*. Endovascular *versus* open repair of abdominal aortic aneurysm[J]. N Engl J Med, 2010, 362(20): 1863 – 1871. DOI: 10.1056/NEJMoa0909305.

[21] 周晓雯, 郭立, 闫东, 等. 腹主动脉瘤的影像诊断及进展[J]. 医学综述, 2014, 20(17): 3204 – 3206.
Zhou XW, Guo L, Yan D, *et al*. Imaging diagnosis and progress of abdominal aortic aneurysm[J]. Med Recap, 2014, 20(17): 3204 – 3206.

[22] Sun Z. Diagnostic value of color duplex ultrasonography in the follow-up of endovascular repair of abdominal aortic aneurysm[J]. J Vasc Interv Radiol, 2006, 17(5): 759 – 764. DOI: 10.1097/01.RVI.0000217944.36738.02.

[23] Ten Bosch JA, Rouwet EV, Peters CT, *et al*. Contrast enhanced ultrasound *versus* computed tomographic angiography for surveillance of endovascular abdominal aortic aneurysm repair[J]. J Vasc Interv Radiol, 2010, 21(5): 638 – 643. DOI: 10.1016/j.jvir.2010.01.032.

[24] van der Laan MJ, Bakker CJ, Blankensteijn JD, *et al*. Dynamic CE-MRA for endoleak classification after endovascular aneurysm repair[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2006, 31(2): 130 – 135. DOI: 10.1016/j.ejvs.2005.08.014.

(编辑: 王彩霞)