



CHINESE TRANSLATION

EFSUMB 教科书, 第二版

编辑: Christoph F. Dietrich

外周动脉超声

Colin Deane¹, Sergio Castellani², Boris Brkljačić³, Laurence Needleman⁴, Christoph F. Dietrich⁵

中文翻译与校对: 陈婉婷⁶, 杨萌⁶, 梁萍⁷

¹Vascular Laboratory, Department of Medical Engineering and Physics, King's College, London, UK;

²Department of Medical and Surgical Critical Care A.O.U. Careggi, Associate Professor in Cardiovascular Diseases, Chair of Angiology, University of Florence, Florence, Italy; ³Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital "Dubrava", professor of radiology, Medical School, University of Zagreb, Zagreb, Croatia; ⁴Department of Radiology, Sidney Kimmel Medical College, Thomas Jefferson University, Philadelphia, Pennsylvania, USA; ⁵Department Allgemeine Innere Medizin, Kliniken Beau Site, Salem und Permanence, Hirslanden, Bern, Switzerland; ⁶中国医学科学院北京协和医院超声科, 北京, 中国; ⁷中国人民解放军总医院介入超声科, 北京, 中国

⁶中国医学科学院北京协和医院超声科, 北京, 中国; ⁷中国人民解放军总医院介入超声科, 北京, 中国

通信作者:

Colin Deane PhD

Vascular Laboratory,

King's College Hospital, London, United Kingdom SE5 9RS

电子邮箱: colin.deane@kcl.ac.uk

外周动脉疾病

在诊断四肢动脉疾病方面，超声已广泛被认可和应用。其中连续多普勒超声（CWD）和压力测量方法因其高性价比和可靠性，在检测下肢闭塞性外周动脉疾病及其严重程度显得尤为重要。对于已确诊的患者，双功能超声扫描可以作为外科手术或血管内介入治疗的重要辅助工具，它能够精确地识别动脉中的狭窄和闭塞区域^{[[1, 2]]}。即使在血流极低的情况下，超声成像仍然显示出其在动脉检查中的独特优势，与血管造影、CT 血管造影（CTA）和磁共振血管造影（MRA）互为补充。

临床背景

外周动脉疾病的症状通常由动脉内斑块缓慢积累或急性血栓事件引发，随着时间的推移逐渐恶化，其中最典型的症状为运动引起的慢性疼痛，即间歇性跛行。约 75% 的患者可以通过药物治疗和适当的锻炼稳定病情，而仅有 5% 的患者需接受重建手术或血管内治疗。急性肢体缺血的患者则需药物治疗或手术干预，有时甚至需考虑截肢。

外周动脉疾病会累及全身各级动脉，其中粥样硬化以动脉分叉及弯曲的凸面为好发部位。下肢最常见的受累部位是内收肌水平的股浅动脉，其次是主髂动脉。糖尿病患者则常见胫腓动脉的远端病变。与此相比，近端血管的闭塞如髂动脉闭塞所造成的影响通常更为严重，由于侧支血管形成有限，血流重建变得困难。相对而言，股深动脉和膝下分支为股浅动脉闭塞提供了良好的侧支循环通道，小腿和足部的三条动脉之间的交叉分支也非常广泛。

其他与动脉粥样硬化相关的病变，如局部血栓形成、栓塞和下游闭塞，均可能影响动脉的血流量及远端血液灌注。动脉瘤的形成可能导致渗漏、破裂和附壁血栓形成，引起局部或远端闭塞。腹主动脉瘤通常没有临床症状，但很容易通过超声诊断。腘动脉瘤是血栓形成的常见部位，该处动脉闭塞可导致急性肢体缺血。表 1 列出了外周动脉超声检查的常见适应症。

表 1 四肢动脉超声检查的常见适应症

- 间歇性跛行
- 静息痛
- 坏疽、溃疡不愈合

- 创伤
- 腘动脉瘤
- 股动脉瘤
- 急性肢体缺血
- 术后血管杂音、肿块
- 雷诺综合征
- 建立血液透析血管通路及评估相关的功能不良
- 胸廓出口综合征
- 血管炎
- 动脉介入治疗失败后查因和监测

设备

连续多普勒超声

连续多普勒超声设备种类多样，包括经济实用的手持式设备和配备彩色多普勒频谱图的高端设备，后者可用于详细的血流波谱分析[图 1]。常见的换能器频率包括：

- 8 – 10 MHz：用于检测指动脉、尺动脉、桡动脉、肱动脉；胫后动脉、足背动脉和弓状动脉等。
- 3–6 MHz: 用于检测锁骨下动脉、腋动脉；腘动脉、股浅动脉和股总动脉。

高端超声设备

高端超声扫描仪是诊断外周血管疾病的理想工具，它能提供不同深度的二维超声图像，并在彩色多普勒与频谱多普勒模式下展现出高灵敏性，适用于血流检测。该设备配备的超声探头包括以下类型：

- 高频线阵探头：频率范围为 8–15 MHz，适用于胫动脉、足部及手臂动脉检查。此外，小型高频线阵探头也适用于颞动脉。
- 低频线阵探头：频率范围为 4–9MHz，适用于锁骨下动脉、股动脉和腘动脉检查。对于体型较大的患者，检查髂动脉、主动脉及股动脉时可使用 1-4 MHz 的凸阵探头。

- 相控阵探头：频率范围为 1–4 MHz，适用于腹主动脉及其分支的检查，在空间受限的条件下，可与凸阵探头互为补充。
- 高频凸阵或相控阵探头：频率范围为 4–9 MHz，适用于锁骨下动脉和无名动脉的检查。

图 1 配备两个探头和频谱分析的连续多普勒设备



外周血管疾病的连续多普勒超声

踝肱压力指数(ABPI)

踝肱压力指数常在运动或静息状态下测量，可用作初步判断是否存在外周血管疾病的方法。而双功能超声相对昂贵且耗时较长，通常用于已确诊的患者以规划治疗方案。

踝肱压力指数最初由 Yao 等人提出^[(3)]，定义为踝部动脉压与肱动脉压的比值。这一指数允许医生方便地对同一患者进行多次检查结果的纵向比较，同时也便于进行不

同患者间的横向比较。尽管操作简单，但操作时必须确保准确性[(4)]，要求患者呈仰卧位并使用宽度适当的血压袖带进行测量。

踝肱压力指数小于 1.0 通常被用来诊断外周血管疾病，且此数值会随着病情的恶化而下降。考虑到患者和正常人的压力指数存在重叠[(5)]，因此采用了较低的阈值，如 0.9 [(6)]。在临床上，轻度间歇性跛行患者的压力指数通常小于 0.8，提示这类患者不宜使用静脉绷带加压治疗[(4)]。压力指数小于或等于 0.5 与严重跛行有关，而压力指数小于或等于 0.3 则通常与缺血性静息痛、溃疡和坏疽有关[(7)]。

动脉壁钙化是导致踝部压力被高估的误差来源之一[(8)]。踝肱压力指数大于 1.3-1.4 可能意味着存在动脉钙化，这在慢性肾衰竭和糖尿病患者中较为常见[(5)]。动脉壁僵硬导致测得的压力不仅是血压，还包括动脉壁的力度。当袖带压力达到 300 mmHg 时，动脉完全不可压缩，此时的误差是显而易见的。然而，部分动脉壁僵硬增加可能导致踝肱压力指数的错误解读，即使结果看似合理但实际上是错误的。考虑到远端动脉受钙化影响较小，应仔细比较踝肱压力指数与足部动脉的波形和压力。对于胫动脉不可压缩的患者，可通过激光多普勒测定的趾肱动脉压力比值评估远端动脉血压的下降情况，因为这些动脉通常不受钙化影响。正常的趾压应该大于 50 mmHg。TASC 指南建议对动脉钙化的患者使用趾肱指数[(2)]。

加压或运动试验可以与踝肱压力指数的测量结合使用。运动时，血流狭窄处的需求增加会导致相应的压力损失增加[(9)]。运动试验进一步提供了外周血管疾病功能性和血流动力学的更多信息。最常见的运动试验是步行测试。虽然已提出了标准化的运动试验方案[(10)]，但具体方法各不相同。通常，受试者在无坡度或坡度最高为 12% 的跑步机上，以 2-4 公里每小时的速度进行 1-5 分钟的试验或直至出现症状为止。

动脉流速波谱分析

不同动脉的流速波形具有特定的特征[图 2]，因此，流速波形能够反映动脉的生理功能和疾病状态。通过肉眼观察动脉波形的变化，可以对动脉波形进行定性评估[(11)]。在超声探查近端受累的外周血管疾病时，近端闭塞或严重狭窄会导致压力脉冲降低，从而使动脉波形中收缩期上升速度变慢，搏动性减弱[图 3]。

搏动指数等定量变化被用于评估近端狭窄及其严重程度。然而，随着双功能超声扫描技术的普及，医生能够更直接地对血管狭窄进行成像，因此搏动指数在这方面的

应用逐渐减少。当主髂动脉的扫描因图像质量不佳而无法进行时，通过观察股动脉波形帮助判断[(11, 12)]。

外周血管疾病的多普勒超声（双功能、三功能）

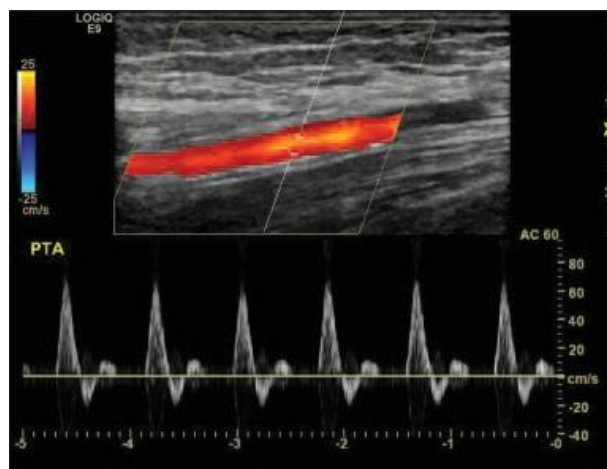
双功能超声可用于识别下肢闭塞性疾病的位置和严重程度，并确定适合旁路手术的走行动脉。此外，它还可用于监测旁路移植术或支架等治疗方法的效果。由于双功能超声能够准确量化闭塞情况，因此在治疗监测或手术治疗方面发挥着重要作用[(13-16)]。

图 2 正常动脉静息状态下的频谱多普勒图像: a) 股动脉, b) 胫后动脉, c) 颈动脉

a



b



c

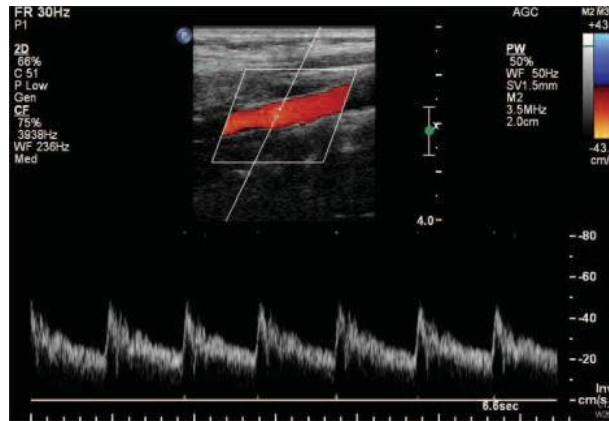
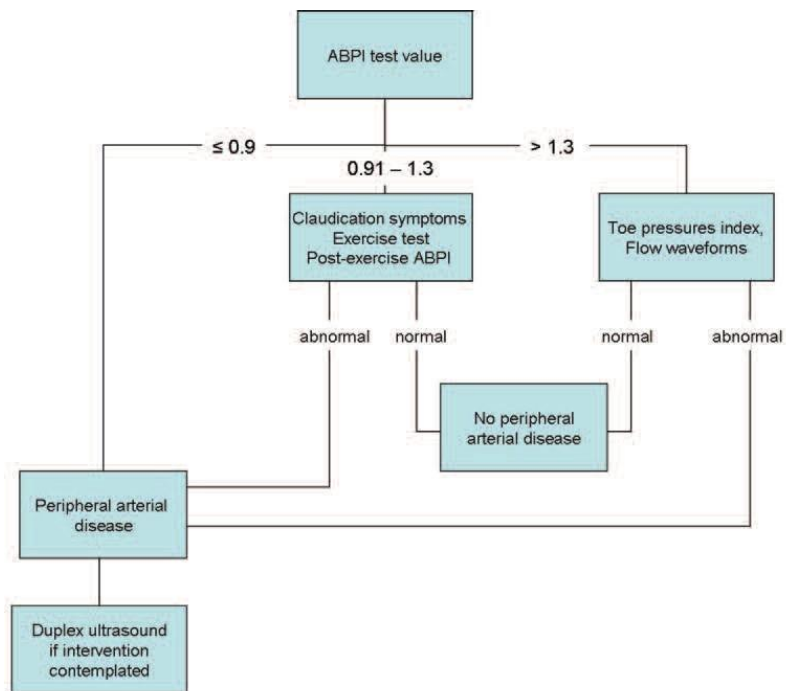


图 3 主髂动脉闭塞远端股总动脉的频谱多普勒图像。



双功能超声与动脉内造影（通常被视为动脉成像的金标准）、平扫或增强磁共振血管造影以及计算机断层血管造影相互补充，同时也存在竞争关系。在临床中，采用哪种成像方法取决于当地的资源条件、专业水平和诊断流程的实施情况。双功能超声检查外周动脉疾病耗时较长且要求医生熟练掌握专业技能。下肢动脉的检查通常需要30-60分钟来全面评估从主动脉到胫动脉的主要动脉状况。因此，双功能超声应主要用于考虑接收治疗干预的患者[图4]。

图 4 动脉疾病的诊断流程



扫查方法

动脉主要采取纵向扫查，测量流速时需要进行角度校正，因为动脉狭窄的描述是根据其峰值流速及其与相邻非病变节段流速的比值确定的。在扫查主髂动脉时，建议患者空腹以减少气体干扰。通常使用凸阵或相控阵探头对主动脉和近端髂血管进行扫描[图 5 和图 6]。而下肢通常采用线阵探头[图 7]，尽管凸线阵探头能够提供更大的视野。

图 5 主动脉闭塞的彩色多普勒图像。主动脉闭塞后，腹腔干和肠系膜上动脉仍有血流。闭塞部位与上方肝脏一样呈低回声。

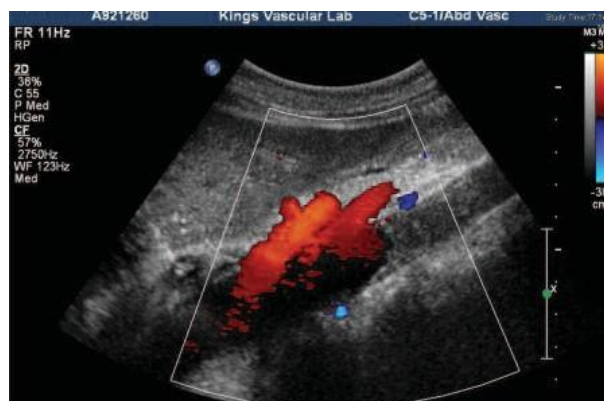


图 6 髂外动脉起始处狭窄的频谱多普勒图像。高流速 ($>3 \text{ m/s}$) 表明存在严重狭窄。

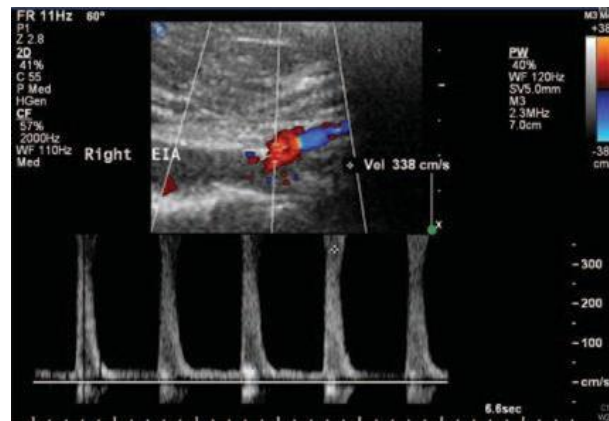


图 7 股浅动脉狭窄的频谱多普勒图像。血流混叠现象表明此处流速改变。将多普勒采样容积从近端动脉开始移动，严重狭窄部位的流速超过正常部位的 8 倍，可以通过“移动”采样容积至狭窄部位来描述狭窄情况。



在二维超声检查中，虽然难以量化动脉粥样硬化，但可以通过观察确定斑块的数量。彩色多普勒超声可能够清晰显示动脉的走行。当管腔内无法检测到血流信号[图 5 和图 8]或局部流速明显增高时[图 6、图 7 和图 9]，表明可能存在动脉闭塞或狭窄的情况。随后，应使用频谱多普勒记录该部位最高峰值流速（PSV），以量化评估狭窄的程度。

图 8 腘动脉闭塞的彩色多普勒图像。近端腘动脉血流通畅，有侧支血管形成，而远端的腘动脉没有血流信号。闭塞部位呈无回声，仅通过二维超声难以识别。

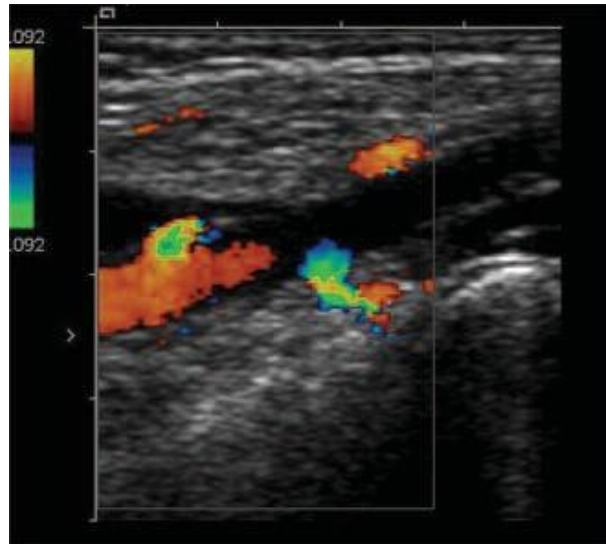


图 9 胫动脉闭塞的频谱多普勒图像.钙化动脉局部出现混叠血流信号伴较高流速，此处存在动脉狭窄。



在进行彩色多普勒频谱分析时，调整正确的角度后测量血流的峰值流速，这有助于判断血管的狭窄程度。建议在声束与血流方向的角度小于 60° 时测量（无需固定使用某一个角度）。如果扫描条件的限制下必须使用较大的角度，采用速度比率来评估角度大于 70° 时的重度血管狭窄是被认可的，但这种情况下的评估结果应更加谨慎。

图 10 股总动脉远端狭窄的频谱多普勒图像。远端狭窄部位峰值流速急剧下降，几乎没有反向血流，病变可能位于股总动脉分叉处。



动脉狭窄的评估标准

动脉狭窄的严重程度可通过观察狭窄部位的局部峰值流速增加来描述。收缩期峰值流速比值的增加反映了动脉空间的解剖学变化，表明了狭窄处的压力损失。通常，当动脉狭窄超过 50%，PSV 范围在 1.8-2.5，且临床上通常采用 $PSV > 2$ 来表示超过 50% 的狭窄[[14, 17, 18]]。这一范围说明了超声与动脉造影在测量上存在的差异，以及通过直径测量定义狭窄存在的问题。例如，同心圆型狭窄直径减少 50% 可能导致面积减少 75%，而半圆型狭窄面积减少 50%。然而，在临床中，狭窄常呈不规则形状，这增加了将流速增加量转换为狭窄血管直径测量值的技术局限性和误差。一项关于股动脉疾病的研究表明[[18]]，速度比值大于 3.0 的狭窄具有较高的早期闭塞发生率，因此建议在此阶段即采取早期干预措施。较高的速度比值通常表明疾病更为严重，当血管狭窄程度为 75%–99% 时，通常 PSV 比值 ≥ 4 。

速度比值应在近端动脉（无病变或病变极轻）以及流速增加最显著的部位进行 PSV 测量[图 6、图 7]。在临床中，必须按照动脉的走向进行角度校正，因为声束与动脉走行不一致可能导致 PSV 测量值偏低或偏高。系统化的方法有助于减少人为因素引起的误差。研究者尝试利用修正后的伯努利方程通过测量的 PSV 评估压力损失，但实际效果并不理想 [[19, 20]]。

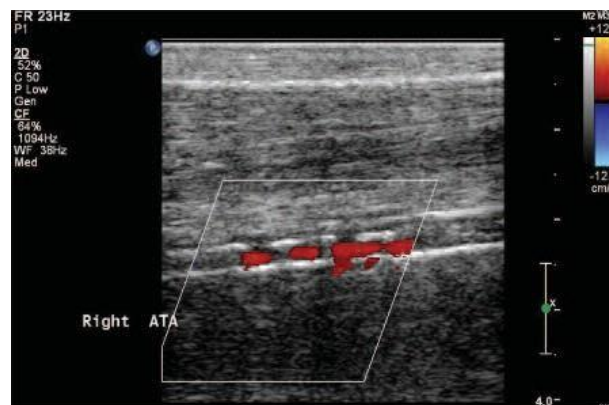
在双功能超声与动脉造影对照研究中[[21, 22]]，主动脉-髂动脉和股动脉-腘动脉段显示出良好的一致性。膝下动脉的有效性研究较少，因为全面扫查远端动脉需要耗费

大量时间，并且在小腿较粗的患者中腓动脉成像也相对困难。此外，糖尿病患者或肾衰竭患者常常伴随血管壁钙化现象，这进一步影响了胫动脉的成像质量 [图 11]。尽管如此，一项关于血管造影和双功能超声在评估血管通畅性的对照研究发现，两种方法与 CT 血管造影的评估结果具有一致性 [(23)]。

超声能有效评估股-胫动脉重建术的流出道血流情况[(24)]。由于血流速度较低，因此，患者需取坐位，双腿自然下垂，同时操作者使用高频探头，并将彩色血流和频谱脉冲重复频率的标度调低，以观察到连续的血流通过踝部来确定合适的靶向动脉。

由于需要评估的样本和动脉数量多，仅依靠一系列腿部动脉的图像进行有效分析难度较大。将超声结果以图表形式呈现，有助于更直观地评估动脉闭塞、动脉瘤的大小、狭窄的位置及其严重程度，以及主要侧支通路的形成。

图 11 胫动脉钙化的彩色多普勒图像。胫动脉钙化导致管腔内血流断续显示，动脉壁可见强回声。



外周动脉旁路移植术

超声广泛用于监测旁路移植术状态，以便尽早采取干预措施，从而延长移植物的寿命，提高肢体挽救率。移植术失败的原因如下：

- 流入或流出量不足导致移植术血运不佳，进而导致血栓形成
- 技术性错误：内膜悬垂物、移植术扭曲或弯折
- 内膜增生 (静脉移植)
- 原有动脉病变导致的流入或流出量不足

通常情况下，位于股动脉水平或更高水平的旁路移植物，其血流通畅性高于位于腹股沟水平以下的移植物。近端移植物多采用人造材料，这些移植物可能因血栓形成而失效。超声可用于监测移植物的血流通畅性、狭窄程度（尤其是吻合口周围）、血栓形成情况、技术错误、管腔大小不匹配以及血流动力学异常（血流紊乱、流速过低）等问题。

在旁路移植物的监测中，超声对腹股沟水平以下的静脉移植效果尤为显著。考虑到移植的高失败率及其可能导致的严重临床后果和因增生导致的狭窄，监测成本被证明是合理的。

动脉旁路移植术前的静脉扫查

除了检查近端动脉及其分支动脉外，超声还广泛用于评估适合手术的静脉的管径、通畅度、疤痕形成和静脉曲张情况。大隐静脉是扫查的常见血管，必要时也可以对小隐静脉、头静脉或贵要静脉进行扫查。在皮肤表面描绘出静脉的走形和长度后，让患者抬高上半身以增加静脉内的压力，如果患者再次平躺，静脉可能会出现塌陷。

术后扫查: 腘动脉远端旁路移植术

双功能超声对于评估静脉移植物具有重要意义，它能在临床症状明显或踝/臂指数异常出现之前，就检测出移植物可能存在的问题。

移植失败最常见于术后早期，因此在术后一年内使用双功能超声进行密切监测是必需的，常规检查在术后第 1 个月、3 个月、6 个月、9 个月和 12 个月。虽然一年后移植失败率低，且 6 个月后新发生的狭窄率也降低，但仍建议在一年后继续随访[(25)]，针对没有表现出功能障碍迹象的移植物，有研究提出可以将监测时间限制在 6 个月[(26)]或 12 个月内 [(27)]。

术后初期，虽然能快速确认移植物的通畅度，但通路受限可能会影响成像，且人工移植物表面的气泡会导致超声波在在表面发生强烈反射，阻碍声波通过。当可进行扫描时，则需通过二维超声和多普勒超声来判断是否存在狭窄[图 12]、血栓形成[图 13]、积液以及其他异常情况，流入及流出的情况可根据血流波形图和峰值流速进行评估，均可以与先前的结果进行比较。由于移植物为循环提供了一个低阻力通路，且压力损

失很小，因此，吻合口远端的流出道通常会出现逆行血流，从旁路向近端血管回流[图14]。

图 12 动脉移植物管腔狭窄。(a)股动脉远端移植物狭窄的频谱多普勒显示流速增加 7 倍，(b)血管造影证实狭窄存在。

a



b

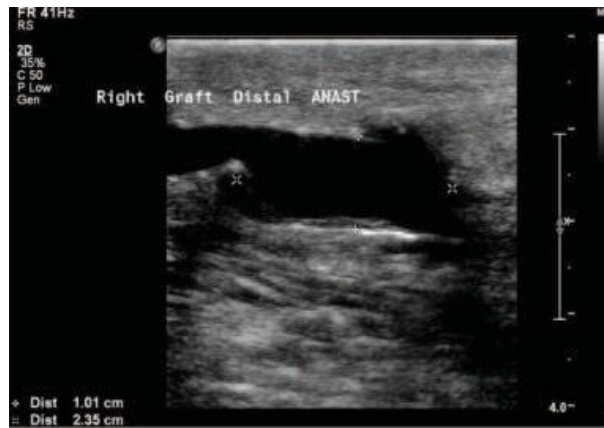


狭窄分为中度狭窄和重度狭窄，前者可以继续监测，后者则需要采取紧急干预措施。PSV 比值可用于描述狭窄的严重程度，中度狭窄的 PSV 比值为 1.5 [(26)]和 2.0[(27)]，重度狭窄的速度比率为 3.0[(26)]和 3.5[(28)]，表明移植物即将出现功能障碍和移植失败。

重度狭窄的踝/肱指数比基线下降 >0.15 ，表明近端或远端狭窄加剧，与双功能超声相比，该指数对移植物狭窄不敏感。

图 13 远端吻合口血栓的二维超声图像。术后初期较大的吻合袖带（a）。一年后分流处出现血栓（b）。

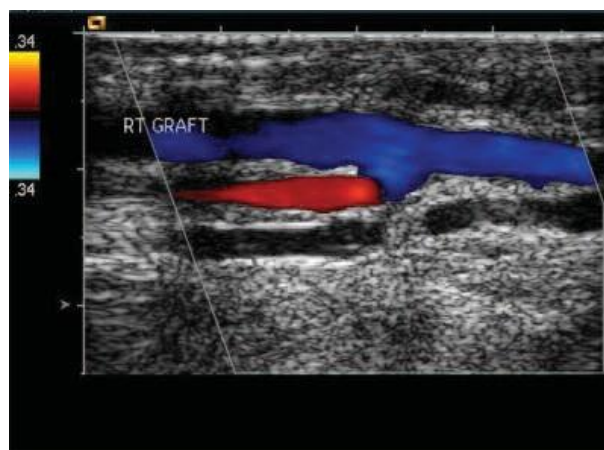
a



b



图 14 远端吻合口流出道的彩色多普勒图像。血流束既流向胫动脉远端（蓝色），也逆流向胫动脉近端（红色）。



移植物流速过低表明流入或流出量不足，可能出现闭塞。静脉移植物[(28)]和聚四氟乙烯血管移植物[(29)]的 PSV 不应低于 45 cm/s。

血管成形术: 支架

双功能超声在评估与血管成形术相关的疾病方面发挥了重要作用，避免了在介入治疗前不必要的动脉造影检查。超声能通过血流动力学参数即时评估球囊扩张情况，因此被用于指导股动脉和髂动脉疾病相关的血管成形术[(30, 31)]。

在血管成形术的后续治疗中，PSV 比值可反映血管收缩情况，与血管造影具有良好的一致性[(32)]，目前其诊断潜力尚不明确。PSV > 2 表示血管狭窄程度达到了 50%，但这一指标在预测血管长期通畅性方面的作用还有待进一步确定(33, 34)]。

双功能超声也可作为评估股浅动脉血管支架狭窄程度的指标。在一项回顾性研究中[(35)]，超声（使用狭窄处与狭窄前 PSV 的比值 Vr）与血管造影进行了比较，结果显示狭窄程度 ≥ 50% 时，PSV ≥ 190m/s 且 Vr ≥ 1.5，狭窄程度 ≥ 80% 时，PSV ≥ 275m/s 且 Vr ≥ 3.5。

急性缺血

肢体急性缺血有两个主要原因：

- 原有斑块上急性血栓形成
- 来自近端栓塞，通常源于心脏、动脉瘤或上游斑块，通常滞留在分叉处

在这两种情况下，患者都会迅速急性肢体缺血的症状，包括肢体疼痛和冰冷，并存在组织坏死的风险。相对于血管造影术，超声的使用取决于其可用性和使用速度。超声能确定闭塞位置、累及范围以及干预治疗的通路。

腓血管卡压

在腓动脉卡压综合征的患者中，足背屈或跖屈可能导致腓动脉远端闭塞[(36)]，可通过踝部血压降低及彩色多普勒血流信号减少来评估，彩色多普勒超声可以显示闭塞

部位和侧支循环的存在。然而，超过 50% 的年轻健康志愿者也可能表现出相似的情况，[[37]]，因此超声检查的诊断用途有限。

动脉瘤

超声在腹主动脉瘤和主动脉支架相关疾病的诊断和随访中的应用将在另一章节中介绍。动脉瘤也会发生在四肢，最常见于腘动脉[图 15]，较少见于股动脉[图 16]。髂动脉瘤通常与主动脉瘤相关，独立发生的髂动脉瘤较为少见，其并发症包括急性血栓形成、破裂以及对邻近静脉的压迫导致的深静脉血栓形成。

图 15 腘动脉瘤的二维超声图像。



图 16 股浅动脉瘤横切面的二维超声图像，管腔内充满血栓。

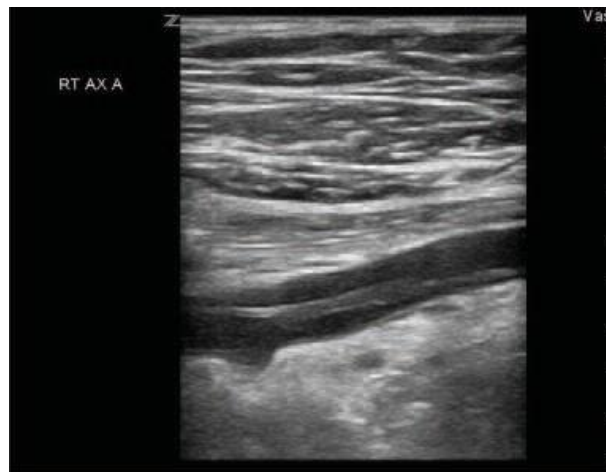


约 78% 的腘动脉瘤和 95% 的股总动脉瘤患者存在动脉瘤共存现象[[38]]。在进行腿部动脉检查时，若存在髂部或远端动脉瘤，应进一步筛查是否存在主动脉瘤。在怀疑栓塞的情况下，需要对从腘动脉至主动脉等主要动脉进行详细检查。

动脉损伤

双功能超声是快速准确诊断动脉穿刺或动脉压迫损伤的方法。最常见的并发症是假性动脉瘤[图 18]；其他并发症包括动静脉瘘、血栓形成、动脉夹层[图 17]和内膜瓣形成[(39, 40)]。最常见的医源性损伤通常由股总动脉或近端股浅动脉导管插入术引起，但这些并发症也可能发生在上肢或下肢的任何主要动脉中。

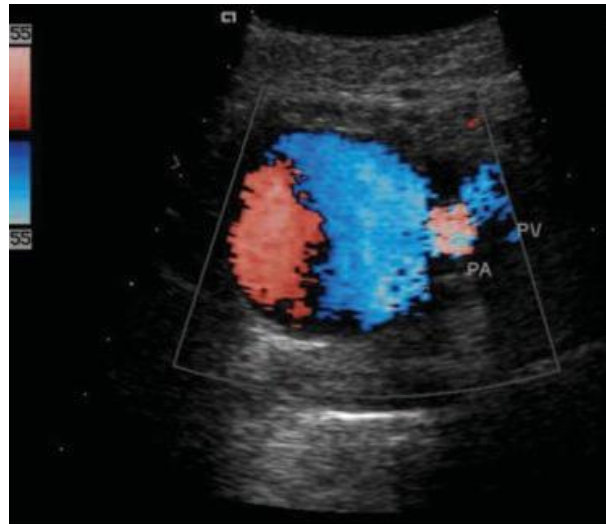
图 17 腋动脉破裂的二维超声图像。



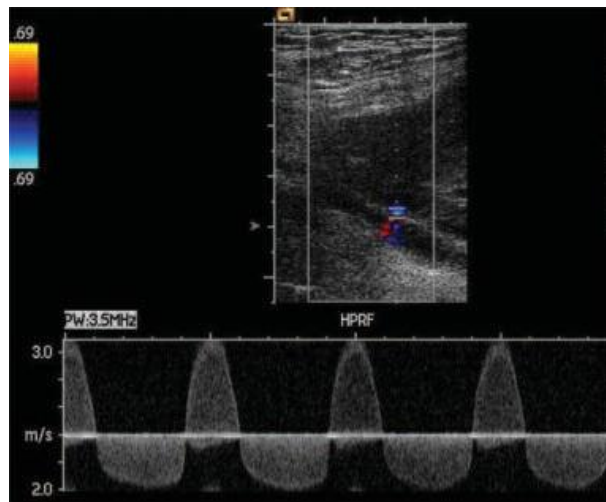
假性动脉瘤在二维超声图像中表现为动脉周边回声减低，血流从动脉漏入邻近组织。彩色多普勒表现为假性动脉瘤内出现多向血流呈旋涡状，频谱呈双向 [图 18]。瘤内可能出现血栓形成的迹象，从受损的动脉到假性动脉瘤血流表现为收缩期高流速血流，舒张期为反方向连续血流的往返血流曲线改变（即“往返”征象）[图 18]。

图 18 因导管插入术损伤而形成的股动脉和股静脉旁的假性动脉瘤。（a）彩色多普勒血流呈旋涡状，即“阴阳”征。（b）假性动脉瘤中典型的往返血流。

a



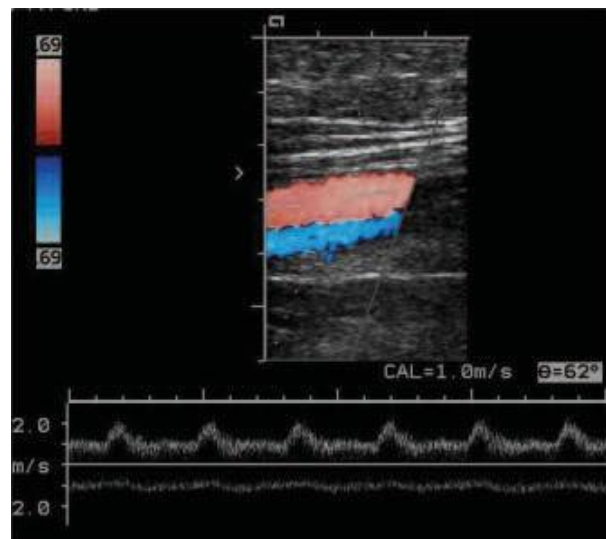
b



超声压迫使假性动脉瘤破口处闭合的成功率很高[(41)]，在确定动脉瘤破口的位置后，施加压力可以观察到血流及频谱信号消失。另一种替代方法是在超声引导下注射凝血酶[(42)]，这种方法不仅更快捷，还能减少患者的不适感。

外伤性动静脉瘘是由损伤导致的动脉与静脉之间的异常交通，会造成相应的低阻力、高压梯度和高流量的现象[(43)]。供血动脉的血流呈高速、低阻的血流特征，引流静脉会出现类似动脉的搏动特征[图 19]，在瘘口处，可能会观察到高速喷射的血流，并可能因为邻近组织的振动而产生伪影。

图 19 股动静脉瘘的彩色多普勒血流及频谱图像。



上肢的动脉疾病

下肢缺血通常由动脉粥样硬化引起，而上肢缺血的病因更为复杂和多样化。双功能超声可用于检查无名动脉/头臂动脉和锁骨下动脉至腋动脉、肱动脉、桡动脉和尺动脉的情况。

在静息状态下，上肢的血流频谱通常表现为搏动性，呈现出典型的远端高阻力特征。与下肢动脉相比，上肢的血流频谱对温度变化的反应更为敏感，这反映了上肢皮肤在体温调节中的特殊作用以及相对较低的肌肉量。在高温环境或运动后，血流频谱可能从三相或多相转变为单相，同时平均流速的提高往往伴随着增强的搏动现象。

临床应用

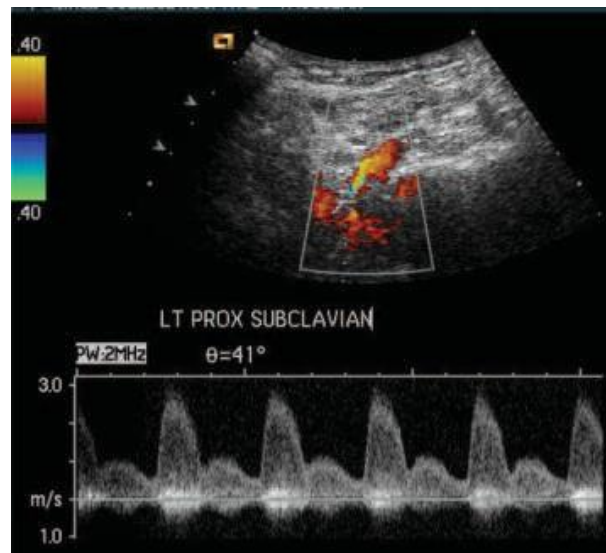
动脉粥样硬化最常见于近端动脉，尤其是无名动脉和锁骨下动脉的起始部位。锁骨下动脉起始处出现狭窄或闭塞时，可导致远端管腔的压力下降，并可能引发锁骨下动脉窃血综合症。其超声特征包括锁骨下动脉狭窄部位的血流信号紊乱及高速血流频谱[图 20]，以及同侧椎动脉的收缩期血流信号减少，出现部分或完全反向血流频谱。此外，还可以通过对双侧上肢进行无创压力测量，来定量分析狭窄的程度。患侧手部的活动可能增加供血动脉的血流量，进一步加剧狭窄处的血流动力学影响，导致椎动脉的平均反向血流速度增加，从而加重窃血现象。锁骨下动脉窃血综合症通常是无症状的良性病变，但如果在冠状动脉搭桥手术患者的常规术前评估中偶然发现，需引起医

生的高度重视。事实上，阻塞的锁骨下动脉源自乳腺动脉的血流可能会导致无法解释的冠状动脉手术失败。

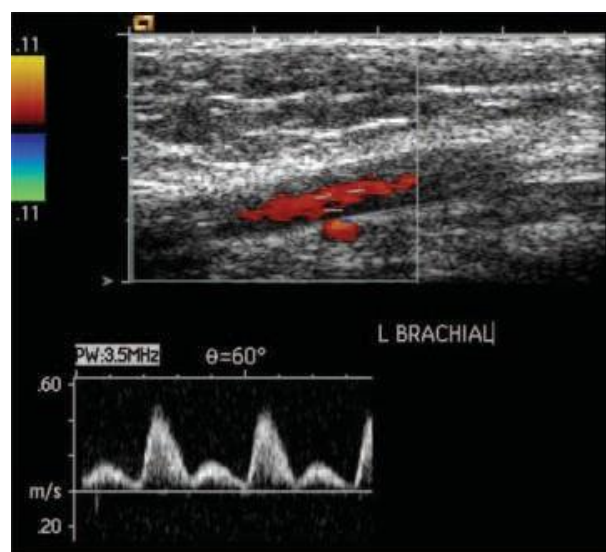
上肢血栓主要来源于心脏或近端动脉瘤，其中锁骨下动脉是最常见的部位。通过二维超声可以对动脉进行成像，以寻找动脉瘤和附壁血栓。双功能超声能够准确确定桡动脉和尺动脉的血管闭塞部位。

图 20 锁骨下动脉狭窄的频谱多普勒图像。锁骨下动脉狭窄。有证据表明，左锁骨下动脉近端狭窄呈高速血流（a）。左侧肱动脉血流（b）比右侧（c）流速更高。左侧椎动脉波动受阻（d），左臂运动会导致窃血（e）。

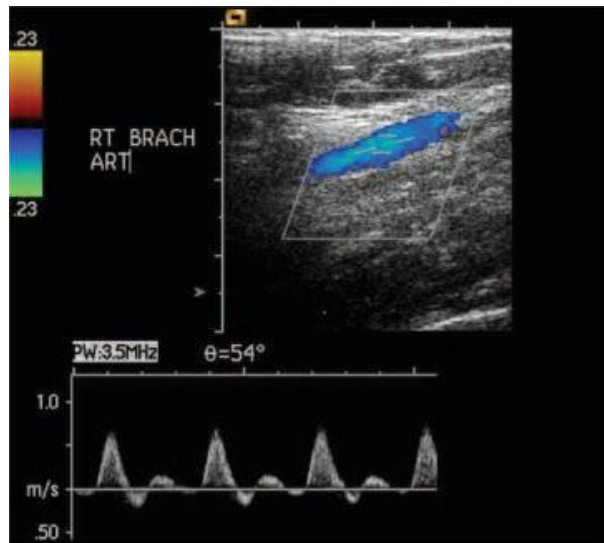
a



b



c



d



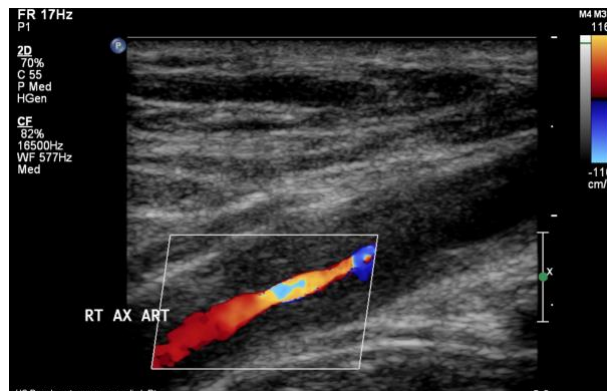
e



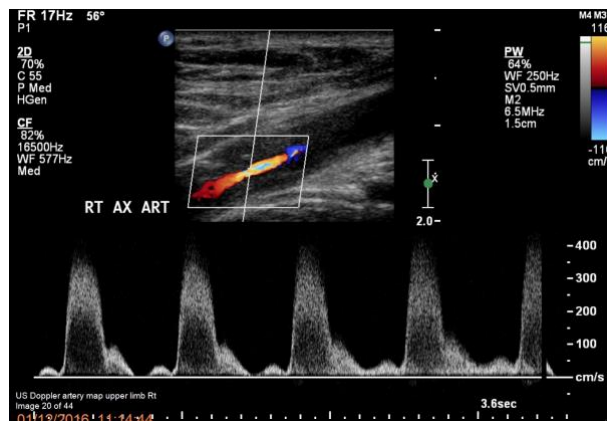
Takayasu 动脉炎是一种罕见的自身免疫性疾病，以长段的血管狭窄或闭塞为特征[图 21]。双功能超声已被证明可用于监测疗效[[44]]。

图 21 Takayasu 动脉炎。腋动脉管壁广泛增厚(a)，流速增高 (b)。

a



b



胸廓出口综合征

胸廓出口综合征是由锁骨下动脉、静脉和臂丛神经穿过狭窄的胸廓出口时受压迫而产生的一系列疾病。因此，双功能超声可以检测由狭窄[图 22]或动脉瘤性原因而引起的血管型胸廓出口综合征。

在手臂外展或外旋时，锁骨下动脉或腋动脉可能会受压，通过双功能或连续多普勒超声，可以观察到远端动脉的血流信号及其频谱的减弱或消失[(45)]。然而，仅凭异常的彩色多普勒血流信号及频谱的变化不能直接诊断胸廓出口综合征。因为这种彩色多普勒图像在正常人群中也较为普遍，必须结合相应的临床症状才能确诊 [(46)]。

图 22 锁骨下动脉受压的彩色多普勒图像。抬起右臂时，右侧锁骨下动脉明显受压。



血液透析通路的超声检查

理想的永久性血液透析通路应提供足够高的血流量以支持透析治疗，同时要求浅静脉或移植物能够经受反复的穿刺并保持通畅与清洁。在透析期间，患者的舒适度也非常重要。根据美国肾脏基金会-透析质量倡导组织(NKF-K/DOQI)及欧洲最佳实践指南(EBPG)的推荐[(47, 48)]，超声应用于透析通路的规划[(49)]、随访通路中的问题[(50)]以及体积流量的测量。尽管如此，超声在常规监测中的作用仍有存在争议。

通路部位的选取

永久性血液透析通路可通过动静脉瘘或动、静脉间的人工移植来实现。由于动静脉瘘不易发生并发症，因此建议尽可能使用动静脉瘘。手臂瘘口和移植物植入的主要部位有：

- 桡动脉-头静脉瘘
- 肱动脉-头静脉瘘
- 肱动脉-转位贵要静脉瘘
- 桡动脉至肘窝静脉的前臂移植物
- 肱动脉至肘窝静脉的环状移植物

手臂通路无效时，可以选择股动、静脉间移植物。

永久性血液透析通路

永久性血管通路术前评估

血管选择不当是永久性血管通路高失败率的原因之一。超声在确定最适合进行手术的血管通路方面发挥着重要的辅助作用，尤其是对于老年人、糖尿病患者和动脉疾病的患者。以下是上肢血管通路评估的关键指标：

头静脉和贵要静脉：为保证静脉通畅性，静脉直径应 $\geq 2.5\text{mm}$ ，在进行测量时，可以使用止血带辅助静脉扩张[图 23]。同时，应注意任何异常情况，如双支静脉或深静脉的大交通支等。

肱静脉至无名静脉：对于有中心静脉导管置入史的患者，需仔细检查深静脉的通畅性。

上肢动脉彩色多普勒血流及频谱评估：在桡动脉-头静脉吻合术中，桡动脉直径应 $\geq 2\text{mm}$ 。此外，应注意观察肱动脉分叉处，并评估血管是否存在闭塞或狭窄，尤其是桡动脉和尺动脉。

高频线阵探头使用注意事项：在使用高频线阵探头并轻轻施加压力进行测量时，即使使用了止血带，上肢静脉也容易被压缩，可能导致测量直径值偏低。因此，上肢动脉应从近端检查至手腕水平，以确保评估正常的搏动性血流情况。

图 23 透析前评估的二维超声图像。带止血带（R）和不带止血带（L）的头静脉直径评估。



动静脉瘘和移植物的术后评估

术后由于瘘管内的血流通，静脉会出现扩张现象。静脉内最初的高血流量会在数周内逐渐增加。术后 6 周的早期超声扫描可以测量血流量，评估早期可能出现的问题，并记录瘘管静脉的大小和深度作为基线数据。此外，早期评估还有助于预测潜在问题，如静脉回流、静脉阻塞和异常血流等，特别是低血流量的情况。在桡动脉-头静脉瘘的情况下，术后早期的血流量若 $<400 \text{ ml/min}$ ，可能导致瘘管成熟不良和较高的失败率[(50)]。

动静脉瘘和移植物的并发症包括：

- 狭窄。在动静脉瘘中，最常发生在静脉或中心静脉，但也可能发生在动脉或吻合口。在移植物中，最常发生在静脉吻合处。
- 血栓形成
- 动脉瘤/假性动脉瘤
- 感染

以上这些都会导致透析通路功能不佳，并且：

- 窃血
- 静脉高压
- 充血性心力衰竭

这些都需要修复动静脉瘘或移植物。

超声扫查

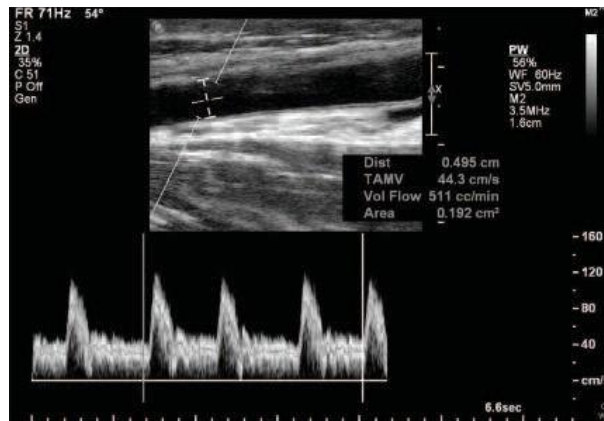
在进行超声检查时，与医护人员沟通明确检查的原因极为关键，例如需要评估静脉压力是否过高等。患者通常也能描述他们的症状，这对诊断同样重要。

血流量测定

超声扫描首先应测定供血动脉的血流量，包括锁骨下动脉、腋动脉或肱动脉。需要注意的是，桡动脉-头静脉瘘可能通过掌弓动脉向桡动脉和尺动脉进行引流。由于血流通常呈层流，且管腔横截面为圆形，所以动脉是测量血流量更可靠的部位。静脉虽

然也可以进行血流测量，但并非总是可靠。虽然一小部分动脉血流会直接流入静脉或移植物，但与流入的总血流量相比，这部分可以忽略不计。

图 24 动静脉瘘中的供血动脉——肱动脉的频谱图像。



在评估血流量时，测量血流的平均速度或动脉的直径常会出现误差（参考血管疾病超声的内容），尤其是后者，因为计算血管横截面积时需要将管径进行平方处理，误差较为显著。为了减少随机误差，可以采取重复测量，并对不同部位进行测量，这样可以更有效地识别和纠正系统误差。血流量是判断血管通道功能是否正常的重要指标。在正常情况下，血流量应维持在 600 至 1500 ml/min 的范围内。值得注意的是，动静脉瘘口处的血流量通常低于移植物。如果瘘口的血流量低于 300-500 ml/min，或移植物的血流量低于 600 ml/min，则可能预示着血栓的形成。此外，如果血流量低于上述标准范围或较上次测量明显减少 25%，则应进行全面评估，以确定血流减少或低于正常范围的原因。

超声检查应包括以下内容：

- 测量供应动脉，如肱动脉或锁骨下动脉中的血流。在瘘或移植物中，测量未发生动脉瘤的平直段的血流量。
- 完整扫描从瘘或移植物的供血动脉经引流静脉达中心静脉的整条循环通路。
- 注意如血栓、动脉瘤、假性动脉瘤、血流积聚等异常情况。
- 注意如流速异常、搏动异常，以及静脉内的血流方向异常等情况。
- 若有数条静脉通路，注明每条血流通路的大致血流量。
- 注明血流返回至深静脉的位置。
- 测量静脉的管径和深度。存在穿刺相关问题时，需注意穿刺静脉血流方向的突然改变以及血栓/内膜瓣等的形成。

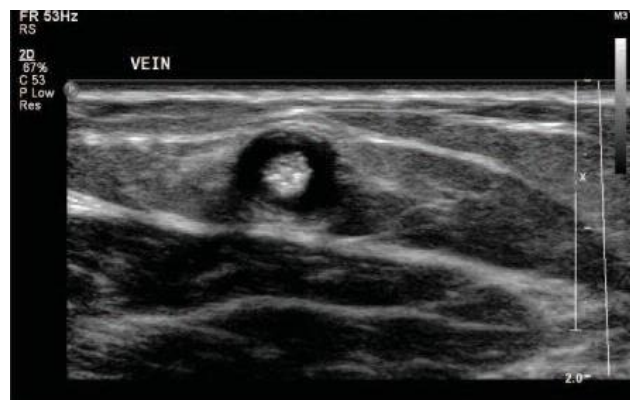
- 注意血管狭窄的情况，在二维超声及频谱多普勒中的 PSV 及狭窄前后 PSV 的比值进行评估。

功能良好的动静脉瘘，其供血动脉的血流特征表现为高流速和低搏动性[图 24]。在瘘口处，流速通常显著增高，并且血流方向会突然改变，伴有湍流现象，这增加了准确测量流速的难度。此外，腋静脉或锁骨下静脉通常会展现出类似动脉的搏动特征。

异常和并发症

当血流通路出现阻塞性的血栓时，供血动脉的远端会出现高阻力状态，其频谱特征呈现为三相波。血栓可能形成于动脉、静脉或移植物内，甚至可能发生在周围较小的分支血流通路中 [图 25]。确定血栓的具体位置和长度对制定有效的干预措施至关重要。

图 25 透析穿刺部位的头静脉血栓。



此外，血流通路中常见的异常如狭窄[图 26]、动脉瘤[图 27]和/或假性动脉瘤[图 28]。虽然这些情况本身并不直接阻碍透析的成功进行，但它们需要被详细评估。目前，我们已能够通过超声精确评估动脉瘤的大小及其随时间的变化情况。此外，超声不仅可以用于透析通路的规划，还能在必要时辅助制定干预措施。

图 26 头静脉狭窄处血流速度增加了 4 倍，速度达到 5 米/秒，远端出现湍流。

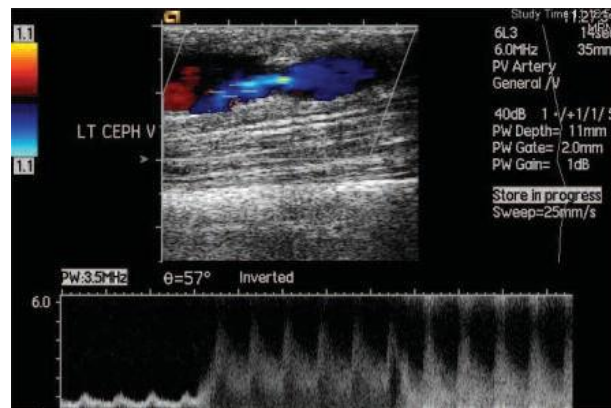


图 27 分叶状浅表动脉瘤的彩色多普勒图像。两者之间凹陷耦合剂填充确保充分地接触。

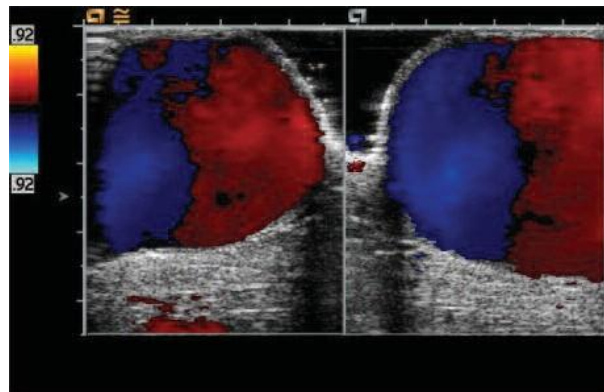
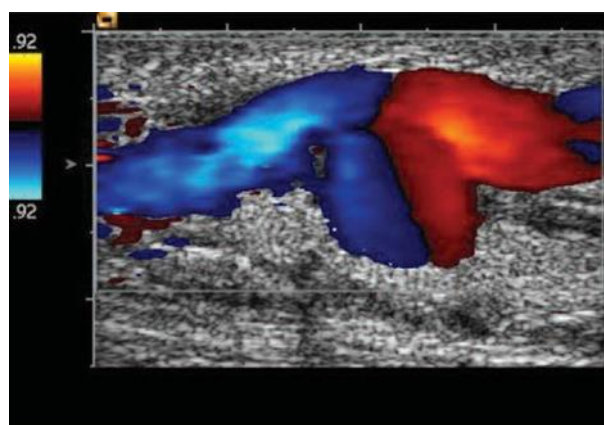


图 28 头静脉假性静脉瘤的彩色多普勒图像。



PSV 及其比值是量化血管狭窄程度的重要参数[图 26]。在动脉吻合口处，PSV 通常比值 $>3:1$ [(51)]。然而，狭窄的评估应综合考虑血流测量结果、血流与前次的变化量以及临床指征。例如，即使 PSV 增加 2 倍且最大流速为 200 cm/s 时，中度狭窄也可能不

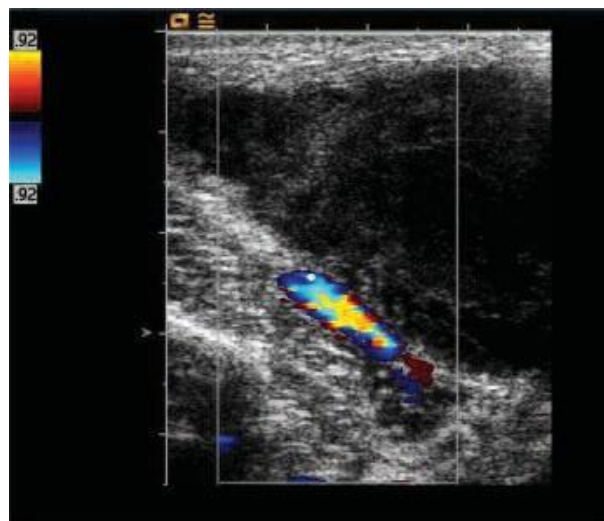
会显著影响血流量及血管通路功能，甚至在功能良好的瘻口中也可能存在更严重的狭窄。在瘻口狭窄处，PSV 比值大于 2:1 通常表明引流静脉或移植物中的狭窄。

在评估血管狭窄时，需要同时考虑 PSV 的绝对值及其比值，这有助于精确判断狭窄的解剖位置、严重程度及其对功能的影响。当流速高达到 400–600 cm/s 时，通常意味着狭窄处存在显著的压力梯度。

彩色血流和频谱多普勒在识别严重狭窄具有重要意义。狭窄上游的血流更具搏动性，而狭窄下游血流波动减弱，并在狭窄区域出现湍流现象。

在进行血液透析时，如果远端组织的供血不足，可能会出现窃血现象，导致手部和手指疼痛。若病情严重，还可能引发与缺血相关的组织变化。窃血现象与手部供血动脉的多发狭窄密切相关[[52]]，通过指端压力测量，可以发现压力的显著降低。此外，窃血现象与瘻口血流量密切相关，这对于制定有效的治疗计划具有重要的指导意义。

图 29 术后血肿压迫头静脉的彩色多普勒图像



积液和血肿等局部异常情况会增加穿刺的难度[图 29]，并可能导致血流通路受到外部压迫。当瘻口的血流量异常增加时，可能诱发心脏相关疾病。因此，超声在此类情况下显得尤为重要，它不仅可以用来精确测量血流量，还可以实时监测治疗的效果

参考文献

1. Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL, et al.; ESC Scientific Document Group. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS) *European Heart Journal*, 2018; 39: 763–816
2. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FG, Group TIW. Inter-Society Consensus for the Management of Peripheral Arterial Disease (TASC II). *J Vasc Surg* 2007;45 Suppl S:S5-67.
3. Yao ST, Hobbs JT, Irvine WT. Ankle systolic pressure measurements in arterial disease affecting the lower extremities. *Br J Surg* 1969;56:676-679.
4. Lambourne LA, Moffett CJ, Jones AC, Dorman MC, Franks PJ. Clinical audit and effective change in leg ulcer services. *J Wound Care* 1996;5:348-351.
5. Goss DE, de Trafford J, Roberts VC, Flynn MD, Edmonds ME, Watkins PJ. Raised ankle/brachial pressure index in insulin-treated diabetic patients. *Diabet Med* 1989;6:576-578.
6. Laing S, Greenhalgh RM. The detection and progression of asymptomatic peripheral arterial disease. *Br J Surg* 1983;70:628-630.
7. Yao JS, Peterson LK, Payne K. Lower limb systolic pressure measurements: technique and clinical applications. *Int Angiol* 1985;4:31-39.
8. Hobbs JT, Yao ST, Lewis JD, Needham TN. A limitation of the Doppler ultrasound method of measuring ankle systolic pressure. *Vasa* 1974;3:160-162.
9. Strandness DE, Jr. Abnormal exercise responses after successful reconstructive arterial surgery. *Surgery* 1966;59:325-333.
10. Laing SP, Greenhalgh RM. Standard exercise test to assess peripheral arterial disease. *Br Med J* 1980;280:13-16.

11. Sensier Y, Bell PR, London NJ. The ability of qualitative assessment of the common femoral Doppler waveform to screen for significant aortoiliac disease. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1998;15:357-364.
12. Shaalan WE, French-Sherry E, Castilla M, Lozanski L, Bassiouny HS. Reliability of common femoral artery hemodynamics in assessing the severity of aortoiliac inflow disease. *J Vasc Surg* 2003;37:960-969.
13. Jager KA, Phillips DJ, Martin RL, Hanson C, Roederer GO, Langlois YE, Ricketts HJ, et al. Noninvasive mapping of lower limb arterial lesions. *Ultrasound Med Biol* 1985;11:515-521.
14. Legemate DA, Teeuwen C, Hoeneveld H, Eikelboom BC. Value of duplex scanning compared with angiography and pressure measurement in the assessment of aortoiliac arterial lesions. *Br J Surg* 1991;78:1003-1008.
15. Whyman MR, Gillespie I, Ruckley CV, Allan PL, Fowkes FG. Screening patients with claudication from femoropopliteal disease before angioplasty using Doppler colour flow imaging. *Br J Surg* 1992;79:907-909.
16. Sensier Y, Hartshorne T, Thrush A, Nydahl S, Bolia A, London NJ. A prospective comparison of lower limb colour-coded Duplex scanning with arteriography. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1996;11:170-175.
17. Langsfeld M, Nepute J, Hershey FB, Thorpe L, Auer AI, Binnington HB, Hurley JJ, et al. The use of deep duplex scanning to predict hemodynamically significant aortoiliac stenoses. *J Vasc Surg* 1988;7:395-399.
18. Whyman MR, Ruckley CV, Fowkes FG. A prospective study of the natural history of femoropopliteal artery stenosis using duplex ultrasound. *Eur J Vasc Surg* 1993;7:444-447.
19. Strauss AL, Roth FJ, Rieger H. Noninvasive assessment of pressure gradients across iliac artery stenoses: duplex and catheter correlative study. *J Ultrasound Med* 1993;12:17-22.
20. Legemate DA, Teeuwen C, Hoeneveld H, Eikelboom BC. How can the assessment of the hemodynamic significance of aortoiliac arterial stenosis by duplex scanning be improved? A comparative study with intraarterial pressure measurement. *J Vasc Surg* 1993;17:676-684.
21. Koelemay MJ, den Hartog D, Prins MH, Kromhout JG, Legemate DA, Jacobs MJ. Diagnosis of arterial disease of the lower extremities with duplex ultrasonography. *Br J Surg* 1996;83:404-409.
22. Collier P, Wilcox G, Brooks D, Laffey S, Dalton T. Improved patient selection for angioplasty utilizing color Doppler imaging. *Am J Surg* 1990;160:171-174.

23. Sensier Y, Fishwick G, Owen R, Pemberton M, Bell PR, London NJ. A comparison between colour duplex ultrasonography and arteriography for imaging infrapopliteal arterial lesions. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1998;15:44-50.
24. Wilson YG, George JK, Wilkins DC, Ashley S. Duplex assessment of run-off before femorocrural reconstruction. *Br J Surg* 1997;84:1360-1363.
25. Bergamini TM, George SM, Jr., Massey HT, Henke PK, Klamer TW, Lambert GE, Miller FB, et al. Intensive surveillance of femoropopliteal-tibial autogenous vein bypasses improves long-term graft patency and limb salvage. *Ann Surg* 1995;221:507-515; discussion 515-506.
26. Idu MM, Buth J, Cuypers P, Hop WC, van de Pavoordt ED, Tordoir JM. Economising vein-graft surveillance programs. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1998;15:432-438.
27. Giannoukas AD, Androulakis AE, Labropoulos N, Wolfe JH. The role of surveillance after infrainguinal bypass grafting. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1996;11:279-289.
28. Westerband A, Mills JL, Kistler S, Berman SS, Hunter GC, Marek JM. Prospective validation of threshold criteria for intervention in infrainguinal vein grafts undergoing duplex surveillance. *Ann Vasc Surg* 1997;11:44-48.
29. Davies AH, Magee TR, Tennant SG, Lamont PM, Baird RN, Horrocks M. Criteria for identification of the "at-risk" infrainguinal bypass graft. *Eur J Vasc Surg* 1994;8:315-319.
30. Cluley SR, Brener BJ, Hollier L, Schoenfeld R, Novick A, Vilkomerson D, Ferrara-Ryan M, et al. Transcutaneous ultrasonography can be used to guide and monitor balloon angioplasty. *J Vasc Surg* 1993;17:23-30; discussion 30-21.
31. Katzenschlager R, Ahmadi A, Minar E, Koppensteiner R, Maca T, Pikesch K, Stumpflen A, et al. Femoropopliteal artery: initial and 6-month results of color duplex US-guided percutaneous transluminal angioplasty. *Radiology* 1996;199:331-334.
32. Nyamekye I, Sommerville K, Raphael M, Adiseshiah M, Bishop C. Non-invasive assessment of arterial stenoses in angioplasty surveillance: a comparison with angiography. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 1996;12:471-481.
33. Kinney EV, Bandyk DF, Mewissen MW, Lanza D, Bergamini TM, Lipchik EO, Seabrook GR, et al. Monitoring functional patency of percutaneous transluminal angioplasty. *Arch Surg* 1991;126:743-747.
34. Sacks D, Robinson ML, Summers TA, Marinelli DL. The value of duplex sonography after peripheral artery angioplasty in predicting subacute restenosis. *AJR Am J Roentgenol* 1994;162:179-183.

35. Baril DT, Rhee RY, Kim J, Makaroun MS, Chaer RA, Marone LK. Duplex criteria for determination of in-stent stenosis after angioplasty and stenting of the superficial femoral artery. *J Vasc Surg* 2009;49:133-138; discussion 139.
36. Miles S, Roediger W, Cooke P, Mieny CJ. Doppler ultrasound in the diagnosis of the popliteal artery entrapment syndrome. *Br J Surg* 1977;64:883-884.
37. Erdoes LS, Devine JJ, Bernhard VM, Baker MR, Berman SS, Hunter GC. Popliteal vascular compression in a normal population. *J Vasc Surg* 1994;20:978-986.
38. Dent TL, Lindenauer SM, Ernst CB, Fry WJ. Multiple arteriosclerotic arterial aneurysms. *Arch Surg* 1972;105:338-344.
39. Bynoe RP, Miles WS, Bell RM, Greenwold DR, Sessions G, Haynes JL, Rush DS. Noninvasive diagnosis of vascular trauma by duplex ultrasonography. *J Vasc Surg* 1991;14:346-352.
40. Knudson MM, Lewis FR, Atkinson K, Neuhaus A. The role of duplex ultrasound arterial imaging in patients with penetrating extremity trauma. *Arch Surg* 1993;128:1033-1037; discussion 1037-1038.
41. Fellmeth BD, Roberts AC, Bookstein JJ, Freischlag JA, Forsythe JR, Buckner NK, Hye RJ. Postangiographic femoral artery injuries: nonsurgical repair with US-guided compression. *Radiology* 1991;178:671-675.
42. Maleux G, Hendrickx S, Vaninbrouckx J, Lacroix H, Thijs M, Desmet W, Nevelsteen A, et al. Percutaneous injection of human thrombin to treat iatrogenic femoral pseudoaneurysms: short- and midterm ultrasound follow-up. *Eur Radiol* 2003;13:209-212.
43. Igidbashian VN, Mitchell DG, Middleton WD, Schwartz RA, Goldberg BB. Iatrogenic femoral arteriovenous fistula: diagnosis with color Doppler imaging. *Radiology* 1989;170:749-752.
44. Reed AJ, Fincher RM, Nichols FT. Takayasu arteritis in a middle-aged Caucasian woman: clinical course correlated with duplex ultrasound and angiography. *Am J Med Sci* 1989;298:324-327.
45. Rush MP, McNally DM, Rossman ME, Otis S. Non-invasive vascular diagnosis of thoracic outlet syndrome. *Bruit* 1983;7:56-59.
46. Edwards JM, Zierler RE: Duplex ultrasound assessment of upper extremity arteries. In: Zwiebel WJ, ed. *Introduction to vascular ultrasonography*. 3rd ed. Philadelphia: WM Saunders 1992; 223-235.

47. Lok CE, Huber TS, Lee T, et al; KDOQI Vascular Access Guideline Work Group. KDOQI clinical practice guideline for vascular access: 2019 update. Am J Kidney Dis. 2020;75(4)(suppl 2):S1-S164
 48. Tordoir J, Canaud B, Haage P, Konner K, Basci A, Fouque D, Kooman J, et al. EBPG on Vascular Access. Nephrol Dial Transplant 2007;22 Suppl 2:ii88-117.
 49. American College of Radiology ACR- AIUM-SRU Practice parameter for the performance of ultrasound vascular mapping for preoperative planning of dialysis access. Revised 2016 <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/US-PreOpDialysis.pdf>
 50. American College of Radiology ACR- AIUM-SRU Practice parameter for the performance of vascular ultrasound for postoperative assessment of hemodialysis access.
 51. Older RA, Gizienski TA, Wilkowski MJ, Angle JF, Cote DA. Hemodialysis access stenosis: early detection with color Doppler US. Radiology 1998;207:161-164.
 52. Leon C, Asif A. Arteriovenous access and hand pain: the distal hypoperfusion ischemic syndrome. Clin J Am Soc Nephrol 2007;2:175-183.
- Revised 2019 <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/PostOpDialysis.pdf>