

无创性血管超声在心血管危险分级中的临床应用：来自美国超声心动图学会和血管医学生物学会的报告

译者：山东大学齐鲁医院心内科心脏彩色多普勒室 王颖彬

校对：Ren Zhang, MD, PhD, Hendrick Medical Center, Abilene, Tx

摘要

无创性动脉粥样硬化检测已成为心血管疾病（CVD）危险因素评估、风险分级及预防策略制定的重要辅助手段。现有的两种无创性动脉粥样硬化检测方法分别为颈动脉成像和肱动脉反应性检测（BART），而这两种检测方法都是以超声为基础的。颈动脉成像这一检测方法的测量标准已达成许多共识，在具体操作的细节方面也有相关标准。我们学会推荐以下标准：（1）于舒张末期（最小径线）测量颈动脉内中膜的厚度（IMT）；（2）对斑块和IMT分别提供单独的分类方法；（3）IMT的正常值上限应随患者年龄、性别、种族的不同而有所调整；（4）颈动脉成像应配合血流速度的测量，尤其在局部压力变化时序列多普勒测量可反映这一变化。在实际操作过程中对IMT的测量标准随节段不同而有所变化，这些情况包括：测量所涵盖的节段数的多少、测量的血管壁前壁或后壁情况、测量在B型或M型超声下进行等。BART在受检患者的准备工作以及测量方法等细节方面，则需非常严谨。BART目前仍处于一种研究手段，而未广泛应用于临床工作，因此相较于颈动脉成像，BART的推广应用具更大的挑战。

颈动脉超声在心血管疾病危险分级中的应用

颈动脉超声成像技术在过去的传统中较多应用于相应患者的颈动脉梗阻性粥样硬化斑块的测量，这些患者包括伴有或不伴有临床症状的脑血管疾病患者、颈动脉杂音患者。然而近年来，颈动脉超声成像技术逐渐参与到流行病学研究中，用于测量IMT及非梗阻性粥样硬化斑块，以期探究它们与CVD其它危险因素、CVD发病率及死亡率的关系。此外，检测服药前后MIT的变化或可作为药物介入效果的评价指标。首先，我们就颈动脉超声测量对CVD预后评估的意义及其潜在价值做简短讨论。

颈动脉超声在患者预后评估中的应用

一组涵盖不同国家流行病学大样本的纵向研究已检查了颈动脉IMT及非连续性斑块与心血管疾病危险事件发生率的相关性¹⁻⁶（见表）。这些研究方法得出的预后观察结论因研究方法的不同而有所变化：IMT和斑块在评估心血管危险事件发生率时并不总是分开的；心血管疾病危险度分级是基于IMT的阈值、五分位数、标准差和/或增量的变化；包含标准心血管疾病危险因素的多元分析并不总是用于单独或附加使用手的颈动脉超声检查。因此，尽管研究表明颈动脉IMT合并斑块可预测心血管事件发生率，但是受研究方法和统计学方法所限，其在人群及个体中的推广中有一定的局限性。针对IMT和斑块的独立研究表明，在对未来心血管事件发生率的预测方面，应聚焦于斑块病灶，而非IMT增厚²⁻⁴。如果考虑到传统心血管疾病危险因素，颈动脉病变与心血管疾病危险联系往往要削弱一些，然而依然有重要性^{1,3,5,6}，这在女性群体中更加明显⁵。

有趣的是，尽管颈动脉粥样硬化是脑血管疾病的表现，但大多数的疾病发生预测却来自于冠心病，这一现象强调了系统性动脉粥样硬化的存在。尸体解剖研究也显示了颈动脉和冠状动脉粥样硬化相关性的存在⁷⁻⁹。同样的，临床研究也证实了超声探测的颈动脉粥样硬化与通过冠脉造影¹⁰⁻¹²或临床表现¹³确诊的阻塞性冠状动脉疾病具有相关性。考虑到冠状动脉造影在检测非梗阻性附壁粥样硬化斑块时的局限性，冠状动脉粥样硬化和颈动脉粥样硬化之间的相关性应该比现有文献报道更甚。将经血管内超声检测到的冠状动脉粥样硬化斑块和通过颈动脉超声检测到的颈动脉粥样硬化斑块相对比，或许可以提供更多的可比较的数据，从而得到更精确的冠状动脉及颈动脉两组血管粥样硬化情况的相关性比较。

检测技术

颈动脉超声检测可使用装有高频探头（通常5-12 MHz的线性换能器）的标准超声波机器和适当的软件来完成。用于成人超声心动图的标准探头（2.0-3.5 MHz）在用于近场体表血管超声成像时无法提供足够的分辨率。理想情况下，用于测量颈动脉IMT和管腔内径的超声系统应该允许全屏显示M-型超声模式。患者检查前的准备和检查时的定位与前文所述一致。简言之，患者应仰卧，颈部轻微过伸并旋转向待测血管相反的方向。颈总动脉（CCA）定义为从血管的起源到分叉处，检查时应横向或纵向扫描CCA的起源至分叉。颈内动脉（ICA）和颈外动脉的判断采用标准解剖学和多普勒特性来鉴别（已在前文做出讨论）。用横向平面及多个角度扫描能优化对非梗阻性斑块的检测。

技术

IMT:CCA和其它血管段。颈动脉超声可以测量颈总动脉、分叉处（窦部）以及两分支血管（通常是颈内动脉）的IMT。鉴于CCA的管腔形状，相对于超声探头的垂直位置及其普遍易取性，CCA处IMT测量值的获取和可重复性高于ICA或窦部。在一项涉及13824人颈动脉超声检查的社区动脉粥样硬化风险研究中，IMT的测量91.4%可从CCA处获得，77.3%可从分叉处获得，48.6%可从ICA处获得¹⁵。鹿特丹的一份研究报告（n = 1881）得出与上述研究类似的趋势：96%源自CCA，64%源自分叉处，31%源自ICA¹⁸。

选择颈动脉的一段或几段测量IMT的考虑是确定哪一段的IMT测量与心血管疾病发病率更具相关性。在心血管健康研究中，CCA和ICA的IMT测量结果经过校正后比CCA或ICA的单独统计，与心肌梗死或中风的风险相关性有轻度的提高（1.36 vs 1.27，1.36 vs 1.30，标准误加1）¹。在这项研究中，ICA的IMT经校正后作为预测心肌梗死发生的相关危险因素方面略有优势（1.34 vs 1.24），而CCA的IMT在预测中风方面略胜一筹（1.28 vs 1.25）。这些发现与之前的心血管健康研究结果相对照可以得出结论：ICA的IMT是更有力的冠心病相关独立危险因素；而CCA的IMT则能更好的预测中风的潜在风险¹⁹。同样的，英国区域心脏研究指出：CCA的IMT在预测中风方面更胜于分叉处IMT；当不连续斑块与分叉处IMT分别测量时，分叉处IMT被认为与冠心病发生率没有相关性²⁰。在胰岛素抵抗合并动脉粥样硬化的研究中，糖尿病和空腹血糖升高与CCA的IMT相关，而与ICA的IMT不相关²¹。

总的来说，似乎没有令人信服的证据表明，多段动脉联合测量和特定段动脉测量两者中哪一个更具优势。其中，CCA的IMT因其更易获取、更好的可重复性及更适合半自动化测量，使之在实际应用中更受推崇，尤其适用于不合并斑块的IMT测量（斑块通常出现在分叉处或ICA）。在这种情况下，对CCA的IMT测量既可以保证其对动脉粥样硬化的预测价值又可以避免降低测量的易取性和准确性（如果试图测量ICA或分叉处IMT的话）。

IMT: 后壁 vs 前壁。IMT的测量可以是前壁(靠近探头)和/或后壁。从测量的可重复性上考虑, 报道指出前壁及后壁的测量差异不大。然而考虑到超声设备的技术原理, 在测量的易取性和准确性方面, 后壁较前壁更具优势。目前的超声技术不支持分别测量血管壁内膜和中层, 因此, 标准测量定义为内膜和中层结合的IMT, 其方法在测量后壁中所证实^{22,23}。当测量前壁的IMT时, 超声束由强回声血管外膜或血管内膜进入无回声的管腔引起的折射或散射会导致测量值偏高或偏低。相比之下, 测量后壁IMT时, 超声束由后壁进入组织不会影响整体IMT的测量。因此对后壁IMT的测量对比前壁IMT测量应当更为准确的。

IMT: B型超声 vs M型超声的测量。IMT通常由B型超声图像测量获得(图1)。另外, B型超声引导下的M型超声图像可用于测量CCA远端(图1)。这两种情况下获得的图像, 由于经线尺寸非常小, 管壁厚度的测量应使用电脑辅助的电子卡尺或半自动边缘检测算法^{24,25}。虽然这两种超声技术的空间分辨率并无差异性, 然M型超声的时间分辨率有较大的优越性, 从而有利于最小径线标准化测量的时相选择。心脏的舒张期外周动脉血管扩张, 由此可评估动脉的搏动性及功能。M型超声连续追踪可评估管壁瞬时压力和直径的变化, 同时应用平面压力波测定对侧颈动脉同一时相的压力波形²⁶。

IMT:测量时相。无论用B型超声或M型超声图像测量IMT, 考虑到IMT和管腔内径的周期性变化, 应通过心电图描记选择相应的时相以确定径线测量的最小值(舒张末期)和最大值(收缩期峰值)。心脏收缩期动脉管腔扩张, 根据质量守恒定律, IMT势必变薄(尽管过程中会发生某种程度的纵向拉伸)^{27,28}。在连续性研究和/或干预试验中, 系统测量时相的选择尤为重要, 测量时相选择的变化会引起IMT和管腔直径测量结果的改变。

IMT异常的定义。IMT随着年龄的增长而增厚, 相比于女性人群, 这种趋势在男性人群中更加明显^{15,20,29,30}。此外, IMT在不同种族间的差异亦见诸报告。非洲裔美国人CCA的IMT值比白种人和非拉美裔白种人高^{15,30}, 而非拉美裔白种人IMT厚度略高于拉美裔白种人³¹。在胰岛素抵抗合并动脉粥样硬化研究中, ICA的IMT在非洲裔美国人、非拉美裔白种人和拉美裔白种人之间不存在明显差异³¹。此外, 收缩压是IMT的一个重要的决定因素, 这或许可以解释为压力导致的肥大^{15,20,29,32}。因此, 单纯阈值异常(例如,1毫米)可能导致年轻个体系统性的低估和老年个体系统性高估。理想情况下, IMT的检测应基于大样本量研究, 并对年龄、性别及种族等因素进行校正(图2)¹⁵。

颈动脉IMT增厚到何种程度可定义为动脉粥样硬化早期或弥漫性表现, 增厚到何种程度可定义为压力负荷导致的平滑肌肥大增生和/或老年性硬化, 仍不确定。考虑到IMT增厚是CVD发病的危险因素并与CVD事件的发生普遍相关, IMT增厚通常被认为是动脉粥样硬化的一种表现。此外, 在测量标准中允许合并斑块厚度的IMT测量, IMT从定义上来讲亦是对动脉粥样硬化的一种测量。然而, 在CCA IMT与单独的斑块分类测量的标准下, IMT增厚和颈动脉粥样硬化不连续斑块的不联系性在相对年轻的系统性红斑狼疮患者中得以展示^{33,34}, 表明IMT并不总是动脉粥样硬化的代名词。

管腔直径。血管腔的内径(通常是CCA)可以由B型超声图像上的某个时间点或者M型超声描记的心动周期某一时相测得。为评估血管结构,管腔内径最小值和最大值的测量是必须的³⁵。此外,测量管腔内径和IMT可计算血管横截面积,从而计算血管质量的方法和测量左心室质量相似²⁹。这样的计算尤其适用于干预性研究,特别是那些使用降血压药物的干预试验。根据药物作用的机制,血压下降程度的不同结果大致分为以下几种:(1)平滑肌松弛,导致IMT降低、管腔内径增加而血管整体质量没有变化;(2)单纯降低收缩压,导致IMT增厚、管腔内径减低而血管整体质量没有变化;(3)降低IMT而不改变管腔内径从而降低血管质量(图3)。因此单纯测量IMT在评估血管壁质量中可能会产生错误的结果(即假阳性或假阴性)。

非梗阻性斑块。非梗阻性斑块,被定义为与周围血管壁相比较至少增厚50%的局部病灶³⁶,非梗阻性斑块通常很容易识别,尤其在血管的横截面探测时。斑块最常见的位置在颈动脉分叉处,由于此处血流的层流状态发生变化,其次较常见的位置为ICA³⁷。斑块在CCA比较不多见,因为CCA中的血流多处于层流状态。由于多普勒技术可探测的血流速度增加在管腔显著梗阻(50%)时才会发生,非梗阻性斑块的量化测量一般不使用多普勒技术。由于非梗阻性斑块复杂的三维特性,其整体大小及斑块的负荷程度难以量化。因此,确定斑块的存在比测量其厚度更具可重复性³⁸。斑块直径(即侵入血管腔的最大径线)可能被测量,但其无法准确反映斑块的总负荷量。一些测量标准将斑块直径并入IMT,而不区分IMT和斑块^{1,19}。另一些测量标准基于是否存在梗阻性或非梗阻性斑块,将IMT和斑块进行区分,半定量测量^{2-6,39}。此外,不连续斑块的数量,包含斑块的颅外颈动脉段数,可以量化^{39,40}。

斑块特征。目前,使用标准的颈动脉超声技术无法获得斑块组织结构的可靠特征,亦不能判断是否为不稳定性斑块(溃疡、薄纤维帽)。一般来说,斑块可描述为均质(即回声强度一致)或不均质。不均质斑块的强回声部分可能对应者钙化区域,而低回声区可能代表脂质或出血区域。严重的钙化通常伴随彗星尾征,或在钙化的强回声区后伴无回声区。背向散射积分技术用于定量描述斑块组织,鉴别脂质斑块与纤维斑块的研究已经见诸报道⁴¹。另一个潜在的描述斑块组成和活动度的技术是用超声对比增强技术检测斑块的炎性反应。活化的白细胞迁移到血管壁炎性反应处,与脂质微气泡的外壳结合,这种现象可被超声检测⁴²。最新研究初步表明,在颈动脉血管壁测量中使用超声增强剂将提高其易取度和准确性⁴³。

危险度分级的潜在标志

由美国心脏病协会赞助的第四届心脏病预防会议对使用颈动脉超声鉴别心血管疾病高危人群从而进行一级预防做出了解释。会议小组总结为:“在45岁以上无症状人群中,标准的颈动脉超声检查合并IMT的测量可以增加传统的危险因素评估的信息量。目前在经验丰富的实验室中,如果临床医师需要,这项检测结果可以并入冠心病的风险评估,从而进一步加强对心血管危险的评估⁴⁴”。那些按传统危险度分级属于中危的人群,如果合并颈动脉超声检测的异常则导致更积极一级预防,比如进一步降低总胆固醇和低密度脂蛋白,这些适用于二级预防的措施。最近,贝塞斯达研究中心推荐了一种无创的个性化动脉粥样硬化检测方法:是“根据医生的建议和推荐,当综合考虑现病史和专业技术机构提供的致心血管疾病风险因素后⁴⁵”。此外,颈动脉超声对年轻个体的斑块检测是敏感的,这种斑块的发生通常是炎症反应导致的动脉粥样硬化进程加速,如在系统性红斑狼疮^{33,34}和类风湿性关节炎患者中⁴⁶。根据颈动脉超声筛查结果预测的风险分级从而制定的更积极的预防治疗方案可能带来的良性预后影响尚未见报道。

血流介导的内皮依赖性肱动脉扩张在心血管危险分级中的作用

在过去的十年中，一种称作血流介导的血管扩张（FMD）的非侵入性技术已逐渐用于肱动脉血管内皮功能的评估⁴⁷⁻⁵²。血压测量袖带加压时压闭肱动脉，以及随后袖带减压局部充血产生的切应力，刺激血管内皮释放一氧化氮。肱动脉血管舒张可以通过超声成像并量化为血管舒缩功能的指数。肱动脉反应试验表明血管扩张性受损患者伴随冠状动脉的危险因素，如高胆固醇血症⁵³、高血压^{54,55}、吸烟⁵⁶、糖尿病⁵⁷、高同型半胱氨酸血症⁵⁸、老龄⁵⁹及独立的冠心病的存在⁴⁹。冠状动脉内皮功能障碍与肱动脉内皮功能障碍之间的密切关系也得到了证实⁶⁰。对于不伴有⁶¹和伴有冠脉疾病的患者进行降脂治疗⁶²、服用抗氧化剂⁶³、雌激素替代治疗⁶⁴、服用ACEI类药物或ARB类药物⁶⁵均被证实可以改善血流介导的血管舒张。

大量的研究已经验证了内皮功能的评估在预测随后的心血管事件发生率中的价值。这些研究使用的研究方法不尽相同（肱动脉反应性试验⁶⁶⁻⁷⁰、肱动脉内注射静脉体积描记法^{71,72}、冠状动脉内多普勒检测^{68,73,74}），伴随的受试者收入标准亦不同（有明确的粥样硬化斑块⁷⁵、仅有心血管疾病的风险因素⁶⁹），以及统计方法的不同（与传统的弗明汉风险评估模型相对应的，单变量⁷⁶和多变量模型^{69,73-75,77}、回顾性分析⁷⁸及依据潜在的冠状动脉疾病危险度做出的调整⁷³）。总的来说，这些研究表明，内皮功能检测没有增强高危患者的预后⁷⁷。在不依赖更多的标准风险评估方法的情况下，FMD对中危和低危人群的预后指导能力尚待确定。C-反应蛋白水平是一种血管壁慢性炎症反应和胰岛素抵抗的间接标质⁷⁹。研究指出改善内皮功能从而将低随后的心血管事件发生率⁶⁹以及降脂治疗改善血管反应性，与降低C-反应蛋白水平相关。这些治疗可在内皮功能的持续测量指导下进行。有兴趣的读者可以参考一篇更早的关于肱动脉反应性的综述文章⁸⁰。

检测技术

受检者准备。受检者在检查前应禁食至少8到12小时。检查应在安静的控温的房间内进行。如果可能的话，所有作用于血管的药物在受检者体内停留至少4个半衰期。此外，受检者应处于静息状态，禁止摄入可能会影响FMD的物质如咖啡因、高脂食物和维生素C，受检者检查前应禁烟至少4至6小时。检查者应了解女性受检者的月经周期⁸¹。

图像采集。肱动脉血管采集图像时，受检者仰卧位，将手臂置于一种舒适的位置。血压计的袖带置于受检者上臂肘窝以上（参阅下文“上臂或前臂袖带压迫”中对这两种方法的比较）。肱动脉搏动在肘窝内上可触及。为获得肱动脉图像，超声探头应从肘窝水平纵向缓慢向上推进，当在横向平面探测到肱动脉和静脉管腔时打开彩色血流多普勒信号。此时探头旋转90度，使血管的纵截面成像。另外，可将探头垂直放置于肱二头肌外侧边缘，适力加压，并将探头缓慢地向内移动到肱二头肌内侧肌肉沟处，此时可以在超声屏幕底部探测到肱动脉的纵截面。稍微调整探头，使肱动脉移至图像的中央。在皮肤上标记探头的位置以便于之后的复查。选择清晰的肱动脉并有较完整的管腔前壁和后壁内膜用于二维灰度图片。选定最优动脉图像后，探头可用立体探头固定装置定位。获得的二维图像可以使用超声系统的纵深调节功能进一步优化，或者用放大功能来选择肱动脉。成像深度和增益设置在整个检查中应保持不变。在图像采集过程中，使用静脉和筋膜等解剖学标志，以保证整个研究获取同一节段的肱动脉血管（图4）。

脉冲多普勒的波形记录应在动脉管腔中央获取。袖带加压膨胀至收缩压之上以压迫动脉管腔闭塞。通常袖带膨胀压至少应高于体循环收缩压50毫米汞柱的,使动脉血流闭塞约3到5分钟。袖带加压导致局部血管缺血,而在机体自反馈机制的调解下扩张下游的阻力血管。随后的袖带放气减压引发短暂的高速血流通过肱动脉(局部血管反应性充血)以适应下游阻力血管的扩张。由此产生的切应力上升将导致肱动脉扩张。肱动脉纵向超声检测应连续记录从袖带加压血管闭塞到袖带减压后2分钟内的影像资料。动脉中央的脉冲记录从袖带开始减压到放气完全的15秒。管腔内径最大增加发生在闭塞袖带放气减压的约60到90秒内^{79,80}(图4)。

检测技术的变化。袖带加压闭塞置于上臂还是前臂。血压计袖带放置的位置可高于或低于肘窝。与将袖带置于前臂比较,当袖带置于上臂时,血管反应性充血所引起的管腔直径变化百分比通常会更大^{49,82-84}。这种现象可能是由于上臂较大的血流刺激诱发了更多阻力血管,或是直接作用于肱动脉的缺血而产生的。基于肱动脉的塌陷,彩色多普勒血流的不显影,袖带减压时动脉血管和软组织的位移等因素影响,与前臂加压测量相比较,上臂袖带加压测量并采集准确的数据在技术上更有挑战性。对患者来说,上臂加压测量更加不舒服。常规血压测量的袖带可能造成图像采集的困难,因为取像空间相对较小,这在上肢短粗的患者中尤其明显。一种更窄的血压测量袖带克服了这些问题,并且此袖带具备瞬间减压放气的功能,从而便于单一操作者的使用。袖带加压持续时间从30秒延长到5分钟,从而增加了袖带减压放气后肱动脉内径的变化。管腔内径的在袖带加压闭塞后5分钟和10分钟无变化。当管腔基础内径增加时,肱动脉在加压前后内径变化百分比相对减少^{51,82,85}。

内皮依赖性血管舒张的评估。采集重建的基线情况图像前,至少需要在反应性充血(如,血流介导的血管扩张)后休息10分钟。到目前为止,大多数研究为确保获得最大血管舒张反应,给予外源性一氧化氮,例如单纯高剂量(0.4mg)硝酸甘油喷雾或舌下片,以此衡量内皮依赖性血管舒张反应中血管平滑肌的功能⁸⁶。血管舒张的峰值出现在硝酸甘油作用后3到4分钟,在此期间应连续记录相关图像。对于有严重的心动过缓和低血压的患者不能使用硝酸甘油。

测量技术

分析。对肱动脉反应性的准确分析高度依赖于获取的超声图像的质量。获得的图像可用以下几种方法分析。利用软件程序将选定的图像数字化。再或者,在选定时间点采用数字连续记录或者数字循环图像。选定图片中管腔直径边界(管壁内膜或外中膜连接处)的测量,可借助电子卡尺手动测量,最好用自动化边缘检测软件进行测量。图像采集时使用心电图门控技术以保证肱动脉直径测量在心动周期的同一时向(图4)。R波的起始处标志着左室舒张期末期,而T波的峰值标志着左室收缩末期。对于流量刺激导致的管腔内径变化绝对值一定时,管腔基础直径越大则直径变化百分比越小。因此,建议是测量和计算肱动脉的基础直径、直径改变的绝对值及变化百分比。

局限性。由于肱动脉直径变化的数量级以毫米内，要求测量方法所涉及的技术极其精准。缩放功能的应用导致局部肱动脉段成像，从而难以追踪袖带减压时整个肱动脉的扩张情况。此外，使用缩放功能会失去筋膜位置作为解剖学标志的意义。因此，检测时应选取适当的深度，使得周围筋膜位置可显示并且可以纵向观察较长的一段肱动脉及其内膜。如果袖带减压可以观察到血流量的增加，操作者应及时获取袖带减压处多普勒脉冲波数据。失去这一时机，随着袖带减压带来的血管解剖学改变会使这些数据变得难以获得。检测要求同步获取动脉血管影像和多普勒脉冲波形，以便多普勒脉冲波形可实时反映动脉的扩张和迁移。除了相关技术使用不当造成的误差以外，FMD本身固有的一系列变异性，例如心理和生理压力，检查前食物的摄入^{87,88}，包括维生素⁸⁹、外源性激素⁹⁰在内的一些药物，检测时间的选择，女性受检者月经周期的变化⁹¹，年龄⁵⁹及体重⁹²等应引起足够的重视。

强化训练以提高检测质量

肱动脉反应性的超声评价看似简单，实际上在技术上级具挑战性并且有一个明显的学习曲线。任何想要开展这项技术的实验室必须确保拥有配置了高频线性扫描探头的双向超声传导设备，超声设备的操作者经过了足够的训练并且具备一定的等级认证。操作者在独立操作并读取图像信息之前至少在监督下完成100例样本的采集和计算，之后的每年至少完成100例检测任务以保持检测水平不下降⁹³。

对心血管疾病风险预测的潜在作用

血流介导的血管扩张到目前为止仍然停留在研究阶段，其在评估心血管疾病风险中的临床应用还有待检验。这项检测对人力和技术的高度依赖使得其难以应用于日常的临床实践中。此外，不同个体间的操作差异影响了研究数据的可重复性，从而影响了图像数据实际大小的量化。在此检测成为临床常规心血管疾病风险评估手段之前，其测量技术仍需改进和标准化。这项技术特别适用于检测儿童和年轻人早期的动脉粥样硬化，因此为早期预防提供了更大的机会。然而，我们仍需更多的前瞻性的研究来证实这种技术确实可以提高我们对临床心血管疾病风险的预测。

附

表格：关于颈动脉超声预后应用的大样本前瞻性研究。AA非裔美国人；ARIC社区动脉粥样硬化风险；C 白种人；CCA 颈总动脉；CHD冠心病；CHS 心血管健康研究；CVA脑血管意外；HRR风险率比值；ICA 颈内动脉；IMT 内中膜厚度；KIHD Kuopio缺血性心脏病危险因素；MI 心肌梗死；OR 比值比；PVD周围性血管疾病；RR 相对风险；USG 超声。* Cox回归分析结论与心血管病危险因素关系未明，然被认为有其重要性。†对心血管疾病的各项风险因素进行校正。

图1. B型超声(左)和M型超声(右)的颈总动脉远端图像。

图 2. 关于不同种族不同年龄组男性和女性人群百分之95颈总动脉内中膜厚度的条形图。校正¹⁵

黑人女性 黑人男性 白人女性 白人男性（左到右）

图3. 与不同的血压下降的机制相关的颈动脉解剖学潜在变化。CSA 横截面积；IMT 内中膜厚度；SM 平滑肌。

图4. 健康个体缺血诱导的肱动脉反应性试验。手臂袖带膨胀压在200毫米汞柱持续3分钟。肱动脉直径反应(图C到图H)，基线(图A)及袖带减压瞬间（图B）脉冲多普勒速度反应。图C 示肱动脉加压前二维图像，图D至图H分别表示肱动脉加压充血后30秒、60秒、90秒、120秒、180秒的二维图像。可见，肱动脉加压充血后直径变化的峰值出现在加压90秒时（如图F），与基线(图A)状态相比在袖带减压瞬间血流增大而阻力减小（图B）。自动测量收缩期峰值速度(白色箭头)，舒张末速度(白色箭头)，峰值速度-时间积分(绿色示踪)及平均速度-时间积分(蓝色示踪)。脉冲多普勒测量入射角调整至60度。肱动脉直径的测量时相同QRS波群(图C到图H，带角度的白色箭头)。筋膜平面在每个图像中重复出现（双面黑色箭头）