·指南与共识·

血管内超声在冠状动脉疾病中应用的 中国专家共识(2018)

血管内超声在冠状动脉疾病中应用的中国专家共识专家组

血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)通 过导管技术将微型超声探头送入血管腔内,显示血 管横截面图像,从而提供在体血管腔内影像。 IVUS能够精确测定管腔、血管直径以及判断病变 严重程度及性质,在提高对冠状动脉病变的认识和 指导介入治疗方面起了非常重要的作用。本共识 专家组依据国内外IVUS临床研究结果,结合国内 临床应用经验和体会,以实用为主旨,拟定了本共 识,以期规范操作,并提高临床医生腔内影像学的 运用和解读水平。

一、IVUS的成像原理及器械类型

医用超声成像导管发射超声波,部分超声从组 织折射返回传感器产生电脉冲,最后转换成图像。 目前可用的 IVUS 探头频率为 25~60 MHz,既往 IVUS导管的分辨率为 100~200 μm^[1],新型的 IVUS 导管分辨率有进一步的提高。虚拟组织学 IVUS 成 像(virtual histology-IVUS, VH-IVUS)^[2]、整合背向散 射的血管内超声(integrated backscatter-IVUS, IB-IVUS)^[3]以及 iMAP-IVUS ^[4]系统均采用新型后处 理技术,通过功率频谱的处理进行比较分析,通过 运算处理不同组织的不同回声频率,对斑块的组织 成分进行模拟成像和定量分析。目前 IVUS 换能器 分为机械旋转型及电子相控阵型两种类型。

二、图像获取的控制及操作技术

(一)术前准备

术前应常规肝素化。如无禁忌证,在图像获取 前需在冠状动脉内注射硝酸甘油100~200 μg,避 免导管诱发的冠状动脉痉挛,并真实反映冠状动脉 直径。

(二)导管准备

机械旋转型导管需在体外用生理盐水预先冲 洗,排除保护鞘内气泡。相控阵型超声导管无需排 除空气,但在送入冠状动脉前需要去除导管周围的 环晕伪像。

(三)图像调整

记录影像前可通过调整景深和增益来适应不同血管的管腔直径,并调整图像信号的清晰度,但 要注意过度增加增益会增加血液的噪点,减低图像的分辨率。

(四)导管回撤

在可能的情况下,送入导管至病变远端参考血管 10 mm 以外后开始回撤。尽量采取自动回撤,以获得病变长度和斑块体积等更多的信息。常用的自动回撤速度为0.5~1.0 mm/s。部分特殊病变可手动回撤,以仔细观察病变。

(五)图像分析

自动回撤系统经过计算机图像重建技术处理 后,可获得以动脉管腔为中心的长轴图像,有利于 分析病变的长度及分布状况。而短轴影像可以观 察冠状动脉的横截面,能够更加仔细地分析冠状动脉的管壁结构及病变状况。

(六)与操作相关的并发症

主要包括冠状动脉痉挛、气栓、夹层、冠状动脉急性闭塞和心律失常等,文献报道此类并发症发生率为0.5%~3.0%¹⁵⁶,且与基础病变及操作技术相关。

三、IVUS图像判读

(一)正常冠状动脉

正常冠状动脉的血管壁由具有不同回声特性 的层状结构组成,在IVUS上可呈现3层结构:内层 代表内膜和内弹力膜,表现为纤薄的白色回声带; 中层为中间无回声层(黑色或暗灰色),代表中膜; 外层有特征性的"洋葱皮"样表现,代表外膜和外膜 周围的组织。血管的外膜边界通常无法识别,主要 是由于外膜和周围组织无明显的回声差异。值得 注意的是,IVUS上的3层结构并不真正代表血管的 3层结构,仅有两个清楚的界面与组织学对应,为 管腔-内膜交界面和中膜-外膜交界面^[7]。

(二)冠状动脉粥样硬化斑块

IVUS通常将斑块内的回声与血管周围代表外

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.05.005

通信作者: 葛均波, Email: jbge@zs-hospital.sh.cn

膜或外膜周围组织的回声进行比较,来确定斑块的 "软硬"程度。据此可分为:(1)低回声斑块。也就 是通常所说的软斑块,通常提示斑块的脂质含量较 多,斑块内的坏死带、斑块内容物溢出后留下的空 腔、壁内出血、血肿或血栓等也可表现为低回声。 (2)等回声斑块。通常提示纤维斑块,其回声与外 膜类似。(3)高回声斑块。提示钙化,表现为回声超 过周围的外膜组织,并伴有下方的声影。混合性斑 块指斑块含有1种以上回声特性的组织,也有将其 描述为纤维钙化斑块或纤维脂质斑块¹⁷。但是近年 来病理学发现,IVUS斑块的回声强度不能完全代 表其病理学特征。

灰阶 IVUS 对易损性斑块缺乏明确的定义,一 般指脂核大而纤维帽薄的病变。薄纤维帽斑块 (thin-capped fibroatheromas, TCFA)定义为富含脂 质且纤维帽厚度<65 μm的斑块,是主要不良心血 管事件的预测因素。VH-IVUS对TCFA定义为在≥ 3 帧连续图像中斑块负荷>40%、坏死核心>10%且 与管腔接触^[89];另有研究对TCFA定义为在≥3 帧连 续图像中,坏死核心面积占斑块面积比例>10%且 坏死核心接触管腔处>30°¹⁰⁰。

回声衰减斑块(attenuated plaque)是目前大家 关注较多的一种斑块,回声衰减现象是指在低回声 斑块或等回声斑块后有回声衰减的现象,即非钙化 斑块在斑块后部出现回声衰减,使斑块后组织不能 显示。一般来说,回声衰减的弧度要求≥30°。回 声衰减发生的病理机制为富含脂质核心,特别是富 含有胆固醇结晶的晚期粥样硬化斑块^[9-12]。回声 衰减斑块与冠状动脉介入围手术期的无复流密切 相关。

斑块破裂在急性冠状动脉综合征的患者中很 常见,IVUS影像特征为斑块内膜不完整,形成空腔 与血管腔相通,部分可见残余内膜片及血栓。

钙化结节也是引起急性冠状动脉综合征的重 要病理类型,IVUS表现为突出管腔、表面不规则的 高回声团块,伴后方回声衰减。

(三)血栓

血栓性病变在IVUS上常表现为突入管腔的不 规则团块,可表现为分层、分叶,回声较弱,通常不 均匀,有斑点状或闪烁状回声,血栓组织与原有的 斑块组织可呈分层现象,两者的回声强度可有明显 的差异。部分血栓中存在微通道,可观察到血流通 过。有时瘀滞的血液可表现为管腔内不均匀的低 回声区,需与血栓鉴别,前者在注射生理盐水或对 比剂后回声消失啊。

(四)冠状动脉夹层

在 IVUS上夹层呈孤立的新月形组织斑片,可 随心动周期飘动;在撕裂斑片后方有环形无回声 区,深达内膜下或中层;注射对比剂或生理盐水后, 可见该无回声区消失或被充盈。夹层分离的严重 程度主要取决于深度、周径、长度、残余管腔横截面 积以及管腔内夹层的横截面积。在描述夹层时,还 需要包括是否存在假腔、活动内膜片的识别、夹层 边界是否有钙化以及夹层是否在支架边缘。

(五)动脉瘤

动脉瘤分为真性动脉瘤和假性动脉瘤。真性 动脉瘤表现为病变处血管壁全层向外膨出,并且与 邻近参考段血管相比,管腔面积及外弹力膜面积增 加>50%。假性动脉瘤可见外弹力膜断裂,常见于 介入诊疗术后。

(六)心肌桥

在IVUS图像中,心肌桥内的壁冠状动脉收缩 期管腔缩小,舒张期增加,心肌桥特征性表现为围 绕壁冠状动脉一侧的半月型低回声或无回声区。 该无回声区具有高度特异度和敏感度,存在于几乎 所有的心肌桥部位,称为半月现象(half-moon phenomena)¹³⁴。进一步定量测定发现,大部分的壁 冠状动脉直径和面积即使在舒张期,也小于其远端 的参照节段¹¹⁴¹。

(七)血管真假腔的识别

在处理慢性完全闭塞(chronic total occlusion, CTO)病变等复杂病变时,血管真假腔的识别尤为 重要。识别要点包括:真腔由血管3层结构(包括 内膜、中膜及外膜)包绕;真腔与边支交通;假腔通常 是与真腔平行的通道,一定长度内可不与真腔相通。

(八)支架

金属支架小梁对超声波有很强的反射作用,超 声图像上看支架为沿血管走行的强回声点或回声 弧。生物可降解支架(bioresorbable vascular scaffold, BVS)的主体为生物可吸收多聚乳酸,与金 属支架不同,在IVUS下表现为双层小梁结构,置入 后即刻呈规则的方形结构,声学强度与钙化组织相 似,但小梁后方无声影^[15]。

支架贴壁是指支架小梁与动脉壁的距离合 适。良好的贴壁定义为小梁紧贴血管壁,使得小梁 与管壁之间没有血流通过。因此,可以通过在血管 内注射生理盐水或对比剂确定支架是否良好贴壁, 同时也可以测量没有贴壁的支架小梁所占的角度 及长度。支架贴壁不良(incomplete stent apposition,ISA)定义为1个或多个支架小梁与血管 壁分离(排除血管分支开口部位的支架与血管分离 假象),往往在支架后方可以看到闪烁的血流信 号。ISA可分为急性ISA和晚期ISA。急性ISA发 生在支架置入后即刻,而晚期ISA是在支架置入术 后随访过程中观察到的ISA。急性ISA可逐渐消 失,也可持续存在;支架与血管之间的间隙可以缩 小、消失,也可以增加、扩大,或者保持相对稳定。 晚期ISA可分为获得性ISA和持续性ISA。晚期获 得性ISA为支架置入后即刻IVUS显示支架完全贴 壁,而在随访过程中发生ISA;持续性ISA则是支 架置入后即刻已经存在并在随访过程中持续存 在的ISA^[16]。

支架断裂主要发生于血管扭曲严重、成角较大的部位,如右冠状动脉中段或左前降支中段,与再狭窄和血栓发生有关。支架部分断裂定义为>180°范围内支架小梁消失;支架完全断裂定义为至少3帧连续图像内,支架小梁在360°范围内消失¹⁷⁷。

支架内再狭窄的IVUS定义为支架内最小管腔 面积<4 mm²(左主干<6 mm²)和/或直径狭窄<参考 管腔直径的70%^[17]。较早期支架内再狭窄的内膜 增生通常表现为很低回声的组织,有时甚至低于血 流斑点的回声。晚期支架内再狭窄观察到的内膜 增生通常回声较强。

(九)IVUS伪像

IVUS图像上可因导管本身或冠状动脉的特殊 解剖特征等因素而引起一些伪像,常见的伪像包 括:(1)不均匀转动伪像(non-uniform rotational distortion, NURD)及运动伪像。NURD产生的机制 是由于机械旋转型 IVUS 导管不均匀转动造成的图 像变形,运动伪像可能由于导管位置不稳定出现图 像变形,重度狭窄、血管扭曲成角及重度钙化易造 成上述伪像。(2)环晕伪像。环晕伪像表现为导管 周围一圈厚薄不一、明亮的环状影像,这一伪像使 得邻近导管的区域图像显示不清。利用数字减影 技术,电子相控阵系统可以部分抑制环晕伪像的出 现。(3)血液及近场伪像。当换能器声波频率增加 及血流速度减慢时,血液回声强度会增加,影响血 管腔与组织(特别是软斑块、新生内膜和血栓)边界 的辨认。当导管通过严重狭窄或夹层时,可加重血 流瘀滞。术者可通过指引导管,利用对比剂或是 用生理盐水冲刷管腔,帮助识别管腔和各种组织 边界。

四、IVUS的定量测定

(一)边界的识别

根据冠状动脉管壁在 IVUS 上呈现的 3 层结构, IVUS 定量测定时最常用两个声学界面:一个是内膜与管腔之间;另一个为中膜与外膜之间,此分界线总是非常清晰,经常以此来测定中膜-外膜交界面的面积,也称为外弹力膜(external elastic membrane, EEM)横截面积(cross sectional area, CSA)。

(二)管腔测量

确定管腔边界后可开始下一步测量,而在测量 中,以下各项径线是以经过管腔中心而不是导管中 心为准。

1.管腔横截面积:管腔边界围绕的区域。

2. 最小管腔面积(minimal lumen area, MLA): 病变最狭窄处的管腔面积。

3.最小管腔直径:经过管腔中心的最短直径。

4.最大管腔直径:经过管腔中心的最长直径。

5. 管腔偏心率:(最大管腔直径-最小管腔直径),最大管腔直径。

6.管腔面积狭窄:(参考段管腔CSA-最小管腔 CSA)/参考段管腔CSA。应用的参考段可以是远 端、近端或是平均参考段¹⁷¹。

(三)外弹力膜的测量

EEM-CSA代表血管面积。在大分支的起源以 及大面积钙化灶伴声影的区域,无法精确进行 EEM-CSA的测量。如果声影弧度<90°,可根据邻 近部位的EEM-CSA进行推算;若钙化远>90°,则不 应进行EEM-CSA测量。另外,一些支架使得EEM 的边缘变得模糊,从而影响测量结果。

(四)IVUS对动脉粥样硬化病变的测量

1.病变的定义及测定:动脉粥样硬化病变定义 为与参考节段相比有明显动脉粥样硬化斑块处;狭 窄定义为管腔CSA减小至少50%的病变处;最重狭 窄处指管腔面积最小的狭窄部位;次重狭窄处指病 变满足狭窄的定义,但管腔面积较最重狭窄处指病 变满足狭窄的定义,但管腔面积较最重狭窄处方。 在整个血管节段中,通常都会有1个最重狭窄处大。 但可能会有很多处次重狭窄。最重狭窄处可能不 是斑块最多处,并且与造影显示的狭窄处不一致。 如果同一根血管中存在多个病变,病变与病变之间 至少相隔5 mm以上,否则应视为同一病变。

介入术前、术后病变及参考节段的选择和测量 应该具有较好的一致性,在一些系列研究中,需要 对同一处血管进行测量及描述。如需定位相同病 变位置,首先确定血管中特征性定位标志,记录病 变至标志的距离,可通过血管或血管外结构(小分 支、静脉结构、钙化及纤维化斑块或支架)辅助 定位。

为了获得完整的病变信息(如斑块结构、性质 及分布等),需要整体观察,而不只是单纯测量狭窄 最重部位。

在 IVUS 图像上很难确定内弹力膜的位置,因 此无法测定组织学意义上的斑块面积(即以内膜和 内弹力膜为边界的面积),常利用 EEM-CSA 减去管 腔 CSA 计算得到的斑块与中膜的面积来代替斑块 面积,由于中膜面积在其中占的比例很小,因此 很少影响对斑块面积的测定。常用的公式如下^[7]: (1)斑块 CSA=EEM-CSA - 管腔 CSA;(2)最大斑块 厚度指经过管腔中心的直线上,内膜前缘至 EEM 的最大距离;(3)最小斑块厚度指经过管腔中心的 直线上,内膜前缘至 EEM 的最小距离;(4)斑块偏 心率=(最大斑块和中膜厚度-最小斑块和中膜厚 度)/最大斑块和中膜厚度;(5)斑块负荷=斑块 CSA / EEM-CSA,其代表的是斑块占 EEM-CSA 的比例。

2.参考节段的定义及测定:参考节段的定义总体简述如下:(1)近端参考节段,指同一段血管的病变近端最大管腔部位(通常是距离病变10 mm 且无主要分支处),并不一定是斑块最少部位;(2)远端参考节段,指同一段血管的病变远端最大管腔部位(通常是距离病变10 mm 且无主要分支处),并不一定是斑块最少部位;(3)平均参考节段,指近端与远端参考节段的平均值。

介入术前或术后尽量选择相同的参考节段,除 非手术使得参考节段发生改变(例如置入支架或经 过斑块旋切术)。参考节段的定性、定量测量与狭 窄段血管的测量方式类似,应包括EEM、管腔和斑 块等参数的分析。

(五)钙化病变的测量

对钙化病变可依据钙化组织所占的象限进行 半定量分析。由于后方的回声缺失,IVUS并不能 测量钙化的厚度。IVUS的钙化分级:0级为无钙 化,1级为1°~90°,2级为91°~180°,3级为181°~ 270°,4级为271°~360°^[7]。

(六)支架的测量

支架常见的测量参数包括:(1)支架CSA,指由 支架边界围成区域的面积;(2)最小支架直径,指经 过支架中心的最短直径;(3)最大支架直径,指经过 支架中心的最长直径;(4)支架对称性,其计算公式 为(最大支架直径-最小支架直径)/最大支架直径; (5)偏心指数,指在每一帧图像测得最小支架直径/ 最大支架直径后计算的平均值;(6)支架扩张系数, 指最小支架 CSA/参考段管腔 CSA,可以是近端、远 端、最大或平均参考段。支架对称性、偏心指数及 支架扩张系数等是评估支架扩张是否对称及充分 的几何参数,与临床预后相关^[17-18]。

在支架术后的随访评估中,应将随访中发现的 MLA 与介入术前或术后即刻同一处图像进行对比 (定位方法同前)。对于没有支架覆盖的病变,至少 应用以下3种测量值:EEM、管腔面积、斑块和中膜 面积的绝对值及改变量;而有支架覆盖的区域则至 少测量2个指标:支架及管腔直径的绝对值及改变 量。参考段血管的直径有可能改变,因此在系列 研究的对比分析中,对参考段血管的定位应更加 仔细。

内膜增生(%)定义为内膜增生面积/支架面积×100%。支架内再狭窄(ISR)定义为支架内最小管腔面积<4 mm²,且内膜显著增生(内膜增生面积>50%)^[18-19]。

(七)血管重构

血管重构是指动脉粥样硬化进展过程中 EEM-CSA的变化。目前应用重构指数来描述重构 的程度及趋势。重构指数= 病变处 EEM-CSA/参考 段平均 EEM-CSA。重构指数>1.05 为正性重构,重 构指数<0.95 为负性重构。

(八)长度测量

IVUS中的长度测量主要应用自动回撤系统。 这一方法可以应用于病变段、狭窄段、钙化灶或是 其他血管纵轴方向参数的测量。注意指引导管摆 动引起IVUS导管随心动周期发生前后移动对病变 长度测量准确性的影响。

五、IVUS在经皮冠状动脉介入治疗中的应用

IVUS通过对病变程度、性质和累及范围的精确判断,可帮助选择治疗策略和方法,指导介入治疗过程,实现经皮冠状动脉介入治疗术后即刻支架最优化,并可监测相关并发症。早期研究提示,对于非左主干包括左前降支、左回旋支和右冠状动脉及其主要分支近段病变,介入治疗的IVUS界限值为面积狭窄>70%、最小管腔直径≤1.8 mm、MLA≤4.0 mm²^[10,20]。近年来的荟萃分析结果显示,对非左主干、参考血管直径>3 mm的病变,介入治疗的IVUS界限值为MLA<2.8 mm²;对参考血管直径<3 mm的病变,介入治疗的IVUS界限值为MLA<

2.4 mm^{2[13]}。理想的裸金属支架置入结果的 IVUS标 准(MUSIC标准)包括:(1)支架完全贴壁:(2)支架 内最小CSA≥平均参考血管CSA的90%;(3)偏心 指数≥0.7¹¹⁴¹。在药物支架时代,支架扩张无疑是影 响预后的最主要指标。支架内 MLA≤5 mm²、支架 边缘斑块负荷≥50%、支架边缘夹层、弥漫的支架贴 壁不良是远期不良事件的独立预测因素[21-24]。使用 IVUS指导支架置入的位置,评估支架扩张是否充 分,能够最大程度地减少血管的物理丢失,并及时 发现边缘夹层等并发症。虽然目前对于IVUS指导 的支架置人结果还有争议,但近年来的大型荟萃分 析均显示, IVUS 指导的支架置入能够降低主要不 良心血管事件,改善预后[25-28]。值得指出的是, IVUS在复杂病变介入治疗中用于指导支架置入的 优势更为明显[29-30]。其在特殊类型冠状动脉病变中 的应用分述如下。

(一)IVUS在左主干病变中的应用

左主千病变的解剖结构特殊,例如较短、弥漫 病变常见、与冠状窦成角、局限或弥漫性重构、病变 常累及左前降支及左回旋支(中间支等)开口等,使 得冠状动脉造影很难准确评估病变。相对非左主 干病变,使用 IVUS 的 MLA 评估缺血的准确性更 高。目前普遍认为,左主干病变中 MLA>6.0 mm²可 作为延迟进行介入治疗的界限值^[31-33]。目前亚洲的 临床研究提示,MLA 4.5 mm²可作为判断是否存在 缺血的界限值,但尚需更多的数据来证明^[34]。对于 MLA 为4.5~6.0 mm²的患者,推荐行血流储备分数 (fractional flow reserve, FFR)评估缺血。以影像结 果判断病变是否有缺血意义需慎重,术者需要综合 考虑患者心肌缺血的客观证据、左主干直径、斑块 负荷和病变形态等因素来做出评估。

相比开口及体部,左主干远段病变更为常见 (70%~80%),且病变易累及左前降支(90%)及左 回旋支(62%)开口^[33],使得介入治疗策略和技术应 用更为复杂。分别从左前降支及左回旋支进行 IVUS图像采集,对精确判断开口部位的病变程度 及分布情况尤为重要^[35:36]。在左回旋支病变距开口> 5 mm、MLA>4.0 mm²、斑块负荷<50%或左回旋支发 育细小的情况下,宜选择单支架技术,反之则需考 虑双支架置入。支架的扩张和贴壁是决定双支架 技术近、远期预后的重要预测因素。有研究将主干 支架内 MLA<8 mm²、分叉部 MLA<7 mm²、左前降支 开口 MLA<6 mm²、左回旋支开口 MLA<5 mm²定义 为支架扩张不良,发现左回旋支开口支架扩张不良 最为常见,存在支架扩张不良的患者其再狭窄率较高(24.1%比5.4%,P<0.05)^[37]。由于左主干病变的个体差异大,实际操作中需要注意治疗个体化。 IVUS指导支架直径和长度的选择、支架定位和扩张的优化、边缘夹层和血肿的及时发现和处理能够改善介入治疗的预后,这一结果在多个观察性研究中得到了证实^[37-40]。因此,在欧美国家的冠心病介入治疗指南中,均将使用IVUS评估无保护左主干病变严重程度及优化治疗作为 II a 类推荐^[41-43]。 2016年发表的中国经皮冠状动脉介入治疗指南中,左主干病变使用IVUS指导治疗也是同样的推荐^[44]。

血管严重成角、钙化、重度狭窄及支架置入后 等因素,可增加IVUS导管或血管损伤的风险,需小 心操作。

(二)IVUS在分叉病变中的应用

由于分叉病变中主支血管及分支血管可能重 叠,冠状动脉造影对病变的严重程度及分叉嵴的评 估存在缺陷。IVUS可精准评估分叉病变性质、分 布、形态及血管直径,更有利于优化分叉病变的介 入治疗^[45-47]。

与普通病变类似,IVUS可用于术前评估斑块 性质、负荷及 MLA, 术中指导支架直径及长度的选 择,术后评估支架扩张及支架边缘状况。但在分叉 病变中,术前主支及分支均应行 IVUS检查[48],应关 注分叉远端主支斑块负荷及分布,对预判分支闭塞 有指导意义[49];分支血管是否存在负性重构,对治 疗策略的制定有指导作用⁵⁰¹。一般来说,分叉处斑 块负荷越重,嵴移位可能性越大,主干支架后边支 闭塞的风险也越高;另一方面,分支血管开口如果 为负性重构或少量斑块,不考虑双支架术式。在分 叉病变术中,IVUS还有助于观察导丝的走行,可指 导导丝重新进入的位置及明确其与嵴部的关系。 在分叉近远端血管直径不匹配的情况下, IVUS 可 以观察导丝是否走行于血管壁与支架梁之间,并 指导支架近段优化扩张(POT)技术时球囊直径的 选择。

在支架置入后,IVUS除评估支架扩张及支架 边缘状况,还可观察分叉部位支架的覆盖、支架梁 重叠及支架是否变形等情况,并有助于指导对吻扩 张技术。

(三)IVUS在CTO病变中的应用

IVUS在CTO病变中的应用包括:(1)闭塞病变 起始部位的识别。如果闭塞近端存在较大分支血 管,可从分支血管成像以寻找闭塞起源处,指导导 丝的穿刺部位和方向,并确认其是否进入CTO近端 纤维帽。(2)判断及探寻真腔。IVUS可判断导丝是 否位于真腔,并指导导丝重入真腔^[51]。(3)在反向 CART技术中的应用。采用反向CART技术时,可 根据IVUS明确正逆向导丝的空间关系,选择正向 撕裂内膜所需球囊的直径,使用合适的球囊于最佳 扩张部位行反向CART技术,同时IVUS指导逆向 导丝进入近段血管真腔^[52]。(4)测量参考血管直径 及病变长度,指导支架选择。CTO远端血管长期处 于低灌注状态,造影可能显示为弥漫性病变且管腔 较小,仅依靠造影结果定位支架较为困难;CTO病 变进行球囊扩张后常造成明显的内膜撕裂,正向注 射对比剂可加重内膜撕裂范围,需利用IVUS测量 血管直径以指导支架的选择^[51,51]。

(四)IVUS在钙化病变中的应用

相对于冠状动脉造影,IVUS 对检测钙化病变 有很高的敏感度和特异度,且提示造影对于钙化病 变的发现与钙化弧度、长度和位置相关。冠状动脉 钙化病变分为内膜面(浅表)、外膜或斑块基底部 (深部)钙化。外膜钙化对介入治疗的影响不大,可 按常规操作,一般无需特殊处理。严重内膜面钙化 直接影响器械的通过或导致治疗失败。一般认为, IVUS 发现钙化病变弧度超过 270°才需要旋磨治 疗,但是不到 270°的钙化病变有时也会造成球囊及 支架通过困难、支架释放后扩张不全或扩张不对 称,并会影响近、远期疗效。IVUS 能够精确测量血 管直径,指导选择旋磨头直径(磨头直径/血管直径< 0.6),评估旋磨及球囊预扩张后效果,指导支架的 选择,评估支架扩张及贴壁情况^[5455]。

六、IVUS 的局限性

IVUS 作为常用的腔内影像学技术,不能直接 进行功能学评估。由于其分辨率的限制,对于斑块 表面薄层纤维帽、微小的内膜撕裂及糜烂、微小血 栓、脂质核心等结构难以分辨。新型 IVUS 导管在 更小直径的基础上,分辨率也有一定程度的提高; 且可与其他影像学及功能学检查手段相结合,如近 红外光谱、光学相干断层显像及 FFR 测定等,以提 供更完整的腔内影像及功能学信息。

综上所述,IVUS在介入手术中应用的有效性、 安全性得到了越来越多专家的认可,其在优化经皮 冠状动脉介入治疗效果以及在特殊病变中的应用 价值也越来越多地得到临床的证实。介入医生 应熟练掌握该腔内影像学技术,以更好地提高介

入治疗的效果。

专家组成员:卜军(上海交通大学医学院附属仁济医院), 王伟民(北京大学人民医院),王建安(浙江大学医学院附属 第二医院),方唯一(上海市胸科医院),曲新凯(上海市胸科 医院),刘学波(同济大学附属同济医院),刘健(北京大学人 民医院),苏晞(武汉亚洲心脏病医院),李妍(空军军医大学 西京医院),杨峻青(广东省人民医院),来晏(同济大学附属 同济医院),张俊杰(南京市第一医院),张峰(复旦大学附 属中山医院),陈良龙(福建医科大学附属协和医院),陈韵 岱(解放军总医院),金泽宁(首都医科大学附属北京安贞医 院),修建成(南方医科大学南方医院),侯静波(哈尔滨医科 大学附属第二医院),贺勇(四川大学华西医院),钱杰(中国 医学科学院 北京协和医学院 国家心血管病中心 阜外医 院),钱菊英(复旦大学附属中山医院),郭宁(西安交通大学 附属第一医院),郭军(解放军总医院),葛均波(复旦大学附 属中山医院),蒋峻(浙江大学附属第二医院),董樑(浙江大 学附属第二医院),韩雅玲(沈阳军区总医院) 利益冲突 无

参考文献

- McDaniel MC, Eshtehardi P, Sawaya FJ, et al. Contemporary clinical applications of coronary intravascular ultrasound[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2011,4(11):1155-1167. DOI: 10.1016/j.jcin.2011.07.013.
- [2] García-García HM, Mintz GS, Lerman A, et al. Tissue characterisation using intravascular radiofrequency data analysis: recommendations for acquisition, analysis, interpretation and reporting[J]. EuroIntervention, 2009,5(2): 177-189.
- [3] Kawasaki M, Takatsu H, Noda T, et al. Noninvasive quantitative tissue characterization and two-dimensional color-coded map of human atherosclerotic lesions using ultrasound integrated backscatter: comparison between histology and integrated backscatter images[J]. J Am Coll Cardiol, 2001,38(2):486-492.
- [4] Shin ES, Garcia-Garcia HM, Ligthart JM, et al. In vivo findings of tissue characteristics using iMap [™] IVUS and Virtual Histology[™] IVUS[J].EuroIntervention,2011,6(8):1017-1019. DOI: 10.4244/EIJV618A175.
- [5] Hausmann D, Erbel R, Alibelli-Chemarin MJ, et al. The safety of intracoronary ultrasound. A multicenter survey of 2207 examinations[J]. Circulation, 1995,91(3):623-630.
- [6] Batkoff BW, Linker DT. Safety of intracoronary ultrasound: data from a Multicenter European Registry[J]. Cathet Cardiovasc Diagn, 1996,38(3):238-241. DOI: 10.1002/(SICI) 1097-0304(199607)38:3<238::AID-CCD3>3.0.CO;2-9.
- [7] Mintz GS, Nissen SE, Anderson WD, et al. American College of Cardiology clinical expert consensus document on standards for acquisition, measurement and reporting of intravascular ultrasound studies (IVUS). A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents[J]. J Am Coll Cardiol, 2001,37(5): 1478-1492.
- [8] Calvert PA, Obaid DR, O'Sullivan M, et al. Association between IVUS findings and adverse outcomes in patients with coronary artery disease: the VIVA (VH-IVUS in vulnerable atherosclerosis) study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2011,4(8):

· 350 ·

894-901. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.05.005.

- [9] Rodriguez-Granillo GA, García-García HM, Mc FEP, et al. In vivo intravascular ultrasound-derived thin-cap fibroatheroma detection using ultrasound radiofrequency data analysis[J].
 J Am Coll Cardiol, 2005,46(11):2038-2042. DOI: 10.1016/j. jacc.2005.07.064.
- [10] Stone GW, Maehara A, Lansky AJ, et al. A prospective natural-history study of coronary atherosclerosis[J]. N Engl J Med, 2011,364(3):226-235. DOI: 10.1056/NEJMoa1002358.
- [11] Pu J, Mintz GS, Biro S, et al. Insights into echo-attenuated plaques, echolucent plaques, and plaques with spotty calcification: novel findings from comparisons among intravascular ultrasound, near-infrared spectroscopy, and pathological histology in 2294 human coronary artery segments [J]. J Am Coll Cardiol, 2014,63(21):2220-2233. DOI: 10.1016/ j.jacc.2014.02.576.
- [12] Pu J, Mintz GS, Brilakis ES, et al. In vivo characterization of coronary plaques: novel findings from comparing greyscale and virtual histology intravascular ultrasound and near-infrared spectroscopy[J]. Eur Heart J, 2012,33(3): 372-383. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr387.
- [13] Ge J, Erbel R, Rupprecht HJ, et al. Comparison of intravascular ultrasound and angiography in the assessment of myocardial bridging[J]. Circulation, 1994,89(4):1725-1732.
- [14] Qian J, Zhang F, Wu H, et al. Size of coronary artery in a myocardial bridge compared with adjacent nontunneled left anterior descending coronary artery[J]. Am J Cardiol, 2007,99 (12):1653-1655. DOI: 10.1016/j.amjcard.2007.01.051.
- [15] Gómez-Lara J, Brugaletta S, Diletti R, et al. Agreement and reproducibility of gray-scale intravascular ultrasound and optical coherence tomography for the analysis of the bioresorbable vascular scaffold[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2012,79(6):890-902. DOI: 10.1002/ccd.23108.
- [16] Guo N, Maehara A, Mintz GS, et al. Incidence, mechanisms, predictors, and clinical impact of acute and late stent malapposition after primary intervention in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound substudy of the harmonizing outcomes with revascularization and stents in acute myocardial infarction (HORIZONS-AMI) trial[J]. Circulation, 2010,122(11):1077-1084. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA. 109.906040.
- [17] Kang SJ, Mintz GS, Park DW, et al. Mechanisms of in-stent restenosis after drug-eluting stent implantation: intravascular ultrasound analysis[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2011,4(1):9-14. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.110.940320.
- [18] Briguori C, Anzuini A, Airoldi F, et al. Intravascular ultrasound criteria for the assessment of the functional significance of intermediate coronary artery stenoses and comparison with fractional flow reserve[J]. Am J Cardiol, 2001, 87(2):136-141.
- [19] D'Ascenzo F, Barbero U, Cerrato E, et al. Accuracy of intravascular ultrasound and optical coherence tomography in identifying functionally significant coronary stenosis according to vessel diameter: A meta-analysis of 2581 patients and 2807 lesions[J]. Am Heart J, 2015,169(5):663-673. DOI: 10.1016/j.ahj.2015.01.013.
- [20] Naghavi M, Libby P, Falk E, et al. From vulnerable plaque to vulnerable patient: a call for new definitions and risk assessment strategies: Part II [J]. Circulation, 2003,108(15): 1772-1778. DOI: 10.1161/01.CIR.0000087481.55887.C9.
- [21] de Jaegere P, Mudra H, Figulla H, et al. Intravascular

ultrasound-guided optimized stent deployment. Immediate and 6 months clinical and angiographic results from the multicenter ultrasound stenting in coronaries study (MUSIC study)[J]. Eur Heart J, 1998,19(8):1214-1223.

- [22] Morino Y, Tamiya S, Masuda N, et al. Intravascular ultrasound criteria for determination of optimal longitudinal positioning of sirolimus-eluting stents[J]. Circ J, 2010,74(8): 1609-1616.
- [23] Liu X, Tsujita K, Maehara A, et al. Intravascular ultrasound assessment of the incidence and predictors of edge dissections after drug-eluting stent implantation[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2009,2(10):997-1004. DOI: 10.1016/j.jcin.2009.07.012.
- [24] Liu X, Doi H, Maehara A, et al. A volumetric intravascular ultrasound comparison of early drug-eluting stent thrombosis versus restenosis[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2009,2(5): 428-434. DOI: 10.1016/j.jcin.2009.01.011.
- [25] Klersy C, Ferlini M, Raisaro A, et al. Use of IVUS guided coronary stenting with drug eluting stent: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials and high quality observational studies[J]. Int J Cardiol, 2013,170 (1):54-63.
- [26] Jang JS, Song YJ, Kang W, et al. Intravascular ultrasound-guided implantation of drug-eluting stents to improve outcome: a meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014,7(3):233-243. DOI: 10.1016/j.jcin.2013.09.013.
- [27] Steinvil A, Zhang YJ, Lee SY, et al. Intravascular ultrasound-guided drug-eluting stent implantation: An updated meta-analysis of randomized control trials and observational studies[J]. Int J Cardiol, 2016,216:133-139. DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.04.154.
- [28] Ahn JM, Kang SJ, Yoon SH, et al. Meta-analysis of outcomes after intravascular ultrasound-guided versus angiography-guided drug-eluting stent implantation in 26503 patients enrolled in three randomized trials and 14 observational studies[J]. Am J Cardiol, 2014,113(8): 1338-1347. DOI: 10.1016/j.amjcard.2013.12.043.
- [29] Bavishi C, Sardar P, Chatterjee S, et al. Intravascular ultrasound-guided vs angiography-guided drug-eluting stent implantation in complex coronary lesions: meta-analysis of randomized trials[J]. Am Heart J, 2017,185:26-34. DOI: 10.1016/j.ahj.2016.10.008.
- [30] Zhang YJ, Pang S, Chen XY, et al. Comparison of intravascular ultrasound guided versus angiography guided drug eluting stent implantation: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2015,15:153. DOI: 10.1186/s12872-015-0144-8.
- [31] Jasti V, Ivan E, Yalamanchili V, et al. Correlations between fractional flow reserve and intravascular ultrasound in patients with an ambiguous left main coronary artery stenosis[J]. Circulation, 2004,110(18):2831-2836. DOI: 10.1161/01. CIR.0000146338.62813.E7.
- [32] Fassa AA, Wagatsuma K, Higano ST, et al. Intravascular ultrasound-guided treatment for angiographically indeterminate left main coronary artery disease: a long-term follow-up study[J]. J Am Coll Cardiol, 2005,45(2):204-211. DOI: 10.1016/j.jacc.2004.09.066.
- [33] de la Torre Hernandez JM, Hernández HF, Alfonso F, et al. Prospective application of pre-defined intravascular ultrasound criteria for assessment of intermediate left main coronary artery lesions results from the multicenter LITRO study[J]. J Am Coll Cardiol, 2011,58(4):351-358. DOI:

10.1016/j.jacc.2011.02.064.

- [34] Park SJ, Ahn JM, Kang SJ, et al. Intravascular ultrasound-derived minimal lumen area criteria for functionally significant left main coronary artery stenosis[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014,7(8):868-874. DOI: 10.1016/j. jcin.2014.02.015.
- [35] Yong AS, Daniels D, De Bruyne B, et al. Fractional flow reserve assessment of left main stenosis in the presence of downstream coronary stenoses[J]. Circ Cardiovasc Interv,2013,6(2):161-165. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.112.000104.
- [36] Oviedo C, Maehara A, Mintz GS, et al. Is accurate intravascular ultrasound evaluation of the left circumflex ostium from a left anterior descending to left main pullback possible?[J]. Am J Cardiol, 2010,105(7):948-954. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.11.029.
- [37] Kang SJ, Mintz GS, Kim WJ, et al. Changes in left main bifurcation geometry after a single-stent crossover technique: an intravascular ultrasound study using direct imaging of both the left anterior descending and the left circumflex coronary arteries before and after intervention[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2011,4(4): 355-361. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS. 110.961045.
- [38] Park DW, Kim YH, Yun SC, et al. Long-term outcomes after stenting versus coronary artery bypass grafting for unprotected left main coronary artery disease: 10-year results of bare-metal stents and 5-year results of drug-eluting stents from the ASAN-MAIN (ASAN Medical Center-Left MAIN Revascularization) Registry[J]. J Am Coll Cardiol, 2010,56 (17):1366-1375. DOI: 10.1016/j.jacc.2010.03.097.
- [39] Park SJ, Kim YH, Park DW, et al. Impact of intravascular ultrasound guidance on long-term mortality in stenting for unprotected left main coronary artery stenosis[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2009,2(3):167-177. DOI: 10.1161/ CIRCINTERVENTIONS.108.799494.
- [40] De la Torre Hernandez JM, Alfonso F, Sanchez RA, et al. Comparison of paclitaxel-eluting stents (Taxus) and everolimus-eluting stents (Xience) in left main coronary artery disease with 3 years follow-up (from the ESTROFA-LM registry) [J]. Am J Cardiol, 2013,111(5):676-683. DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.11.019.
- [41] de la Torre Hernandez JM, Baz AJA, Gómez HJA, et al. Clinical impact of intravascular ultrasound guidance in drug-eluting stent implantation for unprotected left main coronary disease: pooled analysis at the patient-level of 4 registries[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014,7(3):244-254. DOI: 10.1016/j.jcin.2013.09.014.
- [42] Levine GN, Bates ER, Blankenship JC, et al. 2011 ACCF/ AHA/SCAI guideline for percutaneous coronary intervention. A report of the American College of Cardiology Foundation/ American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions[J]. J Am Coll Cardiol, 2011,58(24):e44-122. DOI: 10.1016/j.jacc.2011.08.007.
- [43] Windecker S, Kolh P, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI)[J]. Eur Heart J, 2014,35

(37):2541-2619. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu278.

- [44] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组,中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会.中国经皮冠状动脉介入治疗指南(2016)[J].中华心血管病杂志,2016,44(5):382-400.DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006.
- [45] Trabattoni D, Bartorelli AL. IVUS in bifurcation stenting: what have we learned?[J]. EuroIntervention, 2010,6 Suppl J: J88-93. DOI: 10.4244/EIJV6SUPJA14.
- [46] Chen SL, Ye F, Zhang JJ, et al. Intravascular ultrasound-guided systematic two-stent techniques for coronary bifurcation lesions and reduced late stent thrombosis [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2013,81(3):456-463. DOI: 10.1002/ccd.24601.
- [47] de la Torre Hernandez JM, Baz AJA, Gómez HJA, et al. Clinical impact of intravascular ultrasound guidance in drug-eluting stent implantation for unprotected left main coronary disease: pooled analysis at the patient-level of 4 registries[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014,7(3):244-254. DOI: 10.1016/j.jcin.2013.09.014.
- [48] Oviedo C, Maehara A, Mintz GS, et al. Is accurate intravascular ultrasound evaluation of the left circumflex ostium from a left anterior descending to left main pullback possible?[J]. Am J Cardiol, 2010,105(7):948-954. DOI: 10.1016/j.amjcard.2009.11.029.
- [49] Xu J, Hahn JY, Song YB, et al. Carina shift versus plaque shift for aggravation of side branch ostial stenosis in bifurcation lesions: volumetric intravascular ultrasound analysis of both branches[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2012,5(5): 657-662. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.112.969089.
- [50] Costa RA, Feres F, Staico R, et al. Vessel remodeling and plaque distribution in side branch of complex coronary bifurcation lesions: a grayscale intravascular ultrasound study [J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013,29(8):1657-1666. DOI: 10.1007/s10554-013-0263-1.
- [51] McDaniel MC, Eshtehardi P, Sawaya FJ, et al. Contemporary clinical applications of coronary intravascular ultrasound[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2011,4(11):1155-1167. DOI: 10.1016/j.jcin.2011.07.013.
- [52] Estevez-Loureiro R, Ghione M, Kilickesmez K, et al. The role for adjunctive image in pre-procedural assessment and peri-procedural management in chronic total occlusion recanalisation[J]. Curr Cardiol Rev, 2014,10(2):120-126.
- [53] Hong SJ, Kim BK, Shin DH, et al. Usefulness of intravascular ultrasound guidance in percutaneous coronary intervention with second-generation drug-eluting stents for chronic total occlusions (from the multicenter Korean-chronic total occlusion registry) [J]. Am J Cardiol, 2014,114(4):534-540. DOI: 10.1016/j.amjcard.2014.05.027.
- [54] Wang X, Matsumura M, Mintz GS, et al. In vivo calcium detection by comparing optical coherence tomography, intravascular ultrasound, and angiography[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017,10(8):869-879. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.05.014.
- [55] 葛均波, 王伟民, 霍勇. 冠状动脉内旋磨术中国专家共识
 [J]. 中国介人心脏病学杂志,2017,25(2):61-66. DOI: 10.3969/
 j.issn.1004-8812.2017.02.001.

(收稿日期:2017-11-26) (本文编辑:卢全)