· 临床研究 ·

# Doppler flow velocity in diagnosis of in-stent restenosis after renal artery stenting

WANG Siyu[1], SUN Youjing[1], MA Na[1], LIU Zhiwen[1], ZHANG Yuewei[1], JI Xianpu[1], AI Hu[2], REN Junhong[1*], LI Yongjun[3]

(1. Department of Ultrasound, 2. Department of Cardiology, 3. Department of Vascular Surgery, National Center of Gerontology, Institute of Geriatric Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing Hospital, Beijing 100730, China)

[**Abstract**] **Objective** To explore the value of ultrasonic Doppler flow velocity in diagnosis of stent restenosis after stent implantation for treating severe atherosclerotic renal artery stenosis (ARAS). **Methods** Eighty-five patients (94 renal arteries) with severe ARAS after renal artery stenting were retrospectively analyzed. According to the ratio of stent diameter stenosis measured with contrast-enhanced ultrasound (CEUS) 12 months after stenting, the patients were divided into non-restenosis (<30%), mild restenosis (30%-50%), moderate restenosis (51%-70%) and severe restenosis (>70%), respectively. The peak systolic velocity (PSV) in stent and ratio of renal artery PSV to abdominal aortic PSV (RAR) were compared among renal arteries with different restenosis degrees. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the diagnostic value of PSV and RAR for in-stent restenosis. **Results** Twelve months after stenting, CEUS showed stent occlusion in 2 renal arteries. Totally 92 renal arteries were enrolled in the study, including 58 with restenosis, 15 with mild restenosis, 11 with moderate restenosis and 8 with severe restenosis. There were statistically significant differences of PSV and RAR among renal arteries with different restenosis degrees (all $P<0.01$). PSV and RAR increased gradually with the development of stenosis degrees (all $P<0.05$). Taken PSV >162.50 cm/s as the diagnostic threshold of intra-stent diameter stenosis ratio >30%, the sensitivity and specificity were both 100%, while taken RAR >2.28 as the diagnostic threshold, the sensitivity was 100%, and specificity was 96.60%. For diagnosing intra-stent diameter stenosis ratio >50%, taken PSV >219.55 cm/s as the diagnostic threshold, the sensitivity was 100% and specificity was 98.60%; while taken RAR >3.17 as the threshold, the sensitivity was 100% and specificity was 94.50%. Taken PSV >310.53 cm/s as the diagnostic threshold of intra-stent diameter stenosis ratio >70%, the sensitivity and specificity were both 100%, while taken RAR >4.33 as the threshold, the sensitivity and specificity were both 100%. **Conclusion** Ultrasonic Doppler flow velocity had high efficacy in diagnosing in-stent restenosis after renal artery stenting in patients with severe ARAS.

[**Keywords**] renal artery stenosis; atherosclerosis; stents; ultrasonography, Doppler; blood flow velocity

**DOI**: 10.13929/j.issn.1672-8475.2022.01.003

[**基金项目**] 北京医院临床研究"121 工程"资助项目(BJ-2018-198)、中国医学科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费资助项目(2019PT320012)。

[**第一作者**] 王思宇(1988—),女,北京人,硕士,主治医师。研究方向:血管超声。E-mail: wangsiyu365@163.com

[**通信作者**] 任俊红,国家老年医学中心 中国医学科学院老年医学研究院 北京医院医学超声科,100730。E-mail: rjh18612300581@126.com

[**收稿日期**] 2021-07-28　[**修回日期**] 2021-10-09

# 超声多普勒血流速度诊断肾动脉支架植入术后支架内再狭窄

王思宇[1],孙由静[1],马 娜[1],刘志文[1],张玥伟[1],纪献浦[1],
艾 虎[2],任俊红[1*],李拥军[3]
(1.国家老年医学中心 中国医学科学院老年医学研究院 北京医院超声医学科,
2.心内科,3.血管外科,北京 100730)

[**摘 要**] **目的** 分析超声多普勒血流速度诊断支架植入术治疗重度粥样硬化性肾动脉狭窄(ARAS)术后支架内再狭窄的价值。**方法** 回顾性分析 85 例(94 条肾动脉)肾动脉支架植入术后重度 ARAS 患者,根据术后 12 个月超声造影(CEUS)所示支架内径狭窄比判定狭窄程度,以<30%为无再狭窄,30%~50%为轻度再狭窄,51%~70%为中度再狭窄,>70%为重度再狭窄;对比其支架内收缩期峰值血流速度(PSV)及肾动脉 PSV 与腹主动脉 PSV 比值(RAR)。采用受试者工作特征(ROC)曲线分析 PSV、RAR 对支架内再狭窄的诊断价值。**结果** 94 条植入支架后肾动脉中,术后 12 个月 2 条支架闭塞。92 条未闭塞动脉中,58 条无再狭窄,15 条轻度再狭窄,11 条中度再狭窄,8 条重度再狭窄。不同程度再狭窄肾动脉支架内 PSV 及 RAR 差异均有统计学意义($P$ 均<0.01),且 PSV、RAR 随狭窄程度增高而逐渐加大($P$ 均<0.05)。以 PSV>162.50 cm/s 作为判断支架内径狭窄比>30%的阈值,其敏感度、特异度均为 100%;以 RAR>2.28 作为阈值,敏感度为 100%,特异度为 96.60%。对于支架内径狭窄比>50%,以 PSV>219.55 cm/s 作为诊断阈值,其敏感度为 100%,特异度为 98.60%;以 RAR>3.17 作为阈值,敏感度为 100%,特异度为 94.50%。以 PSV>310.53 cm/s 作为支架内径狭窄比>70%的诊断阈值,敏感度为 100%,特异度为 100%;以 RAR>4.33 作为阈值,敏感度为 100%,特异度为 100%。**结论** 超声多普勒血流速度对于诊断肾动脉支架植入术治疗重度 ARAS 术后支架内再狭窄的效能较高。

[**关键词**] 肾动脉狭窄;动脉粥样硬化;支架;超声检查,多普勒;血流速度
[**中图分类号**] R543.5;R445.1 [**文献标识码**] A [**文章编号**] 1672-8475(2022)01-0012-05

目前肾动脉支架植入术是治疗重度粥样硬化性肾动脉狭窄(atherosclerotic renal artery stenosis,ARAS)的首选方式,可重建血流、维持肾功能并降低血压[1];但术后内膜增生或新生斑块可致支架内再狭窄[2],使肾功能恶化或致高血压,且药物难以控制。DSA 是诊断支架内再狭窄的金标准,但为有创操作;CT 血管造影(CT angiography,CTA)无创,但存在辐射损伤可能,且易受伪影影响。超声无创、无辐射,可直观观察支架内情况,现已成为肾动脉支架植入术后复查的首选方法。目前对于支架内再狭窄的超声流速诊断标准尚未统一[3]。前期研究[4-6]已证实超声造影(contrast-enhanced ultrasound,CEUS)诊断肾动脉狭窄的准确率与 DSA 相当。本研究以 CEUS 作为判断支架内再狭窄程度的标准,观察超声多普勒血流速度对肾动脉支架植入术治疗重度 ARAS 术后支架内再狭窄的诊断价值。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2017 年 7 月—2020 年 7 月 85 例于北京医院接受肾动脉支架植入术的重度 ARAS 患者,男 68 例,女 26 例,年龄 62~89 岁,平均(73.3±6.4)岁;其中 78 例接受单侧(左侧 46 例、右侧 32 例)、8 例接受双侧肾动脉支架植入术,共对 94 条肾动脉植入支架。纳入标准:①符合重度 ARAS 诊断标准(DSA 示肾动脉直径狭窄比>70%),狭窄均位于肾动脉开口处;②于肾动脉开口处植入球囊扩张式裸支架(Boston Scientific);③术后 12 个月内接受常规超声及 CEUS 检查。排除标准:①单纯原发性高血压;②合并严重心、肺功能障碍;③对超声造影剂过敏;④合并晚期恶性肿瘤;⑤孕妇及哺乳期患者。本研究于中国临床试验注册中心注册(ChiCTR1800016252),并获本院伦理委员会审核批准(2018BJYYEC-043-02)。

1.2 仪器与方法 采用 Canon Aplio i800 及 Samsung RS80A 超声诊断仪,腹部探头,频率 1~7 MHz。嘱患者侧卧,先以二维超声清晰显示肾动脉起始段,测量支架长度及内径,观察支架附壁有无异常回声;之后进入彩色多普勒模式,适当调整壁滤波与彩色增益,观察支架内、支架远端血流充盈情况,尽量使声束方向平行于支架长轴,取样线方向与支架长轴或支架内彩色血流方向一致,测量收缩期峰值血流速度(peak systolic velocity,PSV),并于双侧肾动脉开口水平测量腹主动

脉 PSV，计算肾动脉 PSV 与腹主动脉 PSV 比值(ratio of renal artery PSV to abdominal aortic PSV，RAR)。行 CEUS，启动造影条件，选择机械指数 0.08，增益(Canon 65 dB，Samsung 42 dB)，每次团注造影剂 1.0 ml(声诺维，Bracco)；动态观察并存储声像图，逐帧回放视频，选取动脉期图像，计算支架内径狭窄比：内径狭窄比＝支架内声束最窄处宽度/支架远端正常段肾动脉声束宽度×100%，以内径狭窄比＜30%为无再狭窄，30%～50%为轻度再狭窄，51%～70%为中度再狭窄，＞70%为重度再狭窄，支架内无造影剂通过为支架闭塞。

1.4　统计学分析　采用 SPSS 22.0 统计分析软件。以 $\bar{x}\pm s$ 表示正态分布的计量资料，采用单因素方差分析进行多组间比较，两两比较采用 *LSD-t* 检验；以 $\chi^2$ 检验比较计数资料。以 CEUS 检测结果作为判断支架内再狭窄的标准，计算 PSV、RAR 的诊断敏感度、特异度；采用受试者工作特征(receiver operating characteristic，ROC)曲线分析各指标对支架内再狭窄的诊断效能。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2　结果

术后 12 个月 CEUS 结果显示，94 条植入支架后的肾动脉中，2 条支架闭塞，将 92 条未闭塞动脉纳入研究，包括 58 条无再狭窄、15 条轻度再狭窄、11 条中度再狭窄(图 1)及 8 条重度再狭窄。

2.1　不同再狭窄程度肾动脉支架内 PSV、RAR 比较　不同再狭窄程度肾动脉支架内 PSV 及 RAR 差异均有统计学意义($P$ 均＜0.01)，且 PSV、RAR 随狭窄程度增高而逐渐加大($P$ 均＜0.05)，见表 1。

2.2　支架内 PSV、RAR 诊断支架内再狭窄的效能　对于判断支架内径狭窄比＞30%者，以 PSV＞162.50 cm/s作为诊断阈值，约登指数为 1，敏感度为 100%，特异度为 100%；以 RAR＞2.28 作为阈值，约登指数为 0.966，敏感度为 100%，特异度为 96.60%。

判断支架内径狭窄比＞50%时，以 PSV＞219.55 cm/s作为阈值，约登指数为 0.986，敏感度为 100%，特异度为 98.60%；以 RAR＞3.17 作为阈值，约登指数为 0.945，敏感度为 100%，特异度为 94.50%。

判断支架内径狭窄比＞70%时，以 PSV＞310.53 cm/s作为诊断阈值，约登指数为 1，敏感度为 100%，特异度为 100%；以 RAR＞4.33 作为诊断阈值，约登指数为 1，敏感度为 100%，特异度为 100%。见表 2 及图 2。

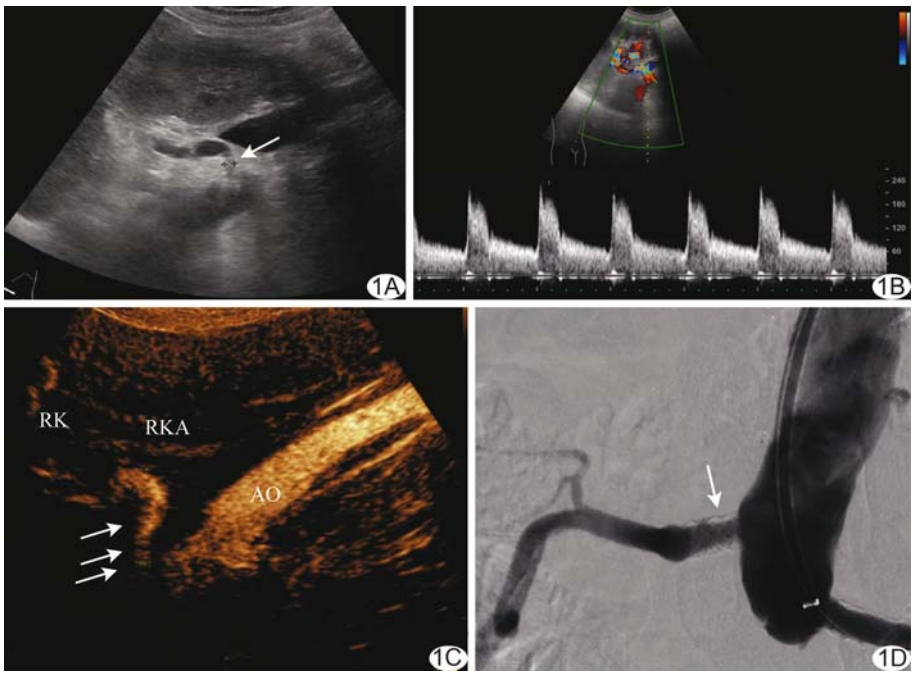



**图 1**　患者男，79 岁，支架植入术治疗右侧 ARAS 术后 12 个月，右肾动脉支架内中度再狭窄　A. 二维超声声像图示右肾动脉支架内透声差(箭)；B. 频谱多普勒图示支架内 PSV＝237.06 cm/s；C. CEUS 图示支架内径狭窄比 59.39%(箭)；D. DSA 证实右肾动脉支架内中度再狭窄(狭窄率为 60%，箭)　[RK：右肾(right kidney)；RKA：右肾动脉(right kidney artery)；AO：腹主动脉(aortaventralis)]

表 1　支架植入术治疗重度 ARAS 术后支架内不同再狭窄程度肾动脉 PSV 及 RAR 比较($\bar{x}\pm s$，$n$＝92)

| 再狭窄程度 | PSV(cm/s) | RAR |
|---|---|---|
| 无再狭窄($n$＝58) | 109.03±23.84 | 1.66±0.42 |
| 轻度再狭窄($n$＝15) | 197.80±12.67 | 2.88±0.40 |
| 中度再狭窄($n$＝11) | 260.81±20.19 | 3.64±0.31 |
| 重度再狭窄($n$＝8) | 415.37±72.03 | 5.68±0.78 |
| $F$ 值 | 238.90 | 61.41 |
| $P$ 值 | ＜0.01 | ＜0.01 |

注：不同狭窄程度肾动脉参数两两比较 $P$ 均＜0.05

表 2　支架植入术治疗重度 ARAS 术后肾动脉支架内 PSV、RAR 对不同程度再狭窄的诊断效能

| 参数 | 阈值 | 约登指数 | 标准误 | 敏感度(%) | 特异度(%) | AUC | 95%*CI* | *P* 值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PSV | | | | | | | | |
| 内径狭窄比＞30% | 162.50 cm/s | 1 | ＜0.001 | 100 | 100 | 1 | (1.000，1.000) | ＜0.001 |
| 内径狭窄比＞50% | 219.55 cm/s | 0.986 | 0.001 | 100 | 98.60 | 1 | (0.998，1.000) | ＜0.001 |
| 内径狭窄比＞70% | 310.53 cm/s | 1 | ＜0.001 | 100 | 100 | 1 | (1.000，1.000) | ＜0.001 |
| RAR | | | | | | | | |
| 内径狭窄比＞30% | 2.28 | 0.966 | 0.007 | 100 | 96.60 | 0.993 | (0.979，1.000) | ＜0.001 |
| 内径狭窄比＞50% | 3.17 | 0.945 | 0.008 | 100 | 94.50 | 0.991 | (0.976，1.000) | ＜0.001 |
| 内径狭窄比＞70% | 4.33 | 1 | ＜0.001 | 100 | 100 | 1 | (1.000，1.000) | ＜0.001 |

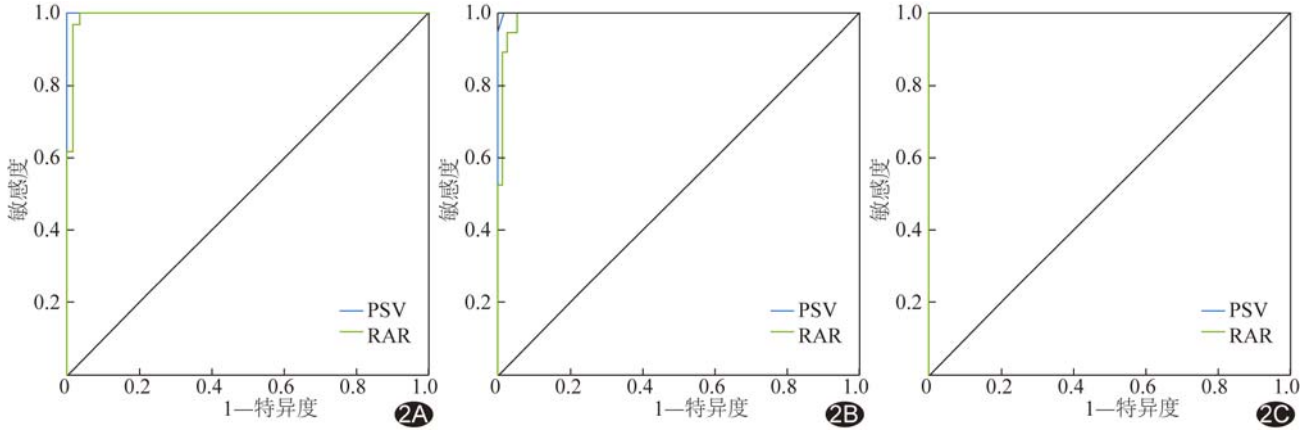



**图 2**　支架内 PSV、RAR 诊断支架内再狭窄的 ROC 曲线　A. 内径狭窄比＞30%；B. 内径狭窄比＞50%；C. 内径狭窄比＞70%

## 3　讨论

植入肾动脉支架后，常依据肾功能改变或血压是否降低评价其治疗效果，而支架内再狭窄对肾功能及血压的影响常被忽略[7]。目前超声是肾动脉支架植入术后复查的首选影像学检查方法。既往认为肾动脉 PSV＞150.00 cm/s 提示其内径狭窄比＞50%，PSV＞180.00 cm/s提示起内径狭窄比＞60%[8]；但植入支架后，肾动脉血流速度较前有所提高[9]，且当前以血流速度诊断肾动脉植入支架术后再狭窄的标准尚未统一 。

美国心血管造影和介入学会发布的肾动脉支架植入术专家共识[10]指出，血管造影显示肾动脉狭窄＞70%为重度狭窄，50%～70%为中度狭窄，＜50%为轻度狭窄。本研究以 CEUS 所示肾动脉支架内径狭窄比＜30% 为无再狭窄，30% ～ 50% 为轻度再狭窄，51%～70%为中度再狭窄，＞70%为重度再狭窄，并进行分组观察；ROC 曲线结果显示，诊断重度 ARAS 肾动脉支架植入后内径狭窄比＞50% 的 PSV 阈值为 219.55 cm/s、RAR 阈值为 3.17，与既往国外相关研究[11]结果近似。BAKKER 等[11]提出对于肾动脉支架植入后内径狭窄比＞50% 的 PSV 最佳阈值为 226.00 cm/s，RAR 最佳阈值为 2.70，二者的诊断敏感度均为 100%，特异度分别为 89.5% 和 84.2%。ROCHA-SINGH 等[12]以 PSV ＞ 225.00 cm/s 或 RAR＞3.50 为阈值，其诊断内径狭窄比＞50%的敏感度为 83%、特异度为 92%。

MOHABBAT 等[13]报道，以 PSV＞280.00 cm/s 或 RAR＞4.5 诊断支架植入术后再狭窄比＞60%的敏感度分别为 93% 和 83%，特异度分别为 100% 和 89%。Del CONDE 等[14]以 PSV ＞ 296.00 cm/s、RAR＞4.4 诊断支架内径狭窄比＞60%的敏感度分别为 75%和 64%，特异度分别为 98% 和 98%。本研究中以 PSV＞310.53 cm/s 或 RAR＞4.33 作为支架内径狭窄比＞70%的诊断阈值，其敏感度与特异度均为 100%。

本研究与上述研究[13-14]所用 PSV、RAR 诊断阈值均较传统标准[8]有所提高。目前对于支架植入术后血流速度升高的原因尚无定论。有学者[13]认为植入金属支架后血管本身的顺应性降低，血流能量以血流速度增加的形式加以代偿；且血管本身弹性亦有所降低，血管向外扩展力减弱或丧失，后期支架内内膜增生或新生动脉粥样硬化斑块形成，管腔狭窄更甚于未植入支架前，导致血流速度明显增高。

本研究中 PSV 诊断支架内径狭窄比＞30%及＞50%的效能均稍好于 RAR，可能原因在于腹主动脉血

流速度受较多因素影响，如心功能、腹主动脉本身狭窄或扩张病变、远端肢体血流供应改变等，故 RAR 诊断再狭窄的准确性逊于 PSV。

综上，超声多普勒血流速度诊断肾动脉支架植入术治疗重度 ARAS 术后支架内再狭窄的效能较高；对此类患者建议采用超声多普勒定期复查，一旦发现重度再狭窄，应及早进行支架内重建，以保留肾功能。但本研究以 CEUS 而非金标准 DSA 诊断支架内再狭窄，且超声检查结果与设备敏感度和操作者主观因素等密切相关，有待进一步观察。

## [参考文献]


[1] NOORY E, SRITHARAN K, ZELLER T, et al. To stent or not to stent? Update on revascularization for atherosclerotic renovascular disease[J]. Curr Hypertens Rep, 2016, 18(6): 45.

[2] 潘长江，唐家驹，王进，等. 血管支架内再狭窄的机理研究进展[J]. 中国介入影像与治疗学，2005，2(4)：314-317.

[3] PRINCE M, TAFUR J D, WHITE C J, et al. When and how should we revascularize patients with atherosclerotic renal artery stenosis?[J]. JACC Cardiovasc Inte, 2019, 12(6): 505-517.

[4] 任俊红，马娜，王思宇，等. 超声造影和数字剪影血管造影对肾动脉狭窄的诊断价值比较[J]. 中华医学杂志，2019，99(3)：209-211.

[5] 马娜，王思宇，孙由静，等. 超声造影评价疑诊肾动脉狭窄患者副肾动脉的价值[J]. 中华医学杂志，2019，99(11)：838-840.

[6] 任俊红，王思宇，马娜，等. 超声造影评价老年肾动脉狭窄患者的临床价值[J]. 中华老年医学杂志，2018，37(3)：276-279.

[7] NAPOLI V, PINTO S, BARGELLINI I, et al. Duplex ultrasonographic study of the renal arteries before and after renal artery stenting[J]. Eur Radiol, 2002, 12(4): 796-803.

[8] 王健，王亚红，李建初. 肾动脉狭窄规范化超声检查[J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版)，2018，15(10)：721-740.

[9] 王莹，王亚红，张怡璇，等. 肾动脉支架置入术后支架内再狭窄的影像学研究进展[J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版)，2018，15(10)：741-743.

[10] PARIKH S A, SHISHEHBOR M H, GRAY B H, et al. SCAI expert consensus statement for renal artery stenting appropriate use[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2014, 84(7): 1163-1171.

[11] BAKKER J, BEUTLER J J, ELGERSMA O E, et al. Duplex ultrasonography in assessing restenosis of renal artery stents[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 1999, 22(6): 475-480.

[12] ROCHA-SINGH K, JAFF M R, LYNNE KELLEY E, et al. Renal artery stenting with noninvasive duplex ultrasound follow-up: 3-year results from the RENAISSANCE renal stent trial[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2008, 72(6): 853-862.

[13] MOHABBAT W, GREENBERG R K, MASTRACCI T M, et al. Revised duplex criteria and outcomes for renal stents and stent grafts following endovascular repair of juxtarenal and thoracoabdominal aneurysms[J]. J Vasc Surg, 2009, 49(4): 827-837.

[14] Del CONDE I, GALIN I D, TROST B, et al. Renal artery duplex ultrasound criteria for the detection of significant in-stent restenosis[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2014, 83(4): 612-618.


# 三线表的规范格式

▲表序和表题：表序即表格的序号，一篇论文中如只有 1 个表格，则表序编为表 1，表题即表格的名称，应准确得体并能确切反映表格的特定内容且简短精练。

▲项目栏：指表格顶线与栏目线之间的部分，栏目是该栏的名称，反映了表身中该栏信息的特征或属性。

▲表身：三线表内底线以上，栏目线以下的部分叫作表身，是表格的主体表身内的数字一般不带单位，百分数也不带百分号，均归并在栏目中表身中不应有空项，如确系无数字的栏，应区别情况对待，在表注中简要说明，不能轻易写“0”或画“—”线等填空，因“—”可代表阴性反应，“0”代表实测结果为零。

▲表注：必要时，应将表中的符号标记代码，以及需要说明的事项，以最简练的文字，横排于表题下作为表注也可附注于表下。