❖影像技术学

Application of individually optimized software P3T-PA for injection of contrast medium in CT pulmonary angiography

*DOU Ruiyu, ZHANG Lijun, LI Xiang, SUN Wenjing, FAN Zhanming**

(*Department of Radiology, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing* 100029, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To evaluate the application of individually optimized software P3T-PA for injection of contrast medium in CT pulmonary angiography (CTPA). **Methods** According to the random table, a total of 80 patients with suspected pulmonary embolism who underwent CTPA were divided into P3T group (n=40) and control group (n=40). P3T group used P3T-PA software for injection the contrast medium and control group used the routine mode. The parameters including CT value and standard deviation (SD) in the different level of pulmonary artery (main pulmonary artery, left and right pulmonary artery, left and right inferior basal segment pulmonary artery) and left atrium CT value were measured. The difference of CT value between main pulmonary artery and left atrium (MPACTv−LACTv), the SNR and CNR of bilateral inferior basal segment pulmonary artery were calculated. The amount of contrast agent, injection rate and delay time were recorded. The statistics analysis was performed for the two groups. **Results** There were no significant differences in CT value and SD of different level of pulmonary artery, MPACTv−LACTv, SNR and CNR between both groups (all P>0.05). The injection rate and delay time had no significant differences between P3T group and control group ([4.76±0.50]ml/s vs [4.69±0.40]ml/s, P=0.521, [13.18±1.81]s vs [14.15±4.38]s, P=0.198). The amount of contrast agent of P3T group was less than that of control group ([37.93±3.86]ml vs [49.27±6.76]ml, P<0.001). **Conclusion** The use of P3T-PA individually optimized software in CTPA is operated easily and accurately for calculating the contrast agent to reduce the amount of it, and can get the satisfied image quality.

[**Key words**] Tomography, X-ray computed; Pulmonary artery; Angiography; Contrast media

DOI: 10.13929/j.1003-3289.2016.10.028

个体化注射对比剂软件 P3T-PA 在 CT 肺动脉成像中的应用

窦瑞雨，张丽君，李　想，孙文静，范占明*

（首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科，北京　100029）

[**摘　要**] **目的**　评估采用个体化对比剂注射软件 P3T-PA 进行 CT 肺动脉成像(CTPA)的可行性。**方法**　将 80 例临床疑似肺动脉栓塞行 CTPA 检查患者按随机表分为两组：P3T 组(n=40)，采用 P3T-PA 个性化对比剂注射软件，常规组(n=40)，采用常规对比剂注射方案。测量各级肺动脉(肺动脉主干、左肺动脉、右肺动脉、左下肺动脉基底支、右下肺动脉基底支)CT 值及 CT 值标准差(SD)、左心房 CT 值(LACTv)，计算肺动脉主干(MPACTv)CT 值与 LACTv 差值(MPACTv−LACTv)及两下肺动脉基底支 SNR、CNR，记录对比剂注射流速、用量及扫描延迟时间，并进行统计学分析。**结果**　两组各级肺动脉 CT 值、SD 值、MPACTv−LACTv 及两下肺动脉基底支 SNR、CNR 差异均无统计学意义(P 均>0.05)；P3T 组和常规组对比剂注射流速、扫描延迟时间差异无统计学意义[(4.76±0.50)ml/s vs (4.69±0.40) ml/s, P

[**第一作者**] 窦瑞雨(1982—)，男，北京人，本科，主治医师。研究方向：心肺血管影像诊断。E-mail: douruiyu@163.com

[**通信作者**] 范占明，首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科，100029。E-mail: fanzm120@126.com

[**收稿日期**] 2016-04-20　[**修回日期**] 2016-08-03

＝0.521；(13.18±1.81)s vs(14.15±4.38)s，P＝0.198]；P3T 组对比剂用量较常规组少[(37.93±3.86)ml vs (49.27±6.76)ml，P<0.001]。**结论**　采用 P3T-PA 个体化对比剂注射软件行 CTPA 检查，操作简便，可精确计算对比剂用量，对比剂用量减少且图像质量良好。

[**关键词**]　体层摄影术，X 线计算机；肺动脉；血管造影术；对比剂

[**中图分类号**]　R814.42　　[**文献标识码**]　A　　[**文章编号**] 1003-3289(2016)10-1582-05

近年来，随着 MSCT 技术的发展，CT 肺动脉成像(CT angiography of pulmonary artery，CTPA)已作为一种无创性的常规检查方法，用于肺动脉栓塞的诊断[1]。临床将应用对比剂后导致的急性肾功能不全称为对比剂肾病(contrast induced nephropathy，CIN)，CIN 是 CTPA 较严重的并发症，降低对比剂用量可减少 CIN 的发生率[2-3]。P3T-PA 注射软件是 CTPA 检查中的一个模块，用于优化 CTPA 中对比剂用量的注射方案。本研究探讨采用 P3T-PA 注射软件在 CTPA 中的可行性和在降低对比剂用量中的价值。

1　资料与方法

1.1　一般资料　收集 2015 年 4 月—11 月于我院接受 CTPA 检查的患者 80 例，按随机表分为两组：P3T 组 40 例，男 18 例，女 22 例，年龄 31～83 岁，平均(61.5±14.0)岁，体质量(70.78±11.30)kg；常规组 40 例，男 19 例，女 21 例，年龄 12～85 岁，平均(58.2±16.7)岁，体质量(72.6±13.5)kg。检查前全部受检者均签署知情同意书，排除碘过敏、严重心力衰竭、肾功能不全者。

1.2　仪器与方法　采用 Siemens Somatom Definition Flash 双源 CT 机，扫描范围由胸廓入口至后肋膈角，方向由足至头。管电压 100 kV，采用管电流调制技术(CareDose 4D，80～180 mAs)，机架转速 0.28 秒/转，螺距 2.2，检查扫描时间约 1 s；采用原始数据迭代重建 (sinogram-affirmed iterative reconstruction，SAFIRE)，重建层厚 1 mm，层间隔 0.6 mm，窗卷积核 I30f。采用 MEDRAD 双筒高压注射器经肘正中静脉注射对比剂优维显(370 mgI/ml)，后以相同流率跟注生理盐水 15 ml。

两组 CTPA 扫描前先行小剂量对比剂团注测试(TBT)。P3T 组：将患者体质量输入 P3T 软件自动生成注射流速；常规组：根据患者体质量指数(body mass index，BMI)选择注射流速：4.0 ml/s(BMI＜18 kg/m^2)、4.5 ml/s(BMI 18～23 kg/m^2)、5.0 ml/s(BMI ＞23～28 kg/m^2)、5.5 ml/s(BMI＞28 kg/m^2)。选择肺动脉主干、左心房层面为监测 ROI(图 1)，对比剂注射开始后延时 4 s，后每隔 1 s 进行 ROI 监测扫描，采用 DynEva 法分别获得肺动脉主干、左心房时间-密度曲线(time-density curve，TDC)，见图 2。

CTPA 扫描：将 P3T 组扫描时间、对比剂浓度、肺动脉主干达峰时间输入 P3T-PA 软件后自动计算对比剂用量及扫描延迟时间(图 3)。将常规组肺动脉主干、左心房 TDC(DynEva 方法)交叉点的时间设为 CTPA 检查的延时扫描时间，扫描时对比剂用量＝注射流速×(延迟扫描时间－生理盐水 30 ml/注射流速)。

1.3　数据分析　由 2 名有 8～10 年工作经验的主治医师采用双盲法独立评价 CTPA 图像，意见有分歧时经协商取得一致。分别测量、记录两组患者各级肺动脉 CT 值、标准差(SD 值)及两下肺动脉基底支同层面

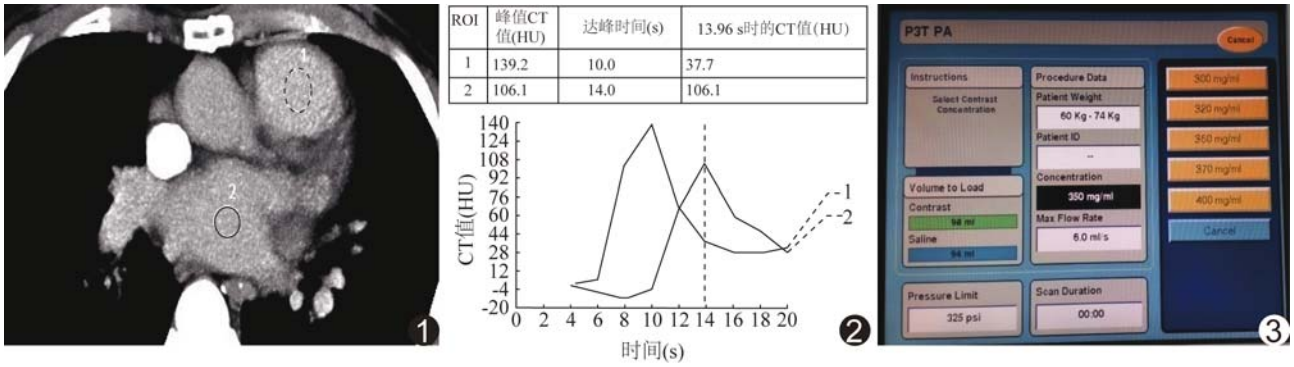

图 1　TBT 监测 ROI 肺动脉主干(ROI1)和左心房(ROI2)　**图 2**　肺动脉主干-左心房 TDC　曲线 1 为肺动脉主干检测层面 TDC，肺动脉主干达峰时间 10 s；曲线 2 为左心房检测层面 TDC，左心房达峰时间 14 s；两者交叉点为 12 s　**图 3**　P3T-PA 软件界面　体质量、对比剂含碘浓度、扫描时间的选择

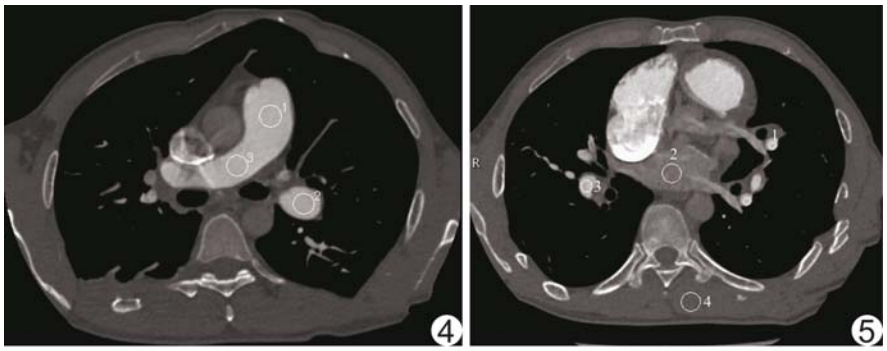

图 4　患者男，48 岁，肺动脉栓塞溶栓治疗后 2 周复查　肺动脉主干(ROI1)CT 值 603.1 HU、SD 值 14.3；左肺动脉(ROI2)CT 值 549.7 HU、SD 值 15.3 HU；右肺动脉(ROI3)CT 值 584.4 HU、SD 值 20.8 HU　**图 5**　患者男，48 岁，肺动脉栓塞溶栓治疗后 2 周复查　左下肺动脉后基底支(ROI1)CT 值 520.9 HU、SD 值 26.3 HU；左心房 ROI2 CT 值 180.1HU、SD 值 29.8 HU；右下肺动脉后基底支(ROI3)CT 值 500.3 HU、SD 值 29.4 HU；背部肌肉(ROI4)CT 值 60.3 HU、SD 值 13.9 HU

背部肌肉 CT 值、左心房 CT 值，选取肺动脉主干、左肺动脉、右肺动脉、左心房、背部肌肉组织为 ROI(面积 1.4～1.6 cm^2)，两下肺动脉基底支 ROI 占正常管腔 2/3 截面积(图 4、5)。计算肺动脉主干 CT 值(CT value of main pulmonary artery，MPACTv)与左心房 CT 值(CT value of left atrium，LACTv)差值(MPACTv－LACTv)，两下肺动脉基底支 SNR＝肺动脉 CT 值/背部肌肉 SD、CNR＝(肺动脉 CT 值－背部肌肉 CT 值)/背部肌肉 SD，以各级肺动脉 SD 值、CNR、SNR 评价图像噪声[4]。

1.4　统计学分析　采用 SPSS 19.0 统计分析软件，计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，两组数据采用独立样本 t 检验，$P<0.05$ 为差异有统计学意义。观察者间一致性采用 $Kappa$ 检验($Kappa\geq0.75$ 一致性好，$0.75>Kappa\geq0.4$ 一致性一般，$Kappa<0.4$ 一致性差)。

2　结果

80 例患者中，CTPA 检查共检出肺动脉栓塞 36 例、先天性心脏病 4 例(房间隔缺损 3 例、部分型肺静脉异位引流 1 例)、大动脉炎 2 例、肺动静脉瘘 2 例、心力衰竭 2 例、特发性肺动脉高压 2 例、左心房黏液瘤 1 例、左心室横纹肌肉瘤 1 例；2 例检查失败，其中 P3T 组 1 例为子宫静脉内平滑肌瘤病(侵入右心房)，常规组 1 例为对比剂外渗致无诊断结果；余 28 例未见明确异常。两组间性别、年龄、体质量差异均无统计学意义($P=0.05$、0.338、0.512)。

两下肺动脉基底支 CT 值分布：P3T 组 32 例 CT 值≥300 HU、3 例 CT 值 250～＜300 HU、4 例 CT 值 200～＜250 HU、1 例 CT 值＜200 HU；常规组 32 例 CT 值≥300 HU、5 例 CT 值 250～＜300 HU、2 例 CT 值 200～＜250 HU、1 例 CT 值＜100 HU；除外 2 例因 CT 值＜200 HU 检查失败以外，余 78 例图像满足诊断要求。P3T 组和常规组 CT 值分布观察者间的一致性良好($Kappa=0.82$、0.84)。

两组各级肺动脉 CT 值、SD 值及 MPACTv－LACTv，两下肺动脉基底支 CNR、SNR，差异均无统计学意义(P 均＞0.05)，见表 1。P3T 组和常规组扫描延迟时间、对比剂注射流速差异无统计学意义[(13.18±1.81)s vs (14.15±4.38)s，$P=0.198$；(4.76±0.50)ml/s vs (4.69±0.40)ml/s，$P=0.521$]。P3T 组对比剂用量明显低于常规组[(37.93±3.86)ml vs (49.27±6.76)ml，$P<0.001$]。

3　讨论

MSCT 肺动脉成像因其安全、快速、经济、准确等优势，成为诊断疑似肺动脉栓塞的首选检查方式[4-5]，但大量碘对比剂的应用，有导致 CIN 的风险。CIN 相关危险因素有：①患者因素，包括糖尿病、慢性肾脏疾病、充血性心力衰竭、急性心肌梗死、老年人(＞70 岁)；②对比剂因素，包括高渗性对比剂、大剂量应用对比剂、短时间多次应用碘对比剂等[6]。有报道[7]认为肾功能不全、糖尿病等高危人群中，CIN 发生率与对比剂用量呈正相关，因此保证 CTPA 图像质量的同时，降低 CIN 发生率和辐射剂量成为目前关注的焦点[3,8-9]。采用 P3T-PA 个体化注射软件，可精确计算对比剂用量，在保证图像质量的同时，合理减少对比剂用量。

本研究采用低管电压 100 kV，管电流调制技术(CareDose 4D)，有效减低了辐射剂量，同时应用 SAFIRE 技术，CTPA 的图像质量提高[10]。通过加大扫描螺距使扫描时间缩短为 1 s，对比剂用量也相应减少；Bae[11]证实 CTPA 时，对于相同强化程度的肺动脉，低管电压(100 kV)较高管电压(120 kV)可减少对比剂用量。因此本研究扫描参数的设定，理论上可减少对比剂用量并保证图像质量。

目前 CTPA 对比剂用量无统一标准，本研究常规组对比剂用量的计算公式是根据对比剂由肘正中静脉到达肺动脉时间约 7～10 s[11]、追加生理盐水约 6.0～7.5 s(30 ml 生理盐水，注射流速 4.0～5.0 ml/s)，与

表 1 两组不同部位图像质量分析($\bar{x}\pm s$)

组别	MPA		LPA		RPA		左下肺基底支	
	CT 值(HU)	SD	CT 值(HU)	SD	CT 值(HU)	SD	CT 值(HU)	SD
P3T 组	331.51±85.36	19.75±3.48	318.69±84.83	21.10±4.78	317.78±82.41	22.14±4.67	344.75±106.87	20.27±4.95
常规组	356.84±79.90	20.30±3.84	341.40±77.25	20.90±3.84	337.73±75.68	23.00±4.90	376.15±96.06	21.40±6.42
t 值	−1.379	−0.622	−1.271	−0.185	−1.135	−0.075	−1.392	−0.886
P 值	0.172	0.536	0.207	0.854	0.260	0.441	0.168	0.378

组别	右下肺基底支		左下肺基底支		右下肺基底支		MPACTv−LACTv(HU)
	CT 值(HU)	SD	SNR	CNR	SNR	CNR	
P3T 组	343.10±102.24	21.08±4.50	17.89±3.32	15.64±6.08	17.20±8.42	15.56±5.99	173.32±102.81
常规组	337.73±75.68	22.85±8.27	18.86±6.58	17.10±7.77	17.51±5.35	16.76±6.99	188.14±94.81
t 值	−1.360	−1.193	−0.670	−0.940	−0.194	−0.824	−0.675
P 值	0.178	0.236	0.505	0.350	0.846	0.412	0.502

Saade 等[12]所用公式[对比剂用量=(扫描时间+达峰时间−6)×注射流速]相近。CTPA 检查对比剂用量一般为 50～100 ml[5,13],Lu 等[14]采用大螺距、低管电压(80 kV),固定对比剂用量(20 ml),所获 CTPA 图像可满足诊断要求。但肺动脉的强化程度与受检者体质量、对比剂用量、注射流速、对比剂注射持续时间及心输出量、血液循环等因素相关[11]。P3T-PA 个体化注射方案是对靶血管对比剂强化程度进行一系列药代动力学模拟获得,因此较固定对比剂用量更合理。尽管 TBT 法较对比剂跟踪法额外多注射 15 ml(对比剂用量统计结果中未计算在内),但 TBT 法扫描触发时间点选择更精确,CTPA 图像质量、扫描成功率也更高。本研究 P3T 组对比剂用量较常规组减少约 23.03%,两组肺动脉图像质量(CT 值、SD 值、CNR、SNR)差异无统计学意义。

采用 P3T-PA 软件时,只需输入受检者体质量、对比剂浓度、扫描时间及 TBT 达峰时间,即可获得个体化的注射流速、对比剂用量和扫描延迟时间。本研究两组对比剂注射流速、扫描延迟时间差异无统计学意义,但 P3T 组操作更简便,且减少对比剂用量后,可降低头臂静脉、上腔静脉的对比剂浓度,减轻与之邻近的右肺动脉、右上肺动脉线束硬化伪影[12],既提高图像质量,又降低了 CIN 发生率。

有研究[15-16]显示急性肺动脉栓塞栓子 CT 值为(33±15)HU、慢性肺动脉栓塞栓子 CT 值为(87±31)HU,而当肺动脉的 CT 值大于 211 HU 时,肺动脉栓子则表现为低密度充盈缺损,即可明确诊断肺动脉栓塞。本研究 P3T 组中 35 例肺动脉强化程度≥250 HU,可满足诊断要求,4 例肺动脉各级分支(CT 值 200～<250 HU)中房间隔缺损 2 例、部分型心上型肺静脉异位引流 1 例、特发性肺动脉高压 1 例;1 例(CT 值<200 HU)为子宫静脉内平滑肌瘤病;上述患者肺动脉达峰时间>15 s,达峰时肺动脉 CT 值<81 HU,因部分 TDC 无明确峰值致扫描延迟时间计算存在误差。笔者分析造成肺动脉 CT 值偏低的原因有:①先天性心脏病所致左向右分流,肺动脉混合部分无对比剂的左心系统血液进而使对比剂浓度降低。②肺动脉高压致右心系统压力增加,对比剂经上腔静脉回流右心时间延迟(下腔静脉、肝静脉、颈背部小静脉对比剂充盈)致肺动脉对比剂浓度减低。③肺动脉瓣、三尖瓣反流致肺动静脉循环时间延长、肺动脉段及以下分支对比剂浓度低。P3T-PA 注射软件根据常规肺动静脉循环时间(2～4 s)及肺动脉主干达峰时间、浓度计算扫描延迟时间,因肺动静脉循环时间存在个体差异,肺动脉段级及以下分支达峰时间较肺动脉主干达峰时间延迟,P3T-PA 软件计算出的扫描延迟时间有时欠精确。

本研究的局限性:因老年体弱、长期糖尿病或多次接受化疗患者等多种因素致血管弹性差、阻力大,易导致对比剂外渗[17],P3T-PA 软件自动计算的对比剂流速,对 CTPA 检查时对比剂外渗预估不足;P3T-PA 个体化对比剂注射软件在更低管电压(80 kV)的对比剂用量和图像质量有待研究。

综上所述,CTPA 检查中采用 P3T-PA 个体化对比剂注射软件在不影响图像质量的前提下,操作简单方便,可自动计算个体化对比剂流速、用量,较常规方法减少对比剂用量。

[参考文献]

[1] 谢晓洁,邓亚敏,韩丹,等.双能量 CT 肺动脉造影中 Lung Vessels 软件诊断肺动脉栓塞.中国医学影像技术,2014,30(12):

1827-1830.
[2] Nash K, Hafeez A, Hou S. Hospital-acquired renal insufficiency. Am Kidney Dis, 2002,39(5):930-936.
[3] Sanei H, Hajian-Nejad A, Sajjadieh-Kajouei A, et al. Short term high dose atorvastatin for the prevention of contrast-induced nephropathy in patients undergoing computed tomography angiography. ARYA Atheroscler, 2014,10(5):252-258.
[4] Chen HL, Chen TW, Qiu LH, et al. Application of flash dual-source CT at low radiation dose and low contrast medium dose in triple-rule-out (tro) examination. Int Clin Exp Med, 2015, 8(11):21898-21905.
[5] Gill MK, Vijayananthan A, Kumar G, et al. Use of 100 kV versus 120 kV in computed tomography pulmonary angiography in the detection of pulmonary embolism: effect on radiation dose and image quality. Quant Imaging Med Surg, 2015,5(4):524-533.
[6] Stacul F, van der Molen AJ, Reimer P, et al. Contrast induced nephropathy: Updated ESUR Contrast Media Safety Committee guidelines. Eur Radiol, 2011,21(12):2527-2541.
[7] Davidson C, Stacul F, Mccullough PA, et al. Contrast medium use. Am Cardiol, 2006,98(6):42-58.
[8] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. N Engl Med, 2007, 357(22):2277-2284.
[9] Fazel R, Krumholz HM, Wang Y, et al. Exposure to low-dose ionizing radiation from medical imaging procedures. N Engl Med, 2009,361(9):849-857.
[10] Montet X, Hachulla AL, Neroladaki A, et al. Image quality of low mA CT pulmonary angiography reconstructed with model based iterative reconstruction versus standard CT pulmonary angiography reconstructed with filtered back projection: An equivalency trial. Eur Radiol, 2015,25(6):1665-1671.
[11] Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: Considerations and approaches. Radiology, 2010, 256(1):32-61.
[12] Saade C, Bourne R, El-Merhi F, et al. An optimised patient-specific approach to administration of contrast agent for CT pulmonary angiography. Eur Radiol, 2013,23(11):3205-3212.
[13] Sabel BO, Buric K, Karara N, et al. High-Pitch CT pulmonary angiography inthird generation dual-source CT: Image quality in an unselected patient population. PLoS One, 2016,11(2):e0146949.
[14] Lu GM, Luo S, Meinel FG, et al. High-pitch computed tomography pulmonary angiography with iterative reconstruction at 80 kVp and 20 mL contrast agent volume. Eur Radiol, 2014,24(12):3260-3268.
[15] Singh T, Lam KV, Murray C. Low volume contrast CTPA in patients with renal dysfunction. Med Imaging Radiat Oncol, 2011,55(2):143-148.
[16] Wittram C. How I do it: CT pulmonary angiography. AJR Am Roentgenol, 2007,188(5):1255-1261.
[17] 黄红云,罗莉,姚玲,等.CT 增强扫描注射对比剂渗漏原因分析.实用医院临床杂志,2015,12(6):60-62.

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做表身,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。