❖影像技术学

Effect on threshold of triggered angiographic acquisition of renal artery CTA by different iodine flow rate

KAN Xiaojing, GUO Ying, WEI Shufang, GAO Feifei, WANG Pengming, GE Yinghui*
(Department of Radiology, Henan Provincial People's Hospital, Henan University People's Hospital, Zhengzhou 450003, China)

[**Abstract**] **Objective** To evaluate the effect on threshold of triggered angiographic acquisition by different iodine flow rate on renal artery CTA using Smart Prep tracking technique. **Methods** A total of 420 patients were randomly divided into A—D group with iodine flow rate of 0.90 gI/s, 1.11 gI/s, 1.20 gI/s, 1.48 gI/s on average respectively. And each group were divided 7 subgroups with threshold 140—<150 HU, 150—<160 HU, 160—<170 HU, 170—<180 HU, 180—<190 HU, 190—<200 HU, 200—210 HU respectively. The quality of the images were graded from 1—5 by 2 radiologists. The best image quality subgroups were achieved, and the scores were compared among the best image quality subgroups. **Results** Image quality of renal CTA in each group were best performed with a threshold of 170—<190 HU, 160—<190 HU, 170—<180 HU, 160—<180 HU respectively. When the threshold were 170—<180 HU, image quality were good with all iodine flow rate groups. There was no significant difference among the scores of the best image quality subgroups (all $P>0.05$). **Conclusion** Different iodine flow rate with appropriate threshold can acquire better image quality of renal CTA.

[**Key words**] Renal artery; Tomography, X-ray computed; Angiography; Monitored-triggered technique
DOI: 10.13929/j.1003-3289.201611154

不同碘流率对肾动脉 CTA 图像最佳触发阈值的影响

阚晓婧，郭　潇，卫淑芳，高菲菲，王鹏铭，葛英辉*
（河南省人民医院 河南大学人民医院放射科，河南 郑州　450003）

[**摘　要**] **目的**　利用智能追踪(Smart Prep)技术探讨不同碘流率时肾动脉 CTA 的最佳触发阈值及其对肾 CTA 图像质量的影响。**方法**　随机选择临床需行肾动脉 CTA 检查的患者 420 例，利用 Smart Prep 技术进行扫描。将所有患者随机平均分入 A～D 组，碘流率分别为 0.90、1.11、1.20 和 1.48 gI/s。每组随机平均分为 7 个亚组，分别按照不同阈值扫描，各亚组触发阈值分别为 140～<150 HU、150～<160 HU、160～<170 HU、170～<180 HU、180～<190 HU、190～<200 HU 和 200～210 HU。采用 5 分制评分评价图像质量。分析各组的最佳阈值亚组，并进一步比较各最佳阈值亚组的图像质量的差异。**结果**　A～D 组中，最佳触发扫描阈值范围分别为 170～<190 HU、160～<190 HU、170～<180 HU 和 160～<180 HU。触发阈值为 170～<180 HU 时能够满足不同碘流率时肾动脉 CTA 的成像要求。各最佳阈值亚组间肾动脉 CTA 图像质量差异无统计学意义。**结论**　不同碘流率配合最佳扫描触发阈值可获得优良的肾 CTA 图像。

[**关键词**] 肾动脉；体层摄影术，X 线计算机；血管造影术；智能追踪技术
[**中图分类号**] R814.42；R322.61　[**文献标识码**] A　[**文章编号**] 1003-3289(2017)07-1076-04

64 排 CT 具有较高的时间分辨力和空间分辨力，在肾动脉 CTA 中具有很大优势，但在扫描技术方面却对操作者提出了较高要求，尤其在利用智能追踪(Smart Prep)技术进行个体化扫描时，如果扫描触发阈值选择不当则会造成扫描失败[1]。本研究探讨不同碘流率对应的最佳扫描阈值，并比较不同碘流率结合最佳触发阈值对于肾动脉 CTA 图像质量的影响，为

[**第一作者**] 阚晓婧(1981—)，女，河南洛阳人，博士，主治医师。研究方向：CT 技术临床应用。E-mail：15890089993@163.com
[**通信作者**] 葛英辉，河南省人民医院 河南大学人民医院放射科，450003。E-mail：cjr.geyinghui@vip.163.com
[**收稿日期**] 2016-11-30　[**修回日期**] 2017-04-04

减少对比剂用量提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2015 年 9 月—2016 年 9 月临床诊断为高血压并接受肾动脉 CTA、肾脏和肾上腺检查的患者 420 例,其中男 241 例,女 179 例,年龄 25～76 岁,平均(51.7±15.2)岁。将所有患者随机平均分为 4 组,每组 105 例,A 组碘流率为 0.90 gI/s(浓度 300 mgI/ml,速率 3 ml/s);B 组碘流率为 1.11 gI/s(浓度 370 mgI/ml,速率 3 ml/s);C 组碘流率为 1.20 gI/s(浓度 300 mgI/ml,速率 4 ml/s);D 组碘流率为 1.48 gI/s(浓度 370 mgI/ml,速率 4 ml/s)。每组随机平均分为 7 个亚组,每亚组 15 例,其触发阈值设定为 140、150、160、170、180、190、200 HU,因 CT 扫描仪时间分辨率的原因,实际阈值范围分别为 140～<150 HU、150～<160 HU、160～<170 HU、170～<180 HU、180～<190 HU、190～<200 HU 和 200～210 HU,将图像质量最佳的组作为最佳阈值亚组。本研究经医院伦理委员会审核通过,患者均签知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 GE LightSpeed VCT 64 排 CT 扫描仪,容积扫描模式。管电压 120 kV,采用自动毫安技术,电流 100～500 mA,噪声指数(noise index,NI)为 8,转速 0.8 s/rot,螺距 0.984。使用双筒高压注射器(Nemoto Dual Shot)注射对比剂。动脉期利用 Smart Prep 软件监控,扫描图像矩阵 512×512。实时显示的轴位图像重建层厚和层间距为 5 mm,重建层厚和重建间隔为 0.625 mm。Smart Prep 软件设置:监视延迟时间 15 s,诊断延迟时间 5 s,扫描间隔时间 1.4 s,触发阈值按照各亚组设定。平均辐射剂量为(11.07±3.58)mSv。

采用 GE ADW4.4 工作站,由 2 名经验丰富的影像诊断医师进行后处理并对 MIP 图像进行评分,意见有分歧时由另 1 名主任医师主持协商并记录最终评分。评分标准:1 分,扫描失败,图像无诊断价值;2 分,仅显示肾动脉主干且图像模糊,血管边缘不光滑,诊断可靠性低;3 分,显示肾动脉主干及其一级分支,血管边缘光滑;4 分,显示肾动脉主干及其一、二级分支,血管边缘光滑,三级分支模糊但数量≥5 支;5 分,显示肾动脉主干及其一、二和三级分支,血管边缘光滑,三级分支清晰且数量≥5 支。将双侧肾动脉评分较高者的评分做为该图像最终评分,图像质量最佳的组作为最佳阈值亚组。

1.3 统计学分析 采用 SAS 9.1.3 统计分析软件。各组间患者年龄、体质量指数及各亚组间图像评分均以 $\bar{x}\pm s$ 表示。采用 *Kruskal-Wallis* 秩和检验分析组间差异,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。各亚组评分差异有统计学意义时,选取评分均值最高组与其他组分别进行 *Mann-Whitney* 检验,如评分最高亚组与其他亚组差异有统计学意义,则评分均值最高组为最佳亚组;如评分均值最高亚组与某亚组差异无统计学意义,则将该亚组再与剩余其他亚组比较,差异均有统计学意义时将该亚组与评分均值最高亚组合并后再与其他亚组比较,差异有统计学意义后该合并亚组作为最佳亚组,以校正 P 值做为检验是否具有统计学意义的标准。

2 结果

A 组 2 例患者曾接受一侧肾脏切除术、1 例患者一侧肾脏严重积水;B、C 组中各有 1 例患者曾接受一侧肾脏切除术;故以上 5 例仅评价一侧肾动脉。4 例患者图像评价为 1 分(B 组 3 例、D 组 1 例),主要因患者屏气不佳或扫描过程中运动,均重新扫描。各组间性别、年龄及 BMI 差异无统计学意义(P 均>0.05),见表 1。

表 1 患者一般资料(n=105)

组别	男/女(例)	年龄(岁)	体质量指数(kg/m²)
A 组	66/39	48.7±16.3	27.64±2.22
B 组	57/48	52.8±15.9	28.02±1.91
C 组	56/49	50.6±14.8	27.91±3.02
D 组	62/43	50.3±14.8	28.31±2.33

A～D 组中各不同触发阈值亚组的图像质量评分见表 2。A 组图像质量以 170～<180 HU亚组评分最高,除 180～<190 HU 亚组外(P=0.377),170～<180 HU 亚组与其他亚组图像质量差异均有统计学意义,将 170～<180 HU 亚组与 180～<190 HU 亚组合并后作为拟最佳阈值亚组,拟最佳阈值亚组图像质量评分合计平均值为(4.53±0.57)分,与其他亚组差异均有统计学意义(P 均<0.0024),最佳阈值亚组为 170～<190 HU亚组。B、C、D 组最佳阈值亚组分别为 160～<190 HU 亚组、170～<180 HU 组、160～<180 HU 亚组,图像质量评分合计平均值分别(4.54±0.67)分、(4.67±0.49)分、(4.83±0.38)分。4 组最佳阈值亚组差异无统计学意义(χ^2=0.963,P=0.810;图 1～4)。

4 组最佳阈值均包括 170～<180 HU,提示在 170～<180 HU范围的最佳触发阈值,能够满足各组肾动脉 CTA 成像的要求。将 A～D 组根据注射流率、对比剂浓度不同,分别进行最佳阈值亚组区间的比较,显示对比剂浓度相同时(A 组和 C 组,B 组和 D 组),

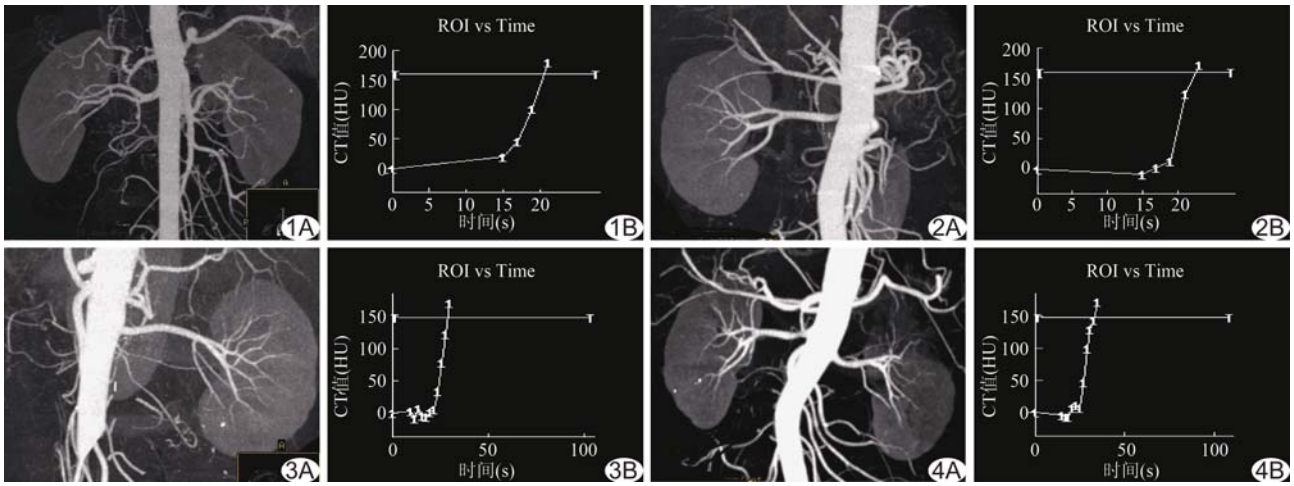

图 1　患者男，70 岁，A 组　A. 肾动脉 CTA MIP 图像评分为 5 分；B. Smart Prep 监测时间密度曲线示触发阈值为 179.4 HU　**图 2**　患者男，68 岁，B 组　A. 肾动脉 CTA MIP 图像评分为 5 分；B. Smart Prep 监测时间密度曲线示触发阈值为 171.8 HU　**图 3**　患者女，54 岁，C 组　A. 肾动脉 CTA MIP 图像评分为 5 分；B. Smart Prep 监测时间密度曲线示触发阈值为 172.5 HU　**图 4**　患者男，68 岁，D 组　A. 肾动脉 CTA MIP 图像评分为 5 分；B. Smart Prep 监测时间密度曲线示触发阈值为 174.4 HU

表 2　不同组别的图像质量评分（$\overline{x}\pm s$）

组别	评分
A 组	
140～＜150 HU	3.73±0.59
150～＜160 HU	4.27±0.70
160～＜170 HU	4.07±0.59
170～＜180 HU	4.60±0.63
180～＜190 HU	4.47±0.52
190～＜200 HU	4.07±0.26
200～210 HU	4.00±0.38
χ^2 值	22.971
P 值	0.001
B 组	
140～＜150 HU	3.00±0.65
150～＜160 HU	4.17±0.46
160～＜170 HU	4.53±0.74
170～＜180 HU	4.56±0.80
180～＜190 HU	4.53±0.64
190～＜200 HU	4.00±0.65
200～210 HU	3.47±0.52
χ^2 值	20.811
P 值	0.002
C 组	
140～＜150 HU	3.73±0.46
150～＜160 HU	4.33±0.49
160～＜170 HU	4.41±0.52
170～＜180 HU	4.67±0.49
180～＜190 HU	4.34±0.64
190～＜200 HU	4.07±0.88
200～210 HU	3.93±0.80
χ^2 值	45.103
P 值	＜0.01
D 组	
140～＜150 HU	3.60±0.63
150～＜160 HU	4.27±0.59
160～＜170 HU	4.87±0.35
170～＜180 HU	4.80±0.41
180～＜190 HU	4.40±0.51
190～＜200 HU	4.27±0.46
200～210 HU	3.80±0.68
χ^2 值	44.075
P 值	＜0.01

最佳阈值下限一致，但碘流率增加使最佳扫描阈值窗变窄（C 组＜A 组，D 组＜B 组）；对比剂注射速度相同时（A 组和 B 组，C 组和 D 组），碘流率高者最佳扫描阈值窗增宽（B 组＞A 组，D 组＞C 组），见图 5。

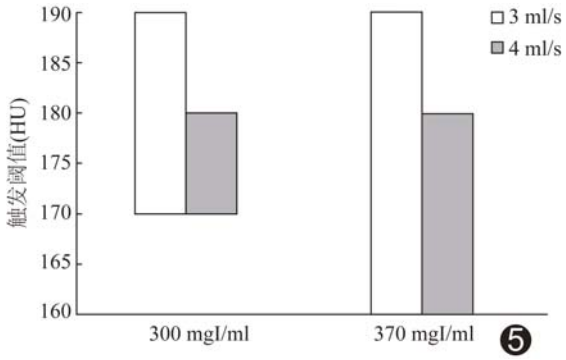

图 5　不同注射流率、对比剂浓度的最佳触发阈值比较

3　讨论

在个体化扫描延迟时间计算中，目前应用最广泛的是小剂量同层动态测试法（Test Bolus）和智能追踪技术（Smart Prep）。但小剂量试验可增加对比剂用量[2]，且在肾动脉扫描时可能会使肾盂显示而影响图像质量。Smart Prep 技术能实时监控主动脉对比剂浓度的变化并及时触发扫描，不受患者血流动力学的影响，更能体现扫描个体化原则，有效避免个体差异，获得最佳动脉期图像[3]，且不增加辐射剂量。本研究采用自动毫安技术，平均辐射剂量为（11.07±3.58）mSv，大幅降低了患者的辐射剂量[4]。

肾动脉 CTA 扫描成功的关键在于准确把握动脉时相，即适当的触发阈值或准确的扫描时间[5-6]。当触发阈值较低时，肾动脉内对比剂未达峰值，不能充分充盈，对比剂与血液混合不均，不仅影响图像分辨率，且易造成肾动脉狭窄的假象。当触发阈值过高的时候，肾实质，甚至肾静脉已经强化，肾动脉与强化的肾实质间对比减小，影响显示效果。因此有必要利用 Smart Prep 技术并找到最佳碘流率和最佳相应扫描触发阈值。碘流率对动脉成像具有较大的影响[7-8]。靶血管的强化程度更多取决于碘流率，即对比剂浓度与注射速度的乘积，其与血管强化程度呈正相关。本研究碘流率不同的各组获得的最佳扫描阈值不全相同。有研究[9]证实，相同碘流率以及扫描触发阈值可以获得相同的血管强化程度。本研究结果显示对比剂浓度相同时，碘流率增加会使最佳扫描阈值窗变窄；对比剂注射速度相同时，碘流率高者最佳扫描阈值窗增宽。提示对比剂浓度与最佳扫描阈值的底限呈正相关趋势，而对比剂注射速度与最佳扫描阈值窗呈负相关趋势。本研究各组最佳扫描阈值均包括 170～＜180 HU 阈值亚组，提示该阈值亚组可能在一般情况下均能够得到较好的肾动脉图像，具有一定普适性。

本研究中最佳阈值亚组图像质量差异无统计学意义（$\chi^2=0.963$，$P=0.810$），提示碘流率较低的组结合适当的扫描触发阈值仍可获得较好的肾动脉 CTA 图像，为减少对比剂浓度和剂量提供了理论基础。结合 Smart Prep 扫描以及最佳触发阈值区间可进一步减少对比剂浓度和剂量，从而在保证图像质量的前提下减少对比剂肾病以及过敏反应的发生[10-12]。

综上所述，采用 Smart Prep 技术，不同碘流率配合适当的触发阈值均能够得到优秀的肾动脉 CTA 图像。触发阈值设定为 170～＜180 HU，不同碘流率时均可获得质量满意的肾动脉 CTA 图像。

［参考文献］

［1］ Tang A, Billiard JS, Chagnon DO, et al. Optimal pancreatic phase delay with 64-Detector CT scanner and bolus-tracking technique. Acad Radiol, 2014, 21(8): 977-985.

［2］ Hoshino T, Ichikawa K, Hara T, et al. Optimization of scan timing for aortic computed tomographic angiography using the test bolus injection technique. Acta Radiol, 2016, 57(7): 829-836.

［3］ 阚晓婧，罗天友，吕发金，等. 智能追踪技术触发阈值对肾动脉 CT 血管成像的影响. 中国医学影像技术，2008，24(5)：721-724.

［4］ Liu Y, Liu A, Liu L, et al. Feasibility of spectral imaging with low-concentration contrast medium in abdominal CT angiography of obese patients. Int J Clin Pract, 2016, 70(Suppl 9B): B37-B43.

［5］ Fleischmann D, Chin AS, Molvin L, et al. Computed tomography angiography: A review and technical update. Radiol Clin North Am, 2016, 54(1): 1-12.

［6］ Stenzel F, Rief M, Zimmermann E, et al. Contrast agent bolus tracking with a fixed threshold or a manual fast start for coronary CT angiography. Eur Radiol, 2014, 24(6): 1229-1238.

［7］ 宫凤玲，于鹏，陈伟彬，等. 膈下动脉 CT 成像中碘总量固定不同碘流率对成像的影响. 山东大学学报（医学版），2015，53(11)：50-54.

［8］ Fleischmann D. CT angiography: Injection and acquisition technique. Radiol Clin North Am, 2010, 48(2): 237-247.

［9］ 余美，马跃，王玉科，等. 不同低对比剂注射方案对冠状动脉 CTA 图像质量影响的初步研究. 中国临床医学影像杂志，2015，26(11)：779-783.

［10］ Sun Z, Fu Q, Cao L, et al. Intravenous N-acetylcysteine for prevention of contrast-induced nephropathy: A meta-analysis of randomized, controlled trials. PLoS One, 2013, 8(1): e55124.

［11］ 张功霖，赵卫. 对比剂肾病的预防及危险分层的研究进展. 中国介入影像与治疗学，2012，9(12)：889-892.

［12］ 吴青霞，朱绍成，谢瑞刚，等. 应用低管电压能谱 CT 成像降低肾动脉 CTA 对比剂用量. 中国医学影像技术，2013，29(2)：280-284.

致谢

科研工作的顺利完成离不开他人的帮助，在正文的最后应向对本研究提供过帮助的人致以谢意。致谢的对象包括：对研究工作提出指导性建议者，论文审阅者，资料提供者，技术协作者，帮助统计者，为本文绘制图表者，提供样品、材料、设备以及其他方便者。

致谢必须实事求是，应防止剽窃掠美之嫌，也勿强加于人，如未经允许写上专家、教授的名字，以示审阅来抬高自己。致谢一般要说明被谢者的工作的内容，如“技术指导”、“收集资料”、“提供资料”等。