

低千伏 CTA 检查中 CT 值增强效应的实验研究

王秋霞, 陈亮, 罗馨, 胡道予, 冯定义

【摘要】 目的:探讨 64 层螺旋 CT 低千伏扫描在 CT 血管成像(CTA)检查中是否具有 CT 值增强效应及其增强幅度的变化。**方法:**将碘帕醇(370 mg I/ml)配成浓度为 2.5% 的溶液,以模仿对比剂在人体血管内的浓度;将对比剂溶液注入直径为 5 mm 的橡胶管内,制成模拟人体血管的静态实验模型,共 30 支。实验一:利用 64 层螺旋 CT 对 30 支实验模型进行扫描,管电流 40 mA,除管电压 kV 值改变外,其他参数均保持一致。管电压选用 120 kV(I 组)、100 kV(II 组)和 80 kV(III 组),3 次扫描时每一支模型的位置固定不动。将扫描后获得的原始数据以 1.25 mm 层厚进行重建,测量 1.25 mm 重建图像上各个实验模型的各个层面的 CT 值共 10 次,取平均值作为统计指标,计算各组间的 CT 差值。实验二:在进行实验一的 100 kV 扫描序列中,固定管电压 100 kV,改变管电流为 60 mA 再扫描,其余参数不变;数据处理及测量均同实验一,得到 100 kV、60 mA 扫描下的 CT 值(IV 组),并计算 100 kV 条件下 60 mA 与 40 mA 间的 CT 差值。**结果:**I 组、II 组、III 组、IV 组的 CT 均值分别为 267.35、320.89、400.69 及 321.02 HU;III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组之间差异均有统计学意义($P < 0.05$);IV 组与 II 组差异无统计学意义($P > 0.05$)。III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组、IV 组与 II 组的 CT 差值的均值分别为 133.34、79.81、53.54 及 2.17 HU;III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组之间差异均有统计学意义($P < 0.05$);IV 组与 II 组之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论:**64 层螺旋 CT 扫描随着千伏值降低,CT 值具有增强效应,随着管电压的降低,CT 值增强幅度增大;固定 CT 管电压千伏值,改变管电流毫安值,CT 值无增强效应。

【关键词】 辐射剂量; 体层摄影术, X 线计算机; 增强效应

【中图分类号】 R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)09-1010-04

Study on CT value enhancement effect with low tube outage scanning in CTA: an experiment study WANG Qiu-xia, CHEN Liang, LUO Xin, et al, Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate whether the low kV 64-slice CT scanning in CTA examination can lead to CT value enhancement effect and to evaluate the degree of enhancement effect. **Methods:** Original Iopamidol of 370mgI/ml was diluted to a solution of 2.5% concentration. The solution was introduced in thirty rubber tubes with a diameter of 5mm to simulate the large blood vessels in the human body. Then the experiment were carried out. Experiment one: scanning of the 30 rubber tube using the 64-slice CT with the same tube current of 40mA and different tube voltage of 120kV (group I), 100kV (group II) and 80kV (group III). After scanning, all the data were reconstruct to slice thickness of 1.25mm. The CT value was measured ten times for different slices in different models and the average CT value was calculated as standard for statistics. Then the difference of CT value in different groups was calculated. Experiment II: scanning of the model using 100kV and tube current of 60mA, without changing the other parameters as in experiment one. Thus the CT values using 100kV and 60mA was obtained (group IV) and the difference of CT values between 60mA group and 40mA group was calculates. **Results:** Group I, II, III, IV's was 267.35, 320.89, 400.69 and 321.02HU respectively. There was stastically significant difference between group III and I, III and II, II and I. There was no stastically significant difference between group IV and II. The CT value difference between group III and I, III and II, II and I, IV and II was 133.34, 79.81, 53.54 and 2.17HU respectively. **Conclusion:** In 64-slice CT scanning, descending of kV leads to CT value enhancement effect. The more the tube voltage descended, the CT value enhancement is more obvious. These is no CT value enhancement effect if the tube current change but the tube voltage maintains the same constant.

【Key words】 Radiation dosage; Tomography, X-ray computed; Enhancement effect

低千伏 CT 扫描可以增加对比剂的增强效应,有学者做了相关的初步研究^[1],对比剂注射到血管中是一个动态过程,它的峰值及变化受注射流率、扫描方式

及其他各种因素的影响。理论上低千伏扫描对静态的对比剂溶液也会产生增强效应,但实际中低千伏扫描静态对比剂溶液是否存在 CT 值增强效应及 CT 值的增加幅度变化如何国内外未见文献报道。本研究通过对模拟人体血管内的对比剂溶液进行不同千伏值的 CTA 扫描,旨在探讨低千伏 CT 扫描是否对对比剂产

作者单位: 430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科(王秋霞、罗馨、胡道予、冯定义);山东省滨州医学院附属医院放射科(陈亮)

作者简介: 王秋霞(1981-),女,四川广元人,硕士,主管技师,主要从事腹部影像学诊断工作。

通讯作者: 冯定义, E-mail: fdyfirst@yahoo.com.cn

生 CT 值增强效应及增强幅度的变化,以便为后续低千伏 CT 扫描降低辐射剂量及降低碘对比剂用量的研究奠定基础。

材料与方法

1. 体外模拟装置的制作

将碘帕醇(370 mg I/ml)配成浓度为 2.5% 的溶液,以模拟对比剂在人体血管内的浓度;将对剂溶液注入 5 mm 的橡胶管内,制成模拟人体血管的静态实验模型,共 30 支,为避免气体的干扰将模型平行放于盛水的容器内,模型的长轴方向与容器长轴方向一致。此容器的长轴与扫描床平行,放于 CT 扫描仪内进行扫描。

2. 扫描设备及方法

CT 扫描采用 GE 64 层螺旋 CT 机(Lightspeed VCT)。

实验一:利用 64 层螺旋 CT 对 30 支实验模型进行扫描,扫描模式为 Abdomen,扫描层厚和间隔均为 5 mm,螺距 0.981,管电流为 40 mA,除管电压 kV 值改变外,其他参数均保持一致。管电压分别为 120、100 和 80 kV,3 次扫描时每一支模型的位置固定不动。将扫描后获得的原始数据以 1.25 mm 层厚进行重建,将原始数据和重建数据一同传至 GE ADW4.3 工作站中,测量 1.25 mm 重建图像上各个实验模型的各个层面的 CT 值共 10 次,取平均值作为统计指标,共得到 3 组数据:I 组为 120 kV 扫描下的 CT 值即 $CT_{120\text{ kV}}$;II 组为 100 kV 扫描下的 CT 值即 $CT_{100\text{ kV}}$;III 组为 80 kV 扫描下的 CT 值即 $CT_{80\text{ kV}}$ 。计算各组间的 CT 差值及升高率。

实验二:在进行实验一的 100 kV 扫描序列中,固定管电压 100 kV,改变管电流为 60 mA 再扫描,其余参数不变;数据处理及测量均同实验一,得到 100 kV、60 mA 扫描下的 CT 值即 $CT_{60\text{ mA}}$ (IV 组),并计算 100 kV 扫描下的 60 mA 与 40 mA 间的 CT 差值及升高率。

3. 图像质量的分析指标

测量方法:在模型中选取 10 个点测量 CT 值及 SD 值,取其平均值,ROI 选择圆形区域,调整其面积后复制、粘贴以保证每一个模型测量的 ROI 完全相同。

图像质量评价的指标主要有:①图像噪声(SD 值):所测模型周围液体 CT 值的标准差。②图像噪声信噪比(SNR)采用公式(1)计算^[2]:

$$SNR = \frac{CT_n}{SD} \quad (1)$$

CT_n 为所测模型的平均 CT 值,SD 值为所测模型

的标准差的平均值。③由两名副主任医师采用盲法对图像进行主观评估。

4. 统计学分析方法

所得数据各组间进行独立样本 t 检验,各组之间的 CT 值差值进行配对资料 t 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

I 组、II 组、III 组、IV 组的 CT 值均值分别为 267.35、320.89、400.69 及 321.02 HU;III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组之间采用独立样本 t 检验,各组之间差异均有统计学意义($P < 0.05$);IV 组与 II 组之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。

III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组、IV 组与 II 组的 CT 差值的均值分别为 133.34、79.81、53.54 及 2.17 HU;III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组之间采用配对资料 t 检验,各组之间差异均有统计学意义($P < 0.05$);IV 组与 II 组之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。

III 组与 I 组、III 组与 II 组、II 组与 I 组、IV 组与 II 组的 CT 值的升高率均值分别为 49.55%、24.70%、19.90%及 0.71%。

I 组、II 组、III 组、IV 组 SD 值的均值分别为 4.16、5.03、6.11、4.89;I 组、II 组、III 组、IV 组的 SNR 值的均值分别为 64.27、63.79、65.57、65.64;主观评估中模型胶管的亮度、图像的细腻程度及 VR(容积重组)图像的清晰度比较,I 组 < II 组 < III 组(图 1、2),II 组与 IV 组无明显差异。

讨 论

低剂量 CT 扫描研究是近年来研究的热点之一,而降低 CT 的低千伏值能够明显地降低辐射剂量,这一点国内外很多学者做了相关的研究。理论上低千伏 CT 扫描可以对组织 CT 值产生增强效应,尤其是密度高的物质(如结石、碘对比剂等),效应更明显。但实际中低千伏 CT 扫描静态碘对比剂溶液是否存在 CT 值增强效应及 CT 值的增加幅度变化如何,国内外未见文献报道。本文就对这一理论的假设进行了实验研究,得到了相应的结论。

1. 增强效应的原理分析

X 线穿透物质的能力叫做 X 线的质或硬度,可以用波长或频率表示^[3]。峰值管电压决定了到达靶面的电子的最大动能,在一定程度上反映了 X 射线束中的平均波长,所以峰值管电压可以代表 X 线的穿透能力。管电流与 X 线的强度相对应,而管电流与时间的乘积则与 X 线在该时间内辐射的总能量(辐射量)相

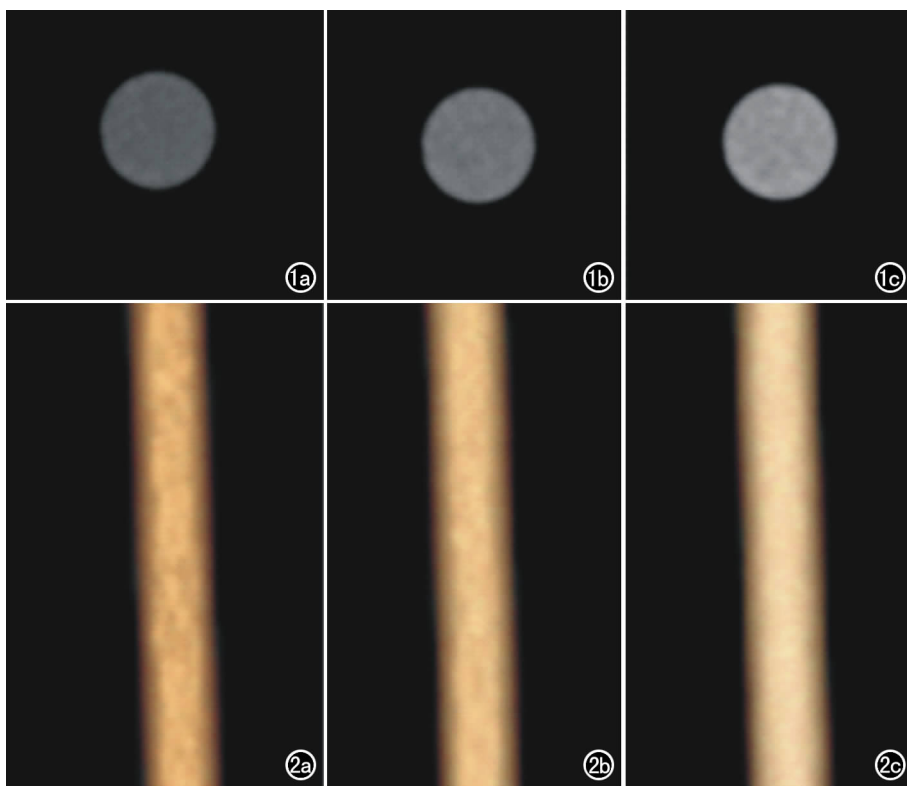


图1 分别为120kV、100kV、80kV扫描条件下的横轴面图像,图像亮度及图像细腻程度逐渐增加。a) 120kV扫描图像; b) 100kV扫描图像; c) 80kV扫描图像。图2 分别为120kV、100kV、80kV扫描条件下的VR图像,图像的亮度及清晰度逐渐增加,边缘光滑度逐渐增加。a) 120kV扫描图像; b) 100kV扫描图像; c) 80kV扫描图像。

对应。随着X射线波长 λ 的不同,物质的质量吸收系数($\mu\rho$)的值也会随之变化并与 λ 的三次方成正比,也就是说X射线波长越长,物质的质量吸收系数越大,X射线的衰减系数也就越大,即峰值管电压越小,X射线的波长 λ 就会越长,X射线的衰减系数就会越大。

CT值代表X线穿过组织被吸收后的衰减值,实际应用中CT值表示为人体被测组织的吸收系数与水的吸收系数的相对值,即

$$CT \text{ 值} = \frac{\mu_x - \mu_w}{\mu_w} \times K \quad (I)$$

CT值的单位是HU, μ_x 是被测组织的线性衰减系数, μ_w 为水的线性衰减系数。

$$\mu = \sum_{i=0}^n b_i \rho^i \quad (II)$$

ρ 是物质的密度。

$$\ln(\mu) = \sum_{i=0}^n C_i [\ln(\frac{C_a}{E_\gamma})]^i \quad (III)$$

公式中 C_i 是待定参数; $C_a = (E_2 + E_1)/2$,而 E_1 和 E_2 分别为参与数据拟合点的最小和最大 γ 能量; E_γ 为 γ 射线的能量^[4],X射线时即为X射线的能量。

由公式(II、III)可以看出,人体组织的X线衰减系数(μ)与组织的密度成正比,与X射线的能量成反比,因此结合公式(I),X线能量不同,人体组织的

CT值也会不同。而X射线球管的峰值管电压及管电流主要决定其能量,也即管电压降低,CT值会相应增高,这便是低kV扫描会引起CT值增强效应的理论基础。

2. 80、100及120kV扫描下对比剂溶液CT值的差值及升高率(即增强效应度)的关系

本组实验结果显示,80kV(Ⅲ组)、100kV(Ⅱ组)、120kV(Ⅰ组)扫描下对比剂溶液的CT值均值分别为400.69、320.89和267.35HU,各组之间差异均具有统计学意义($P < 0.05$),说明各组之间的CT值均值是不同的,即对比剂溶液的CT值均值: $CT_{80kV} \text{ 组} > CT_{100kV} \text{ 组} > CT_{120kV} \text{ 组}$,亦即说明低千伏CT扫描对对比剂溶液的CT值具有增高效应并且千伏值越低,增强效应越明显。

$CT_{80kV} \text{ 组}$ 与 $CT_{120kV} \text{ 组}$ 、 $CT_{80kV} \text{ 组}$ 与 $CT_{100kV} \text{ 组}$ 、 $CT_{100kV} \text{ 组}$ 与 $CT_{120kV} \text{ 组}$ 的CT差值的均值分别为133.34、79.81和53.54HU;

各组之间的CT值差值差异均具统计学意义($P < 0.05$),说明各组之间的CT值差值是不同的,即 $CT_{80kV} \text{ 组}$ 与 $CT_{120kV} \text{ 组}$ 之间的CT值差值 $> CT_{80kV} \text{ 组}$ 与 $CT_{100kV} \text{ 组}$ 之间的CT值差值 $> CT_{100kV} \text{ 组}$ 与 $CT_{120kV} \text{ 组}$ 之间的CT值差值,亦即说明CT扫描千伏值相差越大,CT值的差值相差越大,CT值的升高率越大,CT值增强效应越明显。

低千伏CT扫描可引起CT值增强效应,尤其是对高硬度(高密度)物质,其效应更为明显,而CTA即是利用含碘高密度对比剂进行血管成像的技术,因此,此CT值增强效应所带来的直接临床意义便是适当地降低扫描管电压不但可以明显降低辐射剂量,达到减少辐射危害的目的,而且不会大幅降低血管CTA成像的效果,能够满足临床诊断的需要。

3. 固定CT扫描管电压,改变管电流对CT差值及升高率的影响

本实验选择固定的管电压100kV,而改变管电流,结果显示60mA组(Ⅳ组)与40mA组(Ⅱ)的CT值均值分别为320.89和321.02HU,两组之间差异无统计学意义($P > 0.05$),说明两组之间CT值是相同的,他们之间的差异是抽样误差造成的,亦即说明仅改变CT扫描的管电流CT值并无增强效应。

4. 低千伏 CT 扫描对 CTA 血管成像图像质量的影响

本实验研究显示,从图像质量的客观评价指标(SD 值及 SNR 值)来看,随着 CT 扫描管电压的降低,图像质量略有下降,这与文献报道是一致的^[5-8];从图像的主观评价指标来看,图像诊断质量是随着管电压的降低而逐渐提高的。本组研究结果表明,随着管电压的降低,模型胶管的(相当于模拟血管)亮度逐渐提高,图像的细腻程度也逐渐提高,对于 VR 图像,CT_{80 kV}组的清晰度明显优于 CT_{120 kV}组(图 1、2)。分析原因,笔者认为血管 CTA 成像是高密度成像,血管腔内的对比剂明显高密度与周围软组织形成强烈对比,由于 CTA 主要是对血管进行成像,因而对空间分辨力要求很高,而对密度分辨力的要求相对较低有关。

综上所述,64 层螺旋 CT 扫描随着扫描管电压降低,CT 值具有增强效应,而且随着管电压的降低,CT 值增强幅度增大;固定 CT 扫描管电压,改变扫描管电流,CT 值无增强效应。

参考文献:

[1] Utsunomiya D, Oda S, Funama Y, et al. Comparison of standard-

and low-tube voltage MDCT angiography in patients with peripheral arterial disease[J]. Eur Radiol, 2010, 20(11): 2758-2765.

[2] Funama Y, Awai K, Nakayama Y, et al. Radiation dose reduction without degradation of low-contrast detectability at abdominal multisection CT with a low-tube voltage technique: phantom study [J]. Radiology, 2005, 237(3): 905-910.

[3] 李曾豫, 沈翔, 郭维东, 等. 医用 X 射线机原理、构造与维修[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 36-39.

[4] 潘京全. γ 射线的线性吸收系数拟合[J]. 放射卫生, 1998, 18(5): 362-364.

[5] 张伟, 龚建平, 王克武, 等. 低 kV-CT 扫描参数的优化设计[J]. 临床放射学杂志, 2008, 27(10): 1411-1413.

[6] Karmazyn B, Frush DP, Applegate KE, et al. CT with a computer-simulated dose reduction technique for detection of pediatric nephroureterolithiasis: comparison of standard and reduced radiation doses[J]. AJR, 2009, 192(1): 143-149.

[7] Flicek KT, Hara AK, Silva AC, et al. Reducing the radiation dose for CT colonography using adaptive statistical iterative reconstruction: a pilot study[J]. AJR, 2010, 195(1): 126-131.

[8] 杨智云, 严超贵, 彭谦, 等. 成人颞骨 64 层螺旋 CT 低电流扫描临床应用[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2009, 15(2): 153-157.

(收稿日期: 2012-01-05 修回日期: 2012-03-07)

全国第十一届头颈部影像学进展学术研讨会暨 全国第十四届头颈部影像学进展学习班征文通知

由中华放射学杂志和中华医学会放射学分会头颈学组(筹备)共同主办,上海交通大学医学院附属第九人民医院、复旦大学附属眼耳鼻喉医院、首都医科大学附属同仁医院承办的全国第十一届头颈部影像学进展学术研讨会(暨全国第十四届头颈部影像学进展学习班)将于 2012 年 11 月 9—11 日在上海宝隆美爵宾馆召开。会议将邀请国内著名专家进行专题讲座,内容涉及头颈部影像诊断进展、新技术的临床应用等,此次会议将增设颌面部影像学专题会场,重点讲解和讨论颌面部临床对影像学的需求、临床和影像学进展、存在的问题和未来发展方向。同时举行的全国第十四届头颈部影像学进展学习班,详细讲解头颈部影像解剖及解剖变异、影像检查方法、各种病变的影像学诊断与鉴别诊断,参会代表可免费参加学习班。欢迎同道踊跃投稿或报名参加。本次会议为国家继续教育培训项目,授予国家级Ⅰ类继续教育学分。

征文内容:凡未正式公开发表过的有关头颈部影像技术、诊断与鉴别诊断、介入治疗和新进展等方面的论文以及个案报道、疑难病例讨论均可投稿。

投稿要求:论著类稿件全文在 4000 字内,并附有 800 字左右的中文摘要,中文摘要应包括:目的、方法、结果、结论四要素。

请用 Email 投稿,主题请注明“头颈部会议”,凡收到 Email 投稿后均给以回复,如未收到针对投稿的 Email 回复,请再发 Email。Email 投稿地址:jiguangqian@cma.org.cn。来稿请务必注明作者单位、邮编、姓名、电话及其他确切联系方式,投稿请注明“头颈部会议”字样,请自留底稿,恕不退稿。

投稿截止日期:Email 投稿截止日期为 2012 年 10 月 10 日。学习班报名截稿日期为 2012 年 10 月 30 日。具体事宜联系人:姬广茜(电话:010-85158291)。

会议报到时间为 2012 年 11 月 9 天(全天),会议撤离时间为 2012 年 11 月 11 日下行 1 点之前,会议费 900 元。住宿费自理。

(中华放射学杂志编辑委员会 中华医学会放射学分会头颈学组)