

多层螺旋 CT 仿真胃镜成像参数的实验模型研究

闫旭 沈文 温连庆 祁吉

【摘要】 目的:系统分析多层螺旋 CT(MSCT)主要扫描参数对 CT 仿真胃镜(CTVG)图像质量的影响,寻找可获得较好图像质量的扫描参数组合。方法:应用不同扫描参数分别对正常猪胃模型进行扫描,通过观察、评价 CTVG 图像质量,系统分析主要扫描参数对 CTVG 图像质量的影响,寻找可获得良好图像质量的扫描参数组合。结果:气量、准直宽度、重叠重建率及重建算法的变化均会不同程度地影响 CTVG 图像质量。结论:选择适当的成像参数进行扫描和重建可获得微小结构分辨良好的优良三维图像,从而使 CTVG 技术成为显示胃部结构和病变的有效方法之一。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机 图像处理, 计算机辅助

【中图分类号】 R814.42, R816.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2002)05-0377-04

The experimental study of scan parameters on MSCT virtual gastroscopy in a normal pig stomach model YAN Xu, SHEN Wen, WEN Lianqing, et al. Department of Radiology, The First Center Hospital of Tianjin Medical University, Tianjing 300192

【Abstract】 Objective: To analyze the function of different scan parameters on CT virtual gastroscopy (CTVG) and to explore the optimal scan parameters. **Methods:** The normal pig stomach models were performed MSCT with different parameters by which the different image qualities obtained were analyzed to seek the optimal scanning parameters. **Results:** The image quality of the virtual gastroscopy was influenced by different scan parameters such as collimation, overlapping rate, reconstruction mode and air amount. **Conclusion:** High quality CTVG images can be obtained with proper selection of scan parameters, and CTVG may be a useful tool in the visualization of the fine anatomical structures of stomach and detection of luminal lesions.

【Key words】 Tomography, X-ray computed Image processing, computer assisted

CT 仿真内镜(CT virtual endoscopy, CTVE)成像技术近年来得到迅速发展,已逐步应用于多种空腔脏器的检查^[1-5]。其在胃部的应用,称为 CT 仿真胃镜(CTVG)。但如何获得高质量的 CTVG 图像,以及如何认识和分析图像仍存在诸多问题。多层螺旋 CT(multislice CT, MSCT)是螺旋 CT 技术的最新进展,其在胃部检查中各种成像参数的选择尚未有一致的标准,影响 MSCT 图像质量的因素、图像伪影的情况亦未见系统的研究和阐述。本模型研究的目的在于系统分析 MSCT 主要扫描参数对 CT 仿真胃镜(CTVG)图像质量的影响,寻找可获得较好图像质量即空间分辨率的扫描参数,为临床研究奠定技术基础。

材料与方法

模型制作:新鲜、离体猪胃 2 只,保留完整的食管远端和十二指肠近端以防止结扎时破坏贲门和幽门的正常形态,清洗干净胃内容物后用 3-0[#] 医用真丝编织线结扎十二指肠端,另一端通过 14F 塑料输液管与 100ml 的注射器相连。完毕后将模型置于盛有泛影葡胺和水的混合液的塑料盆中,分别记为模型 1 和模型 2(图 1)。泛影葡胺和水的混合液经反复调试、测量至 CT 平扫的 CT 值为 40 HU 左右,以尽可能模拟人体腹部 CT 值的平均值,用以模拟人体腹部环境。

设备:GE Light speed Qx/i 多层螺旋 CT 扫描机,GE Advan-

tage Windows 工作站(3.1 版)及其下挂的 Navigator 软件包。

方法:1. 不同气量对 CTVG 图像的影响

①分别通过注射器向模型 1 和 2 内注入 1000ml、1500ml 和 2000ml 空气并用丝线将贲门扎紧后以如下参数行容积扫描:管电压 120kV,管电流 230mA,准直宽度(扫描层厚)5mm,床速 7.5mm/s,扫描时间 0.8s/360°,重建层厚 2.5mm,重建间隔 1.2mm,标准重建算法,扫描视野(SFOV)500mm,显示视野(DFOV)360mm,图像矩阵 512×512,固定用腹窗:窗宽 400HU,窗中心 40HU。所有原始扫描数据均于主机进行回顾性重建,重建层厚 2.5mm,重建间隔 1mm,随后将重建数据传至 Advantage Windows 3.1 工作站。模型 2 同上。

②CTVG 成像:应用仿真内镜“导航”(Navigator)软件包,选择平滑(smooth)成像模式进行 CTVG 成像。选择白底黑影(black in white)观察方式,阈值选用 -700HU,视角 45°。事先人为地将每个模型的观察区域设为贲门,胃底,胃大、小弯,胃体前、后壁和胃窦前、后壁八个部分,应用飞越(fly through)功能在后 3 幅图像上移动导航光标调整视点,对上述各部的粘膜皱襞的展开情况进行观察。

③图像观察与评价:由两位有经验的胃肠专业影像诊断医师对 2 例模型的总共 16 幅不同部位的 CTVG 图像采用盲法进行独立评分。评分标准:采用 I ~ III 级评分法,III 级:充盈程度满意(粘膜皱襞展开率占该区域粘膜皱襞总数 90%以上),记 3 分;II 级:充盈程度较好(展开率介于两者之间),记 2 分;I 级:充盈程度较差(展开率低于 50%)记 1 分。将评分结果进行秩

作者单位:300192 天津,天津医科大学第一中心医院放射科
作者简介:闫旭(1970~),男,天津人,主治医师,硕士,主要从事影像学诊断工作。

和检验, $P < 0.05$ 表示两种方法在模型胃充盈程度上有显著性差异。统计学软件采用 SPSS for Windows 9.0 版。

2 不同成像参数的评价

①分别向模型 1 和 2 注入根据 1. ①的结果得出的适宜气体量后, 固定其他扫描参数, 分别进行以下步骤: 改变扫描层厚 (X 线束准直宽度): 分别以 2.5、5、7.5、10mm 的不同扫描层厚, 均与 7.5mm/360° 的进床速度作为组合进行容积扫描。改变重叠重建率: 分别以 90%、75%、60%、50%、30%、0 的重叠重建率重建图像。改变重建算法: 分别以软组织、标准 (STD)、细节 (detail)、骨、肺 5 种重建算法重建图像。CTVG 成像方法及统计学方法同 1. ①。

②图像观察与评价方法同 1. ①。评分标准: III级, 图像质量好 (表面细微结构显示清晰, 无变形、伪影少) 记 3 分; II 级, 图像质量尚可 (有一定变形或伪影, 表面细微结构尚能观察) 记 2 分; I 级, 图像质量较差 (有严重变形或伪影, 表面细微结构不能观察) 记 1 分。

结 果

3 种气量对模型充盈程度的影响评分评级比较结果见表 1。从中看出, 3 种气量对模型胃的充盈程度存在显著性差异 ($P < 0.05$), 给予气量 2000ml 对模型胃的充盈程度最高 (图 2)。; 不同成像参数模型胃 CTVG 的图像质量评分统计结果见表 2~4; 不同 X 线束准直宽度、重叠重建率、重建算法的 CTVG 所见如下。

表 1 不同气量对模型充盈程度的影响评分比较

气量(ml)	充盈程度			秩和	平均等级 ($\bar{X} \pm SD$)
	I 级	II 级	III级		
1000	3	8	5	248.5	1.8 ± 0.7
1500	0	4	12	430.0	2.7 ± 0.6
2000	0	1	15	497.5	2.9 ± 0.2
合计	3	13	32		
平均秩次	2.0	10.0	32.5	$\chi^2 = 7.42, P < 0.05$	

表 2 X 线束准直宽对 CTVG 的图像质量的影响

(重叠重建率 75%)

X 线束 准直宽	图像质量			秩和
	I 级	II 级	III级	
2.5	0	3	13	726.5
5.0	0	5	11	677.5
7.5	5	6	5	410.0
10.0	10	6	0	233.0
合计	15	20	29	
平均秩次	8.0	25.5	50.0	$\chi^2 = 17.83, P < 0.005$

表 3 重叠重建率对 CTVG 的图像质量的影响

(5mm 扫描层厚)

重叠重建率 (%)	图像质量			秩和
	I 级	II 级	III级	
90	0	8	8	928.0
75	0	2	14	1144.0
60	0	5	11	1036.0
50	1	7	8	900.5
30	9	7	0	392.5
0	14	2	0	255.0
合计	24	31	41	
平均秩次	12.5	40.0	76.0	$\chi^2 = 24.9, P < 0.01$

表 4 重建算法对 CTVG 图像质量的影响

重建算法	图像质量			秩和
	I 级	II 级	III级	
标准	0	4	12	956.0
软组织	1	9	6	718.0
细节	1	11	4	648.0
骨	4	11	1	459.0
肺	4	11	1	459.0
合计	10	46	24	
平均秩次	5.5	33.5	68.5	$\chi^2 = 10.3, P < 0.05$

准直宽度: 在床速均为 7.5mm/360° 条件下, 由 2.5mm 增至 10mm, CTVG 图像逐渐出现沿 Z 轴方向上的伸长变形; 阶梯状伪影粗大模糊; 边缘清晰度及表面微细结构显示明显下降。准直器宽度 ≥ 7.5 mm 时伸长变形明显, 表面相邻微细结构因伸长变形而相互融合难以分辨 (图 3)。

重叠重建率: 重叠重建率 $< 50\%$ 时, 模型边缘清晰度下降明显, 阶梯状伪影粗大模糊, 沿 Z 轴方向的伸长变形及微细结构显示下降程度不明显; 观察发现, 随重叠重建率增加, 表面逐渐趋于平滑, 细节显示逐渐改善。但重叠重建率 90% 时, 阶梯状伪影反而细小清晰 (图 4)。

重建算法: 由软组织算法改换为肺算法, 模型表面勾勒出逐渐明显的边缘线, 使微细结构突出易于辨认, 同时出现与 Z 轴方向相同且平行排列的条形伪影, 与阶梯状伪影交错呈网状, 图像光滑程度下降, 以骨、肺重建方式最为明显; 在 STD 重建方式时条形伪影和边缘线均不明显; 软组织较 STD 重建方式模型边缘更柔和, 但对比亦有所下降 (图 5)。

讨 论

CT 仿真内镜作为一项 CT 诊断的新技术, 自 1994 年 Vin-ing 等^[6]首次报道以来, 国内外学者对其进行了不同部位的临床应用^[1-5]及少量体外模型的研究^[7,8]。该技术在胃部的应用, 即 CT 仿真胃镜 (CTVG) 亦见少量国内外文献报道, 但均侧重于临床病例研究。能否获得高质量的 CTVG 图像对诊断的准确性至关重要, 而 CTVG 图像的质量则受诸多因素的影响, 其中又以胃充盈程度和扫描及重建参数的选择与匹配最为重要。因此, 如何获得高质量的三维图像、CTVG 对微小病变的分辨能力及 CTVG 图像的真实性等诸多问题的探讨成为此技术在

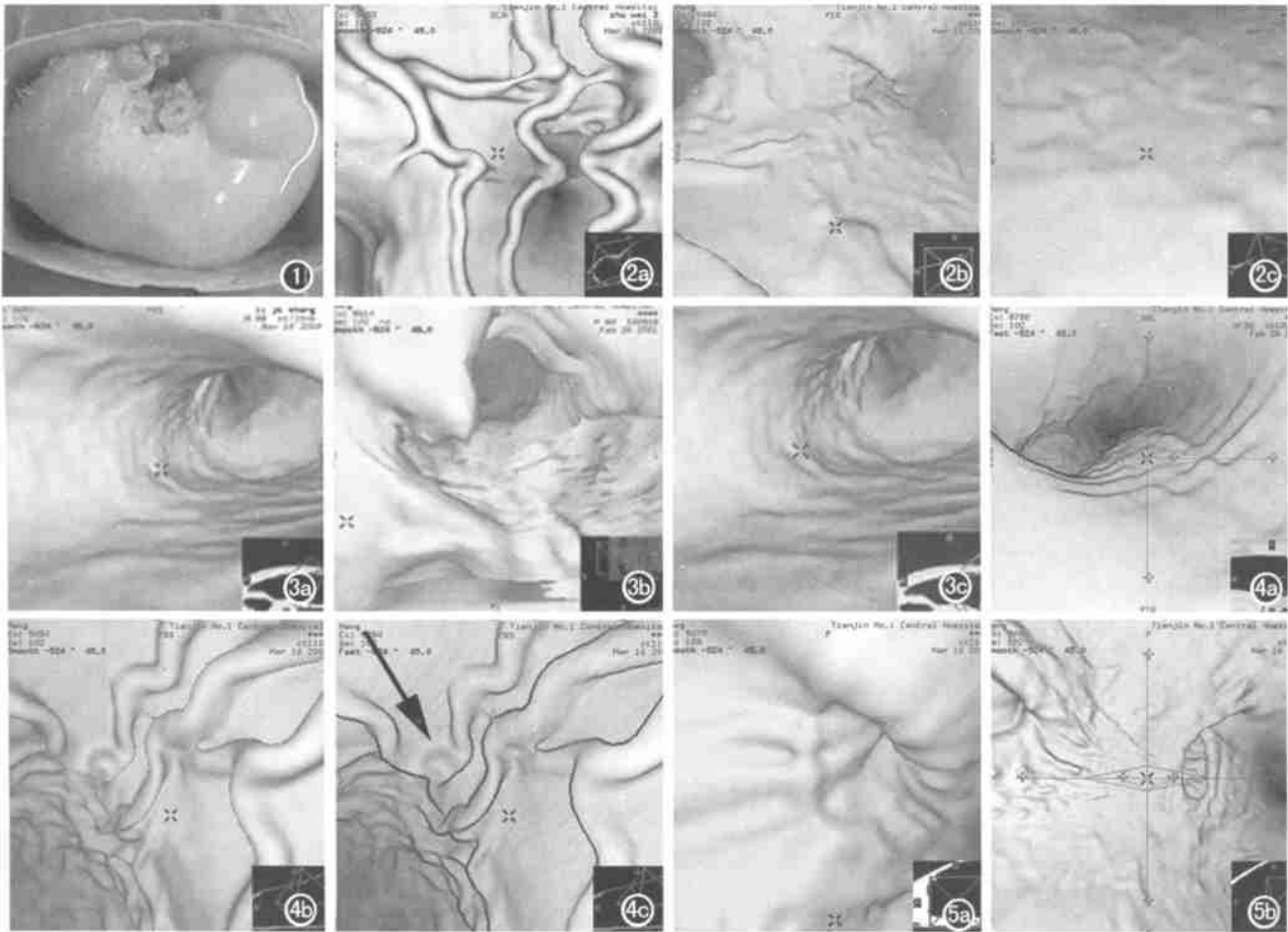


图 1 自行设计制作的猪胃模型。图 2 不同气量对猪胃模型 CTVG 图像的影响。a) 1000ml 粘膜皱襞展平欠佳; b) 1500ml 粘膜皱襞展平满意; c) 2000ml 粘膜皱襞展平率最高。图 3 准直宽度对猪胃模型 CTVG 图像的影响。a、b、c 准直宽度分别为 5mm、10mm、2.5mm, 其余扫描参数均相同。可见图像质量 a 与 b 明显差别, a 与 c 则无明显差别。图 4 重叠重建率对猪胃模型 CTVG 图像的影响。a、b、c 重叠重建率分别为 30%、75%、90%。图像细节由 a 到 c 逐渐改善, 但 c 阶梯状伪影反而细小清晰(箭)。图 5 重建算法对猪胃模型 CTVG 图像的影响比较。a、b 分别为标准算法、软组织算法, 可见标准算法图像质量最佳。

临床得到广泛应用的前提。而且, 由于 MSCT 为一新技术, 其在胃部检查中各种成像参数的选择尚未有一致的标准, 影响 MSCT 图像质量的因素、图像伪影的情况亦未见系统的研究和阐述。以下就本研究结果对上述问题作一讨论, 以期进一步提高 CTVG 的成像质量。

1. 胃充盈程度

胃腔能否充分扩张是 CTVG 图像质量优劣的关键因素之一。于检查前口服适量产气剂可使胃壁与胃腔之间形成更大的密度差, 并可消除因液体对比剂占据胃腔所致数据丢失而得到完整胃腔的影像, 更利于仿真胃镜等高级后处理技术的应用。Springer 等^[1]的研究表明, 胃腔充气后的仿真胃镜最接近纤维胃镜的影像。服适量产气剂是显示好粘膜的关键: 气量要适中, 如气量过小(如实验 1 中的 1000ml)胃粘膜因未舒展而明显隆起, 会形成假性肿块, 易与真实病变混淆; 胃内气量过大(如实验 1 中的 2000ml), 则使胃粘膜明显展平, 若应用于临床, 反而不利于观察粘膜形态及粘膜与病变间关系, 甚至易与浸润

型胃癌粘膜消失相混淆。本研究对猪胃模型使用 1500ml 气量, 取得了良好效果。

2. 成像参数的选择

X 线束准直宽度: X 线束准直宽度即扫描层厚越窄, 生成的 CTVG 图像越清晰平滑, 但也限制了扫描范围, 原始横断面图像噪声明显增加, 根据噪声计算公式: $N = C \times R \times (S/Qh)^{1/2}$ (式中: C 为常数, R 为重建算法参数值, S 为被扫描物体的吸收值, Q 为 X 线照射剂量值, h 为扫描层面厚度), 表明在其它条件相同的条件下, 扫描层厚每减少一半, 图像噪声增加 4 倍。噪声的增加明显影响图像质量, 不利于对胃内腔结构的细微观察。另外, 层厚的降低将明显增加扫描层数、扫描时间和患者的照射剂量等。本研究中扫描层厚 > 5 mm 时模型出现明显的沿 Z 轴方向的伸长变形。因此, 所选扫描层厚应 ≤ 5mm。同时, 层厚为 2.5mm 时会增加曝光时间, 且对图像质量的改善较少, 有些得不偿失, 故我们认为 MSCT 应用于胃的三维成像时以 5mm 扫描层厚最好。

重叠重建率: 重建间隔的定义是被重建的相邻两层横断面之间纵轴方向的距离。重叠重建率则可用以下公式表示:

$$\text{重叠重建率} = (\text{扫描层厚} - \text{重建间隔}) / \text{扫描层厚} \times 100\%$$

MSCT 一个重要特点就是采集的容积数据允许进行回顾性任意间隔的重建, 而密集重建(重建间隔小, 重叠重建率高)有助于提高重建图像的 Z 轴分辨率^[16, 17]; 重建间隔越窄, 重叠重建率越高, 获得的仿真内镜影像越平滑, 可减少阶梯状伪影的发生率, 但同时也增加了后处理的时间。CTVG 成像一般要求保持 $\geq 50\%$ 的重叠重建率, 可维持图像一定的清晰度和光滑性^[5, 9]; 过高的重建率($\geq 80\%$)会明显增加重建图像层数, 延长后处理时间, 同时阶梯状伪影反倒变得清晰, CTVG 影像表面更不光滑, 图像质量无明显改善。我们分别使用重叠 90%、75%、60%、50%、30%、0% 重建, 随着重建间隔的变小图像质量评分明显增高, 但重叠重建率 75% 和 90% 的图像质量评分无明显差异, 因此我们认为不必追求过多的密集重建, 重叠 75% (重建间隔 1.25mm) 既能保证图像质量又能缩短重建时间和 CTVG 成像时间。

重建算法: CT 图像重建的数学演算方式影响 CT 对细小结构的分辨率。我们的研究中标准算法(STD)的图像质量评分高于软组织算法和细节算法, 后两者又优于骨算法和肺算法。应用 STD 重建方式, 模型边缘线及条形伪影均不明显, CTVG 影像表面相对光滑。

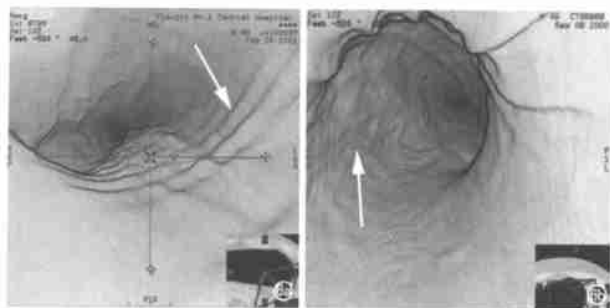


图 6 伪影。a) 阶梯状伪影(箭); b) 条状伪影(箭)。

CTVG 图像的伪影: CTVG 图像的伪影包括阶梯状伪影和条状伪影(图 6)。阶梯状伪影与 Z 轴方向垂直, 其产生原因在于使用较大的重建间隔和不对称内插运算方法。条形伪影与 Z 轴方向平行, 常与阶梯状伪影交错呈网状, 出现于使用高空间

分辨率算法的重建方式(如骨、肺)。阶梯状伪影和条状伪影相互垂直分割物体表面形成假性的结节影像, 应引起注意。认识上述伪影的基本形态可避免在实际应用中将伪影误诊为病变, 并有助于在伪影的背景中分辨出微小病变。两者的区别在于前者呈规律性的网格分布, 且主要见于高空间分辨率算法时, 后者则无此规律。

通过模型研究发现准直器宽度、重叠重建率、重建算法及气量等诸多因素会对 CTVG 图像质量产生不同程度的影响, 因此, 给予 1500ml 气量并采用扫描层厚 5mm、床速 7.5mm/s 的组合、HQ 扫描模式、重叠重建率 75% 及 STD 重建方式进行扫描和重建可获得微小结构分辨良好、表面较光滑、伪影及变形较不明显的优良三维图像, 从而使 CTVG 技术成为显示胃部结构和病变的有效方法之一。

参考文献

- 1 Springer P, Dessl A, Giacomuzzi SM, et al. Virtual computed tomography gastroscopy: a new technique[J]. Endoscopy, 1997, 29(7): 632.
- 2 李子平, 许达生, 孟俊非. CT 仿真内镜成像技术临床应用的初步探讨[J]. 中华放射学杂志, 1998, 32(2): 104-107.
- 3 韩萍, Brambs HJ, Sokiranski R. CT 仿真内镜对鼻腔结构与病变显示能力的研究[J]. 中华放射学杂志, 1999, 33(1): 7-11.
- 4 Rodenwaldt J, Kopka L, Roedel R, et al. 3D virtual endoscopy of the upper airway: optimization of the scan parameters in a cadaver phantom and clinical assessment[J]. J Comput Assist Tomogr, 1997, 21(3): 405-411.
- 5 Summers RM. Navigational aids for real-time virtual bronchoscopy[J]. AJR, 1997, 168(9): 1165-1170.
- 6 Vining DJ, Gelfand DW, Bechtold RE, et al. Technical feasibility of colon imaging with helical CT and virtual reality (abstract)[J]. AJR, 1994, 162(Suppl): 104.
- 7 赵殿辉, 洪泳, 沈天真. 电子束 CT 内镜结肠模拟息肉的实验研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 1998, 4(2): 153-155.
- 8 Sheppard DG, Lyer RB, Herron D, et al. Subtraction CT colonography: feasibility in an animal model[J]. Clin Radiol, 1999, 54(2): 126-132.
- 9 Hui Hu. Multislice helical CT: scan and reconstruction[J]. Med Phys, 1999, 26(1): 5-18.

(2002-02-07 收稿 2002-05-02 修回)

《放射学实践》“器官移植影像”专题约稿

本刊在近期拟组织一批器官移植影像方面的优秀论文, 以专题形式编发, 于 2003 年初集中刊登, 让读者更全面、更直接的了解国内器官移植影像发展的近况和趋势。现特邀请器官移植影像研究专业的专家为该专题撰写稿件。

内容: ①对某一个或几个移植器官、组织的影像论述; ②涉及器官移植诊断方法(如 X 线、CT、MRI、超声、核医学等)或治疗的论述、介绍; ③器官移植相关的某一个或某些病变的论述、比较、鉴别; ④器官移植放射学的回顾与进展、目前地位、展望、概观、纵览等; ⑤罕见或特殊的器官移植放射诊断病例; ⑥器官移植的影像、病理、临床综合研究、比较等(来稿务必附寄典型图片)。欢迎广大读者踊跃投稿, 来稿请注明“专题约稿”字样。

(本刊编辑部)