

双源 CT 扫描模式对头颈部辐射剂量和影像质量的影响

牛延涛 张永县 郭森林 虞滨滨

100730 北京,首都医科大学附属北京同仁医院放射科

通信作者:牛延涛,Email:ytniu163@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.12.014

【摘要】 **目的** 探讨头颈部 CT 扫描中,不同扫描模式对辐射剂量和影像质量的影响程度。**方法** 利用头颈部仿真模体和双源 CT,分别使用固定扫描条件 120 kV 和 200 mAs,以及自动管电流调制技术(CARE Dose 4D)、自动管电压调制技术(CARE kV)和部分角度扫描模式(X-CARE)的组合进行成像,分别为 120 kV + 200 mAs、120 kV + 200 mAs + X-CARE、CARE Dose 4D + 120 kV、CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE、CARE Dose 4D + CARE kV、CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 6 种扫描模式。每次扫描均使用两片热释光剂量片(TLD)分别测量眼晶状体和甲状腺的剂量,两片 TLD 所测数值取均值。记录以上各种扫描时的容积 CT 剂量指数($CTDI_{vol}$)和剂量长度乘积(DLP),测量眼晶状体层面和甲状腺层面影像的对比度噪声比(CNR)。**结果** 120 kV + 200 mAs 扫描时,眼晶状体和甲状腺的器官剂量分别为 19.8 和 26.0 mGy,使用 120 kV + 200 mAs + X-CARE 可降低剂量至 13.3 和 22.2 mGy;与 CARE Dose 4D + 120 kV 相比,CARE Dose 4D + CARE kV 可使 $CTDI_{vol}$ 由 13.1 降至 10.1 mGy,眼晶状体剂量和甲状腺剂量由 20.8 和 23.7 mGy 分别降至 16.6 和 19.9 mGy,而使用 CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 时,器官剂量又进一步分别降至 6.3 和 11.0 mGy,但影像质量显著降低;与 CARE Dose 4D + 120 kV 相比,使用 CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE,眼晶状体和甲状腺剂量分别由 20.8 和 23.7 mGy 降至 9.6 和 15.1 mGy,同时 $CTDI_{vol}$ 由 13.1 mGy 降至 9.3 mGy。使用 CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 时, $CTDI_{vol}$ 和器官剂量降至最低,但头颅和颈部 CNR 也降至最低。**结论** 颅脑扫描时 CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE 模式、颈部扫描时 CARE Dose 4D + CARE kV 模式在保持影像质量较好的同时可有效降低辐射剂量。当对影像质量要求不高时可选用 CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 模式,从而显著降低辐射剂量。

【关键词】 双源 CT; 头颈部; 辐射剂量; 眼晶状体; 甲状腺

基金项目:北京市自然科学基金(7142039);北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养计划(20143019)

Investigation on effect of dual-source CT scanning patterns on radiation dose and image quality of head and neck

Niu Yantao, Zhang Yongxian, Guo Senlin, Yu Binbin

Department of Radiology, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China

Corresponding author: Niu Yantao, Email: ytniu163@163.com

【Abstract】 **Objective** To study the impact on the radiation dose, organ doses of eye lens and thyroid and image quality with different scanning modes in head and neck CT scan. **Methods** The simulation phantom of head and neck was scanned by using fixed scanning condition (120 kV and 200 mAs), as well as the combinations of automatic tube current modulation (CARE Dose 4D), automatic tube voltage modulation technique (CARE kV) and partial angle scanning mode (X-CARE) respectively. Six kinds of scanning modes were adopted, including 120 kV + 200 mAs, 120 kV + 200 mAs + X-CARE, CARE Dose 4D + 120 kV, CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE, CARE Dose 4D + CARE kV, CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE. Two thermoluminescence dosimeters (TLDs) were exposed at the skin surface positions of eye lens and thyroid, and the values measured with two TLDs were averaged. The CT dose index volume ($CTDI_{vol}$) and dose length product (DLP) for every scan were recorded, and the contrast to noise ratio (CNR) in eye lens section and thyroid section were measured. **Results** The organ doses of lens and thyroid were 19.8 and 26 mGy at 120 kV and 200 mAs, as well as 13.3 and 22.2 mGy

at X-CARE mode. Compared with the manual selection of 120 kV, the combination of CARE kV and CARE Dose 4D made the values of $CTDI_{vol}$ drop from 13.1 to 10.1 mGy, the doses of eye lens and thyroid from 16.6 and 20.8 mGy to 23.7 and 19.9 mGy respectively, while the image quality reduced significantly. Compared with CARE Dose 4D + 120 kV, the organ doses of eye lens and thyroid were reduced from 20.8 and 23.7 mGy to 9.6 and 15.1 mGy for with additional X-CARE, while $CTDI_{vol}$ dropped from 13.1 to 9.3 mGy. When the combination of CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE was used, $CTDI_{vol}$ and organ doses were reduced to a minimum, when the CNRs of head and neck were also minimized. **Conclusions** The scanning mode CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE for head and CARE Dose 4D + CARE kV for neck can effectively reduce the radiation dose while keeping good image quality. When requirements for image quality are not high, CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE mode can be selected to reduce the radiation dose significantly.

【Key words】 Dual-source CT; Head and neck; Radiation dose; Eye lens; Thyroid

Fund programs: Beijing Natural Science Foundation (7142039); High-level Technical Personnel Training Plan in Beijing Health System(20143019)

CT 作为头颈部疾病的成像学方法之一,临床实践中的检查数量越来越多。头颈部的解剖结构具有其特殊性,颅底区域结构致密、颈部组织较薄、颈胸交界处突然增宽,使得扫描条件的选择具有很大的不确定性。眼晶状体和甲状腺作为头颈部对电离辐射比较敏感的表浅器官,如何在不影响影像质量的前提下尽量降低器官剂量,是近年来多排 CT 研究的热点之一^[1-3]。现代高端 CT 具有多种辐射剂量优化的扫描模式,比如自动管电流调制技术、自动管电压调制技术、部分角度扫描方式等,均能在一定程度上优化扫描参数,本研究的目的是探讨不同辐射剂量调制技术的组合对辐射剂量,尤其是眼晶状体和甲状腺的器官剂量,以及影像质量的影响程度,以期获得适宜的扫描模式来指导临床实践,尽可能降低受检者的辐射剂量。

材料与方 法

1. 实验材料:Somatom Flash CT(德国西门子公司),头颈部拟人模体 CIRS 711HN,热释光剂量片(TLD)。

2. 实验方法:将头颈部拟人模体平放于 CT 扫描床头托内,按照临床工作中头颈部 CT 扫描方式摆位。使用该设备具有的辐射剂量调制技术(自动管电流调制技术 CARE Dose 4D、自动管电压调制技术 CARE kV 和部分角度扫描技术 X-CARE)进行实验方案的设计。分别使用 6 种不同的扫描模式 120 kV + 200 mAs、120 kV + 200 mAs + X-CARE、CARE Dose 4D + 120 kV、CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE、CARE Dose 4D + CARE kV 和 CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 对头颈部进行扫描,扫描范围均为眶上缘至胸锁关节,其他参数如螺距、机架旋转时间等均使用默认参数并保持不变。

3. 器官剂量测量和数据记录:在眼晶状体和甲状腺区域表面分别放置两片 TLD,每次扫描完成后进行更新。TLD 读取数据后取均值。记录每种扫描模式下的容积 CT 剂量指数($CTDI_{vol}$)和剂量长度乘积(DLP)。

4. 图像处理:对获得的影像按临床常规重组方式得到 3 mm 层厚的重组影像,选择眼晶状体层面和甲状腺层面的影像,在相同的区域(影像内和影像外空气区域)选择直径为 1 cm 的兴趣区,测量 CT 值均值和标准差,计算对比度噪声比(CNR)。

结 果

1. 不同扫描模式下头颈部的辐射剂量的影响:6 种扫描模式下对应的扫描参数和辐射剂量如表 1 所示。

以固定参数(120 kV、200 mAs)的影像质量和辐射剂量为参照,使用 X-CARE 功能时, $CTDI_{vol}$ 不变,眼晶状体和甲状腺的器官剂量降低幅度分别为 32.8% 和 14.6%。使用固定管电压 120 kV 和自动管电流调制 CARE Dose 4D 时,头部的影像质量和眼晶状体辐射剂量基本与固定 200 mAs 时相同,而颈部影像质量有一定程度下降,甲状腺辐射剂量降低 8.8%;再增加 X-CARE 功能时, $CTDI_{vol}$ 降低 29.0%,眼晶状体和甲状腺剂量的降低幅度分别为 53.8% 和 36.3%。

与 120 kV + CARE Dose 4D 相比,使用自动管电压 CARE kV + CARE Dose 4D 时, $CTDI_{vol}$ 降低了 22.9%,眼晶状体和甲状腺剂量分别降低了 20.2% 和 16.0%,影像质量未受影响;当增加 X-CARE 功能时, $CTDI_{vol}$ 进一步降低 36.6%,眼晶状体和甲状腺剂量进一步降低了 61.9% 和 44.7%。

2. 不同扫描模式对头颈部影像质量的影响:如

表 1 不同扫描模式与辐射剂量和影像质量的关系

Table 1 The relationship of different scanning modes and radiation dose and image quality

扫描模式	管电压 (kV)	管电流 (mAs)	CTDI _{vol} (mGy)	头颅 CNR	颈部 CNR	眼晶状体 剂量 (mGy)	甲状腺剂量 (mGy)
120 kV + 200 mAs	120	200	13.4	199.8	429.2	19.8	26.0
120 kV + 200 mAs + X-CARE	120	200	13.8	199.5	411.2	13.3	22.2
CARE Dose 4D + 120 kV	120	211	13.1	197.4	341.8	20.8	23.7
CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE	120	134	9.3	170.6	282.2	9.6	15.1
CARE Dose 4D + CARE kV	100	267	10.1	179.2	320.1	16.6	19.9
CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE	80	330	6.4	114.1	224.3	6.3	11.0

注:CTDI_{vol}. 容积 CT 剂量指数;CNR. 对比度噪声比。X-CARE 为部分角度扫描技术;CARE Dose 4D 为自动管电流调制技术;CARE kV 为自动管电压调制技术

表 1 所示,6 种扫描模式下,获得影像质量有所差别。其中,120 kV + 200 mAs、120 kV + 200 mAs + X-CARE 和 CARE Dose 4D + 120 kV 3 种模式下头颅 CNR 基本相同,CARE Dose 4D + 120 kV 的颈部 CNR 稍低于其他两种模式。其余 3 种扫描模式下,CARE Dose 4D + CARE kV 影像质量最高,CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE 次之,CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 的影像质量最低。6 种扫描模式下影像质量与辐射剂量 CTDI_{vol} 的变化规律呈正相关,但表浅器官剂量在 120 kV + 200 mAs 及 CARE Dose 4D + 120 kV 最高,在 CARE Dose 4D + CARE kV + X-CARE 及 CARE Dose 4D + 120 kV + X-CARE 时最低。

讨 论

CT 作为占公众累积剂量很大比重的人工辐射源之一,其辐射剂量的降低近些年来一直是人们关注的热点。随着多排探测器 CT 技术的革新和成像技术的多样化,影响辐射剂量的因素变得更为复杂,CT 辐射剂量的系统性优化也成为难点。多年来,CT 使用人员探索了多种降低辐射剂量的方法和手段(比如调节管电压、mAs、螺距、探测器排数组合、体位、扫描中心等),CT 生产商也开发了多种降低辐射剂量的硬件和软件技术。

传统 CT 扫描一般采用固定管电压和固定 mAs 的扫描方式,导致较厚解剖部位的影像噪声较大,较薄部位的剂量又相对过高。自动 mAs 技术(如 CARE Dose 4D)的出现实现了辐射剂量随解剖部位厚度的变化而实时调节,影像质量保持相对统一,是辐射剂量优化的一大进步^[4],但解决不了射线能量与体厚不匹配而带来的问题。近年来出现的自动管电压技术(如 CARE kV),可根据定位像扫描时被检体对射线的衰减特性,由设备自动设定适用于

当前被检体的一种管电压,可避免体厚过大、射线能量穿透性不足或体厚过小、射线能量过高而导致的剂量增加,是一种较高智能的剂量调制技术^[5]。本研究结果显示,管电压不变时,使用自动 mAs 技术 CARE Dose 4D 对颅脑区域的影像质量(CNR 为 199.8 和 197.4)和眼晶状体器官剂量(19.8 和 20.8 mGy)影响不大,对颈部区域的影像质量(CNR 为 429.2 和 341.8)和甲状腺器官剂量(26.0 和 23.7 mGy)影响较大。当使用 CARE Dose 4D 时,与手动选择 120 kV 相比,CARE kV 由设备自动选择 100 kV,使得 CTDI_{vol} 降低了 22.9%,使得眼晶状体剂量和甲状腺剂量分别降低了 20.2% 和 16.0%,而头颅和颈部的 CNR 保持基本一致。

本实验数据显示,固定管电压和固定管电流(mAs)时,使用 X-CARE 不影响图像质量但会降低表浅辐射敏感器官的剂量;固定管电压和自动 mAs 时,使用 X-CARE 会显著降低 CTDI_{vol} 以及表浅器官的辐射剂量,同时也会在一定程度上降低影像质量;自动管电压和自动 mAs 时,使用 X-CARE 可显著降低 CTDI_{vol}、表浅辐射敏感器官剂量,同时影像质量也降至 6 种扫描模式的最低水平。与自动 mAs 和固定管电压组合相比,使用自动管电压可使 CTDI_{vol}、表浅器官剂量明显减小,但影像质量也有一定程度的降低。

众所周知,CT 扫描中 X 射线管围绕人体旋发出射线,在一个层面范围内越靠近皮肤辐射剂量就会越大,而人体中有些表浅的辐射敏感器官比如眼晶状体、甲状腺、乳腺、生殖腺等接受的辐射剂量就会较大。如何降低这些敏感器官的剂量,很多研究者做了有益的探讨,有的通过降低管电压或 mAs 降低辐射剂量^[6-7],有的使用扫描平面内的屏蔽物来实现剂量降低^[8],有的通过改变扫描体位使敏感器官避开原发射线或者使用迭代算法来降低剂

量^[9]。近年来,新型 CT 采用了一种部分角度扫描的技术(如 X-CARE),在 X 射线管转至人体前方 90°或 120°范围内时不发出射线或发出少量射线,尽可能不让表浅器官位于射线传输路径的入射面,从而有效降低这些器官的辐射剂量。本实验结果显示,固定 120 kV 和 200 mAs 扫描时眼晶状体和甲状腺的器官剂量分别为 19.8 和 26 mGy,使用 X-CARE 可使眼晶状体和甲状腺剂量分别降低了 32.8% 和 14.6%。与 CARE Dose 4D + CARE kV 相比,联合使用 X-CARE 时器官剂量进一步分别降低了 61.9% 和 44.7%,但头颅和颈部 CNR 却由 179.2 和 320.1 显著降至 114.1 和 224.3。与 CARE Dose 4D + 120 kV 相比,使用 X-CARE 可使眼晶状体和甲状腺剂量分别降低了 53.8% 和 36.3%,CTDI_{vol} 降低了 29%,同时 CNR 也有一定程度的降低(头颅 CNR 由 197.4 降至 170.6,颈部 CNR 由 341.8 降至 282.2)。

综上,不同扫描技术的组合可对受检者的辐射剂量和辐射敏感器官的剂量产生显著的影响,同时对影像质量的影响也较大。头颅区域扫描时 CARE Dose 4D 的作用很小,但 CARE kV 和 X-CARE 可有效降低眼晶状体剂量;颈部扫描时 CARE Dose 4D、CARE kV 和 X-CARE 均能对降低辐射剂量发挥显著作用;三者同时使用时,辐射剂量大幅降低的同时影像质量也显著下降。因此,在临床实践中,应根据具体的临床需求和对兴趣解剖部位的影像质量的要求合理地选择扫描方案,以期在获得满足影像质量的同时合理和有效地降低辐射剂量。

本研究的不足之处有两点:一是使用拟人模体,利于测量 CNR 作为影像质量的评价指标,但没有微细解剖细节作为评价目标;二是没有对临床病例的可接受影像,以及不同的 CT 检查项目与本实验各种扫描方案的影像质量进行对照。下一步结合临床病例,对不同扫描方案的特点进行进一步研究。

利益冲突 作者无利益冲突,排名无争议,作者的配偶、工作伙伴或子女不存在影响研究结果的财务关系,在此对研究的独立性和科学性予以保证

作者贡献声明 牛延涛负责实验设计和论文撰写;张永县负责实验的实施和结果的汇总;郭森林和虞滨滨参与实验数据的整理、测量和分析处理

参 考 文 献

[1] Hein E, Rogalla P, Klingebiel R, et al. Low-dose CT of the paranasal sinuse with eye lens protection: effect on image quality

and radiation dose [J]. *Eur Radiol*, 2002, 12 (7): 1693-1696. DOI: 10.1007/s00330-001-1279-9.

- [2] Hopper KD, Neuman JD, King SH, et al. Radioprotection to the eye during CT scanning [J]. *Am J Neuroradiol*, 2001, 22 (6): 1194-1198. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0002-9394(01)01224-7.
- [3] 牛延涛, 鲜军舫, 王振常. 头颈部多层螺旋 CT 扫描辐射剂量系统性优化的研究现状与展望 [J]. *中华放射学杂志*, 2013, 47 (11): 1051-1053. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.11.026.
- Niu YT, Xian JF, Wang ZC. Research status and prospects of systematic optimization of radiation dose in head and neck MSCT [J]. *Chin J Radiol*, 2013, 47 (11): 1051-1053. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.11.026.
- [4] 刘昌盛, 查云飞, 李茂进, 等. Z 轴自动管电流调制技术在头颈部 CT 扫描血管成像中对甲状腺剂量的降低 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2010, 30(4): 486-488. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2010.04.033.
- Liu CS, Zha YF, Li MJ, et al. Reduction in thyroid dose from neck CT angiography with 64-slice spiral CT with automatic tube current modulation technique [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2010, 30(4): 486-488. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2010.04.033.
- [5] 许轶群, 孟名柱, 钱农, 等. 智能最佳管电压技术降低胸部 CT 辐射剂量的前瞻性研究 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2013, 33 (6): 664-667. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.06.027.
- Xu YQ, Meng MZ, Qian N, et al. Prospective study on the value of CARE kV technique in reducing the radiation dose in adult chest CT imaging [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2013, 33 (6): 664-667. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.06.027.
- [6] Gnannt R, Winklehner A, Goetti R, et al. Low kilovoltage CT of the neck with 70 kVp: comparison with a standard protocol [J]. *Am J Neuroradiol*, 2012, 33 (6): 1014-1019. DOI: 10.3174/ajnr.A2910.
- [7] Wichmann JL, Kraft J, Nöske EM, et al. Low-tube-voltage 80-kVp neck CT: evaluation of diagnostic accuracy and interobserver agreement [J]. *Am J Neuroradiol*, 2014, 35 (12): 2376-2381. DOI: 10.3174/ajnr.A4052.
- [8] 牛延涛, 宋尧尧, 张永县, 等. 铋屏蔽对头颈部多层螺旋 CT 中眼晶状体辐射剂量的降低作用 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2015, 35 (2): 71-75. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.02.018.
- Niu YT, Song YY, Zhang YX, et al. Radiation dose reduction to the lens of eye with bismuth shielding in head and neck MSCT [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2015, 35 (2): 71-75. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.02.018.
- [9] Funama Y, Taguchi K, Utsunomiya D, et al. Combination of a low-tube-voltage technique with hybrid iterative reconstruction (iDose) algorithm at coronary computed tomographic angiography [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2011, 35 (4): 480-485. DOI: 10.1097/RCT.0b013e31821fee94.

(收稿日期: 2016-07-25)