

论 著

佳能640层CT器官有效调制技术在胸部CT扫描中的应用价值*

王 武 李 炜 刘兴利
宋 巍 吕 梁 杨江茂*

云南省第一人民医院(昆明理工大学附属医院)放射科(云南昆明 650032)

【摘要】目的 探讨器官有效调制技术(the effect of organ effective modulation, OEM)在胸部CT扫描中对图像质量和辐射剂量的影响。**方法** 前瞻性纳入46名胸部增强病人(男25例,女21例)。动脉期扫描时使用佳能640层CT OEM技术(OEM组),延迟期关闭OEM(常规组),其余扫描条件保持一致。对比两组辐射剂量及主、客观图像质量的差异。**结果** OEM组CDTI降低了3.9%(5.84 vs 6.08 $P < 0.0001$), DLP降低了4.4%(219.36 vs 229.52 $P < 0.0001$), 辐射剂量降低了4.3%(3.07 vs 3.21 $P < 0.0001$), 但OEM组客观图像质量较常规组有所降低(噪声7.9 vs 6.24 $P < 0.0001$), 主观图像质量两组评估均满足诊断需求且两组间观察者间一致性表现良好。**结论** OEM技术在胸部CT扫描中单期辐射剂量可降低4%, 多期扫描辐射剂量可降低8%~12%, 客观图像质量有所下降但不影响图像诊断的可接受性。

【关键词】 CT; 器官有效调制技术; 辐射剂量; 图像质量

【中图分类号】 R816.4

【文献标识码】 A

【基金项目】 云南省万人计划名医专项
(YNWR-MY-2019-011)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.04.016

Application Value of Canon 640 CT Organ Effective Modulation Technique in Chest CT Scan*

WANG Wu, LI Wei, LIU Xing-li, SONG Wei, LV Liang, YANG Jiang-mao*.

Department of Radiology, The First People's Hospital of Yunnan Province(The Affiliated Hospital of Kunming University of Science and Technology), Kunming 650032, Yunnan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the effect of organ effective modulation on subjective and objective image quality and radiation dose of chest computed tomography (CT). **Methods** This retrospective study included 46 patients with chest enhancement were prospectively included, All patients turned on OEM technology during arterial phase scanning, Control tube current through angle longitudinal modulation technology and OEM Technology (OEM group), Turn off OEM during delay scan (general group), The tube current is controlled by angle longitudinal modulation technology, The other scanning conditions such as kV, pitch, ball tube rotation time and detector row number remain the same. The radiation dose, subjective image quality and objective image quality were compared between the two groups. **Results** The arterial phase of opening OEM technology in the same patient was compared with the delayed phase of not using OEM, CDTI decreased by 3.9% (5.84 vs 6.08, $P < 0.0001$), DLP decreased by 4.4% (219.36 vs 229.52, $P < 0.0001$), and radiation dose decreased by 4.3% (3.07 vs 3.21, $P < 0.0001$). However, the objective image quality of OEM group was lower than that of conventional group (noise 7.9 vs 6.24, $P < 0.0001$), but the subjective image quality evaluation of the two groups met the diagnostic needs. **Conclusion** In chest CT scanning, OEM technology can reduce the radiation dose by about 4% without affecting the acceptability of image diagnosis. Using OEM technology for all phases can reduce the radiation dose by approximately 12%.

Keywords: CT; The Effect of Organ Effective Modulation; Radiation Dosage; Image Quality.

随着医学的不断进步及CT设备大幅度的飞越发展, CT检查频率也随之大大的增加^[1-3]。CT辐射剂量带来的潜在危害也引起人们担忧^[4], 尤其是对辐射敏感器官的影响, 如频繁的辐射暴露会增加乳腺癌的患病风险等^[5-6]。因此, 各类旨在降低辐射剂量的优化技术备受关注^[7-8], 管电压及管电流调控是降低辐射剂量的主要有效方式^[9-11], 管电流调控降低辐射剂量可以进行手动调整, 也可以使用自动曝光控制。管电流调制分为三种类型: xy轴(角)调制与z轴(纵向)调制以及xyz轴(角-纵向)调制^[12-13]。OEM是基于器官的自动曝光控制(automatic exposure control, AEC)^[14], 在扫描前体时降低管电流而在后部扫描时不增加管电流, 结合了xyz调制技术和前后不对称调制, 可将受检者前部的辐射剂量降低约60%^[15]。在放射敏感器官, 例如甲状腺和乳房, 眼晶状体等前部器官的CT检查中有着巨大的防护潜力和应用前景。但目前关于OEM的研究较少, 多为体膜研究或欧美研究, 人种的不同也可能带来研究结果的差异, 目前尚缺乏中国人种的数据, 尚需更多数据对OEM的临床应用价值进行评估。因此, 本研究拟通过同一病人自身对照, 对OEM进行了客观及主观图像质量及辐射剂量的评估, 探讨OEM技术在胸部CT扫描中临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性纳入了云南省第一人民医院放射科2021年6月至2021年7月间的46例在佳能640层CT(日本佳能医疗系统公司Aquilion ONE)行胸部增强CT扫描病人(平均年龄 52.3 ± 13.12岁, 男性25例, 女性21例)。

纳入标准: 符合胸部CT增强检查适应症。排除标准: 符合胸部CT增强检查禁忌症。

1.2 CT数据采集及辐射剂量评估 所有CT检查均使用640螺旋CT(日本佳能医疗系统公司Aquilion ONE)在以下设置下进行: 电压120 kVp, 探测器准直80×0.5mm, 螺距系数0.812, 旋转时间0.5s, MIN: 100mA, MAX: 700mA, 扫描层厚5mm。所有病人病人的胸部CT扫描数据分为两组, OEM组: 开启OEM技术的动脉期, 常规组: 未使用OEM技术的延迟期。扫描结束后分别记录OEM组和常规组两组图像的辐射剂量参数, 包括总毫安值(总mAs)和体积CT剂量指数(CTDIvol)以及剂量长度乘积(DLP)。并对两组客观图像质量及主观图像质量进行评估。

1.3 客观图像质量分析 为尽可能降低对比剂量在不同时相对图像信噪比和对比噪声比的影响, 本研究将腹侧及背侧肌肉的噪声作为客观图像质量的评估指标, ROI勾画见图1。在同一病人病人中进行自身对照, 对比OEM组和常规组同一部位的噪声差异, 同时也对比在同一病人病人中OEM技术对腹侧组织及背侧组织的降低mAs的程度及随伴随的噪声差异。

1.4 主观图像评价 两位医生对使用的剂量调制类型不了解, 只通过阅片评估主观图像质量。参照5点量表评估法, 根据图像清晰度、噪声、伪影、胸部总体诊断可接受性对主观

【第一作者】 王 武, 男, 主管技师, 主要研究方向: CT技术扫描。E-mail: khyywangwu123@126.com

【通讯作者】 杨江茂, 男, 主任技师, 主要研究方向: X线技术。E-mail: yin999111@163.com

图像质量进行评估(表1)。

1.5 观察者间一致性评估 主观图像质量及客观图像质量评估均由两名具有20年经验的放射科医生(副主任医师, 主观技师)进行双盲评价, 并对两位研究的研究数据进行观察者间一致性评估。

1.6 统计分析 对比OEM组和常规组的辐射剂量及图像质量。资料均以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。对于正态分布的资料, 两组间比较采用成对样本t检验;非正态分布的计量资料, 两组间比较采用非参数检验(配对样本的Wilcoxon秩和检验), 分类资料观察者间一致性分析采用Kappa一致性检验, 定量资料观察者间一致性分析采用ICC组内相关系数。 $P < 0.05$ 被认为具有统计学差异。统计学软件采用SPSS 22.0, MedCalc 18.2.1。

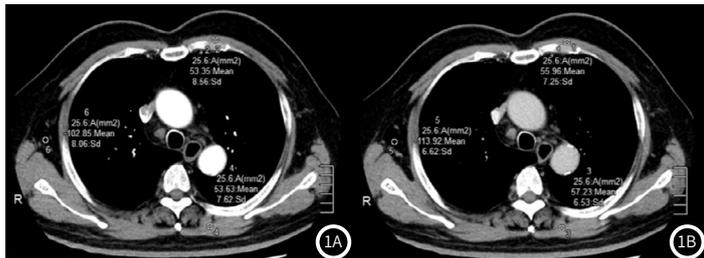


图1A-图1B 客观图像质量评估ROI勾画示意图; 图1A OEM组; 图1B 常规组。两组分别测量测量背侧肌肉及腹侧肌肉的噪声值。

2 结果

2.1 辐射剂量对比 CT辐射评估主要参数如CT剂量指数(CTDI)、剂量长度乘积(DLP)OEM组均较常规组降低, 降低幅度约为4%(3.07 vs 3.21, $P < 0.0001$)。

2.4 观察者间一致性分析 两名具有20年经验的放射科医生分别对主观图像质量及客观图像质量进行评估, 观察者间一致性分析结果如下: 客观图像评分: 常规组腹侧噪声($r=0.885$), 常规背侧噪声($r=0.873$)OEM腹侧噪声 $r=0.904$ OEM组背侧噪声($r=0.886$)。主观图像质量评估: 图像清晰度常规组(Kappa=0.70)图像清晰度OEM组(Kappa=0.66).图像噪声常规组(Kappa=0.75)图像噪声OEM组(Kappa=0.70), 图像伪影常规组(Kappa=0.73), 图像伪影OEM组(Kappa=0.70), 图像总体评分常规组(Kappa=0.73), 图像总体评分OEM组(Kappa=0.74)。

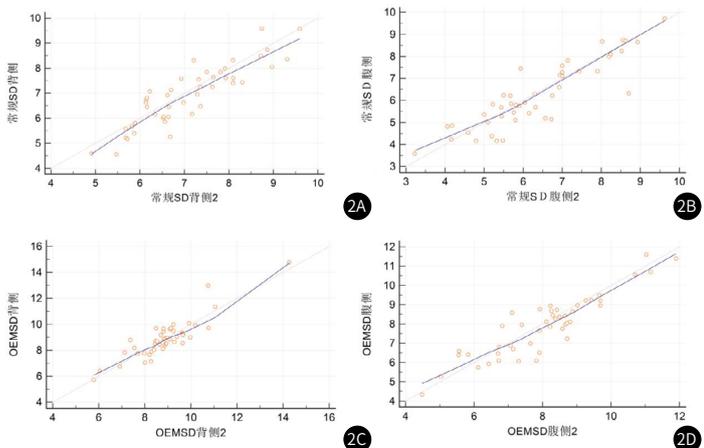


图2A-图2D 观察者间一致性分析相关系数图。图2A 常规组背侧噪声的观察者间一致性分析; 图2B 常规组腹侧噪声的观察者间一致性分析; 图2C OEM组背侧噪声的观察者间一致性分析; 图2D OEM组腹侧噪声的观察者间一致性分析。

2.2 客观图像质量对比 OEM组较常规组mAs更低, 差异有统计学意义。OEM组腹侧图像噪声较常规组增加了26%(7.7 vs 6.24, $P < 0.0001$), OEM组腹侧图像噪声较常规组增加了29%(8.9 vs 6.92, $P < 0.0001$), 见表2。

表1 主观图像质量评估5点量表

等级	图像清晰度	噪声	伪影	诊断可接受性
1	模糊	不可接受	不可接受	不可接受
2	低于平均	高于平均	严重人为因素	诊断受限
3	平均	可接受	可接受	可接受
4	高于平均	低于平均	小伪影	良好图像质量
5	非常清晰	没有或最小	没有伪影	优秀

表2 扫描参数及辐射剂量对照

	Kv	mAs	CTDI	DLP	mSv
OEM组	120	51±1.4	5.84±0.57	219.36±19.3	3.07±0.28
常规组	120	54±1.8	6.08±0.54	229.52±20.2	3.21±0.27
P值		$P < 0.0001$	$P < 0.0001$	$P < 0.0001$	$P < 0.0001$
Z值		-4.73	-5.29	-5.35	-5.35

注: CTDI: computed tomography dose index;

DLP: Dose Length Product; 所有变量均以平均值±SD表示。

2.3 图像的主客观分析 结果如表3中显示, 在整个胸部CT增强检查中, OEM组相对来说颗粒感稍强, 但在图像噪声、清晰度以及整体诊断上可接受。除伪影指标外, 两组图像的主观质量评估指标清晰度、噪声和总体评分均无统计学差异($P > 0.05$)。

表3 主客观图像质量评估

	图像清晰度	噪声	伪影	总体评分	腹测噪声	背侧噪声
OEM组	4.15±0.41	4.48±0.58	4.08±0.47	4.34±0.51	7.9±1.54	8.9±1.5
常规组	4.21±0.48	4.46±0.62	4.22±0.42	4.37±0.50	6.24±1.49	6.92±1.2
P值	0.26	0.90	0.04	0.65	$P < 0.0001$	$P < 0.0001$

注: 所有变量均以平均值±SD表示。

3 讨论

自从1994年角调制用于单探测器螺旋CT以来^[16], 低Kv结合低mAs的AEC技术是目前降低辐射剂量的主要方式, 但kv和mAs的降低同时也伴随着图像质量的降低。因此, 如何兼顾图像质量和辐射剂量也是优化CT扫描协议热点及难点问题^[17-19]。OEM技术通过选择性降低mAs, 当X射线管穿过病人病人的前表面(120度角范围)时, 管电流减小, 而后部管电流保持不变, 该技术在降低辐射剂量的同时也保证了图像质量的降低在可接受范围内, 进而减少对辐射敏感的前脏器(例如, 晶状体, 甲状腺和乳房)的辐射^[14,20-22]。OEM和以前基于器官的AEC类型之间有两个主要区别, 首先是OEM的管电流减小角更大(OEM的180度, 前一种AEC的120度), 对前部器官的辐射剂量降低程度更大。其次是保持了后部电流保持不变可进一步减低辐射剂量, 而在前一类基于器官的AEC中, 后部的管电流是增加的以使总的管电流暴露时间维持在360度以上。在此技术中, 在180度的角度范围内, 管电流比最大管电流(通常通过侧向投影实现, 但病人病人之间可能有所不同)最多降低60%。管电流的减小从侧向投影开始, 最大的减小在前后投影处实现, 并且减小在对侧投影处衰减到正常水平, 在其余180度角范围内, 管电流不会改变^[14]。因此, OEM可以减少对身体前部的辐射剂量, 而无需增加对身体背侧部分的辐射剂量。与xyz调制技术一样, OEM具有80mA的下限以保持图像质量。如果计算出的管电流低于80mA, 则仅通过z轴调制来控制辐射暴露。

本研究首次在临床研究中通过同一病人两期数据进行自身对照以获取OEM技术对辐射剂量及图像质量的影响。该研究设计可有效避免个体差异如BMI、性别、年龄、扫描范围、扫描过程中受检者呼吸运动等因素对研究结果的影响, 使得研究结果更加客观、可信。

在本次研究中,我们对OEM技术的临床应用进行了评估,发现该技术可降低降低辐射剂量4%-12%,客观图像质量有所下降,但主观图像质量无显著差异,不影响临床诊断。在病人辐射剂量评估中,本研究研究结果与现有研究结果相似,Hiroyuki Akai等^[15]研究中纳入了196例病人病人,将病人病人分为使用OEM组和不使用OEM两组。OEM组的CTDIvol降低了8.3%(OEM组:5.74 vs 非OEM组:6.26),Joji Ota^[21]等人通过一项亚洲女性60人的研究发现,OEM技术在亚洲女性进行胸部CT平扫时可将乳腺的辐射剂量降低12.2%,两项研究辐射剂量降低的绝对值高于本研究,我们认为造成这种结果的差异可能为是:该两项研究是在不同病人病人随机进行对比OEM比较,而本研究主要是在同一病人病人不同期相的OEM对比,实验准确性更高,消除体重、BMI等个体因素差异的导致的辐射剂量差异的影响,其次样本量及人种差异也可能是其原因之一。同时Joji Ota等^[21]人的研究还进行了体膜研究,体膜研究发现辐射剂量的减少取决于受试体的厚度,当使用直径为32cm的最大模型时,辐射剂量最多可降低34%,随着受试体厚度的减少,剂量减少效果减弱,该研究结果也间接反映了不同研究个体的体型、BMI等个体差异会对研究结果产生显著影响,同一研究个体的自身对照的研究方案不受等因素影响,研究结果更加可靠。

图像质量的评估方面,本研究和Hiroyuki Akai,Joji Ota等研究中均发现OEM组虽伴随着一定程度的图像噪声增加但却并未造成主观图像的差异。Joji Ota等^[21]等人研究发现虽然OEM技术导致了9%的图像噪声的增加,但却不影响主观图像质量,在OEM组和非OEM组的主观图像质量评分没有显著差异。OEM通过降低病人前表面的管电流来实现降低辐射剂量,保护敏感前脏器的作用,但随着管电流的降低也伴随着图像质量的下降,在我们的研究中OEM组前表面(腹侧)图像噪声增加了21%(7.9 vs 6.24 常规组, $P < 0.0001$),这与Hiroyuki Akai等研究结果相似,但明显高于Joji Ota研究中的噪声增加9%,不同研究的研究结果可能与研究方法、样本量、人种有关,未来尚需更多研究、更多数据验证。此外,在我们的研究中我们发现除了腹侧图像噪声增加外,背侧噪声也应相应增加了29%(8.9 vs 6.92, $P < 0.0001$),虽然OEM技术仅降低前体管电流,背侧管电流保持不变,我们推测在本研究出现的背侧噪声增加可能为当OEM降低前体表的mAs后,其背侧受到的累计mAs效应也相应降低,导致最终整体图像质量(腹侧及背侧)下降,但这方面尚需更多研究数据补充验证。虽然OEM伴随着客观图像质量下降,但后期通过迭代重建等技术可以一定程度对图像质量进行补偿^[23-24],以提高其临床适用性。

当然,这项研究也有一定的局限性,虽然本研究为同一病人自身对照,可最大程度减少个体差异对研究结果造成的影响,但依旧不能保证病人动脉期及延迟期保持完成相同的呼吸节律及频率,无法完全避免呼吸动度对图像噪声带来的影响,我们在检查前尽可能训练病人呼吸,让其尽量两次扫描保持一样的呼吸频率,同时在ROI勾画时,尽可能保持一致。

综上所述,佳能640层CT的OEM技术在胸部CT单期扫描中可将辐射剂量减少大约4%,多期扫描辐射剂量大约减少8~12%,有效保护对辐射敏感的前脏器(例如,晶状体,甲状腺和乳房)。对图像的诊断可接受性无明显影响,具有较强的临床实用性和可推广性。

参考文献

- [1] Berrington S, Darby. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries [J]. *Lancet*, 2004, 363 (2): 345-35.
- [2] 周清华, 范亚光, 王颖, 等. 中国肺癌低剂量螺旋CT筛查指南 (2018年版) [J]. *中国肺癌杂志*, 2018, 21 (2): 67-75.

- [3] 中华医学会放射技术分会传染病影像技术专业委员会结核学组, 中华医学会结核病学分会影像专业委员会. 胸部CT扫描规范化专家共识 [J]. *中国医疗设备*, 2020, 35 (2): 185-189.
- [4] 中华医学会放射学分会质量管理与安全管理学组. CT辐射剂量诊断参考水平专家共识 [J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51 (11): 817-822.
- [5] MS Pearce, JA Salotti, MP Little, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study [J]. *Lancet*, 2012, 5 (380): 499-505.
- [6] J Wang, X Duan, JA Christner, et al. Radiation dose reduction to the breast in thoracic CT: comparison of bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and use of a globally decreased tube current [J]. *Med Phys*, 2011, 6 (38): 6084-6092.
- [7] 王甜, 黄婉, 曹治婷, 等. 优化临界率采集方案对320排CT冠状动脉成像图像质量和辐射剂量的影响 [J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2023, 29 (1): 92-95.
- [8] 耿雪, 赵永霞, 张天乐, 等. 全视野器官剂量调制技术在女性化疗患者颈、胸、腹、盆CT增强中的应用研究 [J]. *实用放射学杂志*, 2023, 39 (1): 132-136.
- [9] 龙光峰, 林平, 李国华, 等. 智能最佳管电压 (CAREkV) 技术改善腹部CT图像质量和辐射剂量的价值 [J]. *罕少疾病杂志*, 2016, 23 (4): 52-54.
- [10] 唐茂文, 雷平贵, 李方燕, 等. 基于迭代重建技术及低管电压条件下肝脏CT增强图像特点的研究 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2023, 21 (2): 113-116.
- [11] 夏春潮, 蒲进, 何玲, 等. 128层螺旋CT扫描的室内辐射场分布及辐射剂量 [J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50 (5): 388-390.
- [12] MK Kalra, N Naz, SM Rizzo. Computed tomography radiation dose optimization: scanning protocols and clinical applications of automatic exposure control [J]. *Curr Probl Diagn Radiol*, 2005, 34 (23): 171-181.
- [13] S Rizzo, M Kalra, B Schmidt, et al. Comparison of angular and combined automatic tube current modulation techniques with constant tube current CT of the abdomen and pelvis [J]. *AJR*, 2006, 186 (12): 673-679.
- [14] X Duan, J Wang, JA Christner, et al. Dose reduction to anterior surfaces with organ-based tube-current modulation: evaluation of performance in a phantom study [J]. *AJR*, 2011, 197 (18): 689-695.
- [15] Hiroyuki Akai, Shigeru Kiryu, Eisuke Shibata, et al. Reducing CT radiation exposure with organ effective modulation: a retrospective clinical study [J]. *European Journal of Radiology*, 2016, 85 (9): 1569-1573.
- [16] MK Kalra, MM Maher, TL Toth, et al. Techniques and applications of automatic tube current modulation for CT [J]. *Radiology*, 2004, 233 (5): 649-657.
- [17] 葛晓莉. 宝石能谱CT低剂量扫描肺癌诊断中应用价值探析 [J]. *罕少疾病杂志*, 2022, 29 (9): 28-29.
- [18] 江桂莲, 尹红霞, 胡志海, 等. 双源CT不同扫描条件下颞骨图像质量与剂量的定量研究 [J]. *中国医学装备*, 2020, 17 (4): 12-16.
- [19] 杨炎炎, 黄仲奎. 腹部水模不同管电压、管电流CT扫描的研究 [J]. *医学影像学杂志*, 2018, 28 (4): 678-682.
- [20] D Ketelsen, M Buchgeister, M Fenchel, et al. Automated computed tomography dose-saving algorithm to protect radiosensitive tissues: estimation of radiation exposure and image quality considerations [J]. *Invest Radiol*, 2012, 47 (4): 148-152.
- [21] Ota J, Kawakami Y, Sada T, et al. Calculation of lens exposure reduction using organ-effective modulation in pediatric head CT. [J]. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*, 2021, 77 (4): 326-334.
- [22] J Wang, X Duan, JA Christner, et al. Bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and global reduction of tube current [J]. *Radiology*, 2012, 262 (6): 191-198.
- [23] 何长久, 周鹏, 胡仕北, 等. 迭代算法对超低剂量CT肺部扫描图像质量影响的体模研究 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39 (2): 145-149.
- [24] 马翼, 陆凯. 低剂量CT扫描技术联合图像重建在泌尿系结石诊治中的作用 [J]. *中国CT和MRI杂志*, 2016, 14 (11): 85-87.

(收稿日期: 2023-04-25)

(校对编辑: 姚丽娜)