

基于 VirtualDose 模拟不同 CT 扫描方案的儿童眼晶体剂量

梁保辉^{1,2}, 刘海宽³, 陈志¹, 徐榭^{1,3}

1.中国科学技术大学核科学技术学院, 安徽 合肥 230000; 2.蚌埠医学院医学影像系, 安徽 蚌埠 233030; 3.复旦大学放射医学研究所, 上海 200032

【摘要】目的: 比较分析不同 CT 扫描情况下眼晶体剂量, 探讨减少 CT 检查中儿童眼晶体剂量的方法。**方法:** 利用 VirtualDose™ CT 软件计算 CT 检查时眼晶体剂量, 模拟不同 CT 机、不同体模、不同扫描参数(螺距、管电压、毫安秒、射束准直宽度)对儿童眼晶体剂量的影响。**结果:** 不同厂商型号的 CT 装置其剂量输出特性不同导致儿童眼晶体剂量有一定差异, 眼晶体剂量随 CT 扫描的管电压的增加而增大, 同时也受到准直器宽度变化的影响; 另外, 眼晶体剂量与 CT 扫描的毫安秒成正比, 与螺距大小成反比; 儿童受检者的年龄对眼晶体剂量影响很小。**结论:** 利用 VirtualDose 模拟结果其对儿童眼晶体剂量变化规律与相关报道相符, 可根据相关实验数据简单评估儿童颅脑 CT 眼晶体剂量。多种因素综合影响 CT 检查检查者的眼晶体剂量, 合理选择扫描参数和扫描范围对减少儿童眼晶体剂量有重要意义。

【关键词】 眼晶体; 辐射剂量; CT 检查

【DOI 编码】 doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.02.009

【中图分类号】 R445.3

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2015)02-0193-05

Calculate Lens Dose in Variation CT Protocols Based on VirtualDose Software

LIANG Bao-hui^{1,2}, LIU Hai-kuan³, CHEN Zhi¹, XU Xie^{1,3}

1.School of Nuclear Science and Technology, Universty of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 2.Department of Medical Imaging, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, China; 3. Institute of Radiation Medicine, Fudan University, Shanghai 200032, China

Abstract: Objective To compare and analysis the lens dose in different CT protocols, and to search the method to reduce the lens dose in CT scanning procedures. Methods The VirtualDose software was used to calculate the lenses dose in CT examination, and simulate the variation CT scanners, phantoms, scanning parameters (pitch, kVp, mAs, beam collimation) to influence the lenses dose, and analyze the result of simulation. Results Variations CT of manufactures and patients of age had a little influence for the lens dose, and the main influence factors included kVp, mAs and pitch. It was positive correlation between the lens dose and kVp and beam collimation. The dose of eye lens was inversely proportion with pitch and proportion with mAs. Conclusion In calculating the lens dose, the VirtualDose software is similar with other researches. We can use the data to evaluate the dose of eye lens in child brain CT. There are many factors together determine the lens dose in CT examination. Radiology technicians selecting the appropriate scanning parameters and scanning scope is helpful to reduce the lens dose of patient.

Key words: eye lens; radiation dose; CT examination

前言

据联合国原子辐射效应科学委员会 (United Na-

tions Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) 和国际辐射防护委员会(International Commission on Radiological Protection, ICRP) 统计发现, 医疗照射是全世界公众所受最大的人工辐射源^[1]。近年来 CT 设备不断的发展, 从单层螺旋 CT 到 4 层、16 层、64 层及 256 层 CT, 如何更好地应用多层螺旋 CT, 在为临床提供满意的影像资料的同时使检查者得到辐射剂量最少, 即 CT 检查的最优化是当今 CT 影像检查技术研究的焦点。研究发现头颅 CT 扫描时, 眼晶体受到一定剂量照射后可能诱发视力模糊或白

【收稿日期】2014-12-15

【基金项目】国家自然科学基金(11375181)

【作者简介】 梁保辉 (1985-), 男, 安徽亳州人, 在读博士, 研究方向: CT 辐射剂量与防护, E-mail: yxwlx@126.com。

【通信作者】徐榭, E-mail: xgxu@ustc.edu.cn。

内障^[2]。ICRP 规定职业人员眼晶体剂量限值为 150 mSv, 公众人员为 15 mSv, 剂量限值随研究的深入可能进一步的降低, 如 ICRP103# 报告中也阐述了眼晶体在接受很低剂量时也很难排除不会诱导白内障^[3], ICRP 在 2011 年的报告中建议职业人员眼晶体剂量限值应从 150 mSv 降低到 20 mSv, 5 年内任何 1 年不能超过 50 mSv^[4]。台湾地区统计研究近 10 年 CT 检查与白内障之间关系, 认为重复的头颈部 CT 检查与放射性白内障增加有关^[5]。Hranitzky 等^[6]利用 TLD 和电离室测量 5 岁儿童模体头部 CT 检查的器官剂量和有效剂量, 测量结果为单次头部 CT 有效剂量 1.9 mSv 超过公众年剂量限值, 眼晶体 22 mSv 超过最新建议职业人员眼晶体剂量年剂量限值。由于儿童眼晶体辐射敏感性较高且预期生存时间长, 在头部 CT 扫描更需注意对眼晶体的防护。本文利用 VirtualDose 软件^[7]研究不同体型、不同品牌 CT、不同扫描参数(管电压、毫安秒、射束准直宽度、螺距)时 15 岁以下儿童 CT 检查过程中眼晶体剂量的变化。

1 资料与方法

1.1 VirtualDose™ CT 简介

VirtualDose™ CT 是一款专门用于模拟计算 CT 扫描所致受检者器官剂量与有效剂量的应用软件^[7-8], 可供放射学家、放射技术员、医学物理专家、管理者、厂商以及研究人员应用, 本软件是伦斯勒理工学院放射测量与剂量小组基于精确的三维解剖数字人体模型和蒙特卡洛方法开发而成, 其中数字人体模型涵盖了不同肥胖类型的男、女成年人, 不同年龄段的男、女儿童, 以及 3 个妊娠阶段的孕妇模型共计 25 种。软件

计算结果经过反复比较验证^[9], 另外该软件可以实现许多难以精确测量的器官剂量的计算, 特别是对于眼晶体, 因其体积太小, 若通过模体进行直接测量难免引入较大的测量误差。该软件通过网络入口远程登陆无需软件安装和维护, 可用于模拟计算不同型号的 CT 扫描装置工作在各种扫描参数下所致受检者剂量。软件计算界面如图 1 所示。

1.2 方法

利用 VirtualDose 软件计算不同情况下眼晶体剂量, 进入软件应用界面后, 选择不同厂家 16 排和 64 排 CT, 选择相应的扫描参数, 如表 1 所示, 计算 15 岁男性检查者头部 CT 扫描时不同螺距眼晶体剂量; 在计算不同年龄检查者模体头部 CT 扫描眼晶体剂量, 选择新生儿、1 岁、5 岁、10 岁、15 岁男性体模; 估算扫描参数的不同对眼晶体剂量的影响时, 设置不同管电压、不同毫安秒、不同射束准直宽度, 固定其他参数不变, 计算 CT 检查检查者眼晶体剂量。

2 结果

2.1 不同 CT 机扫描眼晶体剂量

利用 VirtualDose 软件选择模拟 GE、西门子、飞利浦、东芝 4 家厂商生产的 16 排和 64 排 CT 机, 选择 15 岁男性数字模拟人仰卧位颅脑扫描。不同厂商的 16 排 CT 的可选管电压、射束准直宽度和蝴蝶结过滤器不同, 选择适合 15 岁男性仿真模拟人的管电压, 及最大的射束准直宽度, 扫描部位为数字模拟人仰卧位常规 CT 检查范围。

2.2 不同年龄儿童眼晶体剂量

模拟年龄段分别为 1 岁、5 岁、10 岁、15 岁男性



图 1 VirtualDose 软件的界面

Fig.1 The Interface of The Virtualdose Software

儿童头部 CT 扫描眼晶体剂量。扫描范围常规 CT 检查范围,选择 GE 和 Siemens 公司的 16 排和 64 排 CT 机,CT 扫描参数设置表 1 所示,选择适宜头部检查的蝴蝶结过滤器,螺距为 1。

2.3 模拟不同 CT 检查参数时检查者眼儿童晶体剂量

模拟 GE LightSpeed 16 排 CT 机,扫描范围为常规 CT 检查范围,螺距 Pitch=1。管电压 80 kVp、100 kVp、120 kVp,射束准直宽度 20 mm、10 mm、5 mm,头部蝴蝶结过滤器,毫安秒从 100 mAs-200 mAs,CTDI_{vol}/100 mAs 与眼晶体剂量的关系

3 讨论

3.1 不同厂家 CT

在 CT 检查过程中,影响检查者辐射剂量的主要参数有:管电压、管电流与扫描时间乘积、螺距、射束准直宽度及蝴蝶结过滤器形状等,影像技术人员需根据检查部位和检查者个体特征选择不同扫描参数。探索不同螺距在头颈部 CT 扫描中对眼晶体剂量的影响,固定其他参数,改变螺距,螺距定义为在一个机架旋转周期内,检查床移动的距离与成像的探测器排数乘以每排探测器宽度即射束宽度的比值。图 2 为不同 CT 扫描机检查时检查者眼晶体剂量随螺距的变化情况。由于不同厂家 X 线球管和蝶形过滤器等都不同,可选用的扫描参数也不同,使得相应的 CTDI_w/100

mAs 不同,CTDI 表征 CT 机的剂量特性。CTDI 定义为沿平行线上单层扫描剂量的分布,在 CT 剂量模体上测量的剂量分布的积分除以 X 线束的标称层厚 T。CTDI₁₀₀ 可用 100 mm 长度的笔形电离室测量,CTDI₁₀₀ 是反映 CT 机扫描剂量特性的最基本表征量,D(Z)是平行于旋转轴 Z 的剂量分布,N 为单次旋转中断层数目,T 为断层厚度。CTDI_w 是加权 CT 剂量指数其表达式如下^[10],CTDI_{100(C)} 是模体中心位置的测量值,CTDI_{100(P)} 是模体表面 10 mm 下位置测量值,Pitch 表示螺距的大小,由多排 CT 机剂量特性和检查参数确定 CTDI_{vol}。

$$CTDI_w = 1/3(CTDI_{100(C)} + 2CTDI_{100(P)})$$

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{Pitch}$$

图 2 为模拟 4 大厂商生产的多排 CT 机螺距变化对眼晶体剂量的影响,变化趋势一致。表 1 为不同 CT 机扫描参数和 CTDI_w/100 mAs 值,CTDI_{vol} 描述相应 CT 检查的辐射剂量强度,与扫描长度和检查者无关,不是检查者辐射剂量,但可用于检查者剂量评估^[11],其与眼晶体剂量成正比,利用 CTDI_{vol} 与晶体剂量比值快速估算眼晶体剂量^[12]。由图 2 可见不同厂商的 CT 机螺距对剂量的影响趋于一致,螺距倒数与眼晶体剂量成正比,扫描参数管电压和射束准直宽度都影响检查者辐射剂量,不同厂商 CT 扫描参数设置不同,

表 1 常用的 CT 扫描参数设置

Tab.1 The Parameters of CT Scanning are Selected in Common

CT Scanner	Tube voltage (kVp)	Tube current (mAs)	Beam collimation (mm)	CTDI _w (cGy/100mAs)
GE lightspeed 16	100	100	20	11.62
Philips Briliance 16	90	100	24	6.25
Philips Briliance 64	80	100	40	3.85
Siemens Sensation 16	100	100	24	13.34
Toshiba Aquilion 16	100	100	24	13.99
Siemens Sensation 64	100	100	28.8	8.07
GE lightspeed VCT	100	100	40	14.31

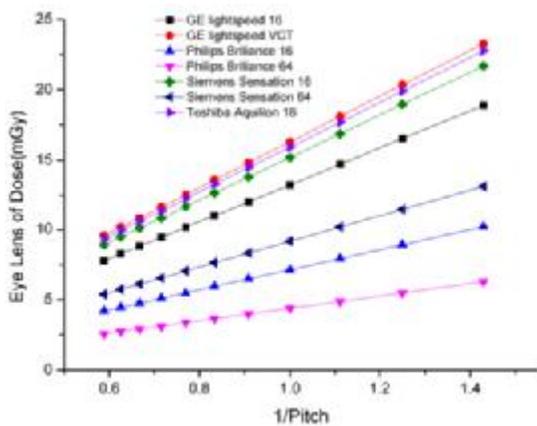


图 2 眼晶体剂量与螺距关系

Fig.2 The Relationship Between the Eye Lens and Pitch

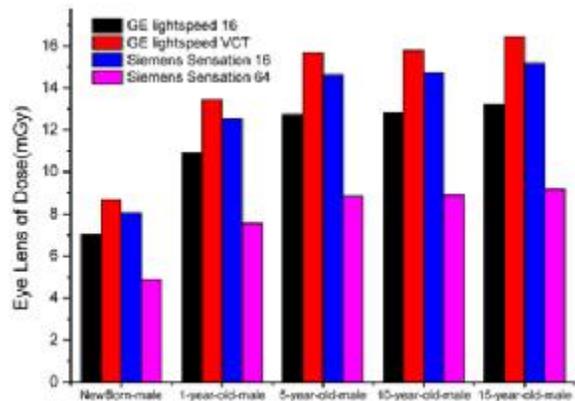


图 3 不同年龄儿童体模眼晶体剂量

Fig.3 Dose of Eye Lens with Different Child Phantom

导致相同螺距时剂量出现差别。可利用螺距与眼晶体剂量的规律, 图像质量满足临床诊断要求情况下, 增加螺距以减少眼晶体剂量和有效剂量, 优化 CT 扫描方案。

3.2 不同年龄儿童体模

模拟不同体模年龄儿童头部 CT 检查眼晶体剂量, 不同年龄儿童体模头部大小有差异, 由图 3 可知, 新生儿、1 岁、5 岁、10 岁、15 岁儿童眼晶体剂量随年龄增加而增加, 随年龄增加眼晶体剂量变化减小。Zhang 等^[3]蒙特卡罗方法模拟研究认为成人头部大小眼晶体剂量的影响很小; 不同 CT 机所致检查者眼晶体剂量也不同。CT 新生儿体型较小眼晶体剂量最低, 眼晶体未发育完全导致剂量计算不确定性大; 5 岁和 10 岁眼晶体剂量相差不大, 15 岁男性儿童体型较大眼晶体剂量最高。不同体型检查者在相同扫描参数头部 CT 扫描眼晶体辐射剂量不同, 根据体型差异选择适宜的扫描参数有助于减少检查者的辐射剂量。

3.3 不同扫描参数

管电压和管电流在 CT 扫描过程中都直接影响检查者辐射剂量, 共同决定了 X 线的强度, 管电压是影响 X 线的质重要因素, 毫安秒确定 X 线的量, 直接影响检查者剂量和图像质量, 两者综合影响检查者辐射剂量和图像质量。根据检查者体型大小选择合适的管电压和管电流, 选择合适的管电压获得满意的影像质量满足及检查者辐射防护最优化原则。

GE 公司的 LightSpeed 的 16 排 CT 机可用的管电压 80 kVp、100 kVp、120 kVp, 固定 CT 扫描其他参

数, 由图 4 可知管电压和毫安秒与眼晶体剂量成正相关, 头颅 CT 检查中选择低管电压和低毫安秒可减少眼晶体剂量; 不同射束准直宽度对眼晶体剂量的影响也不同, 如图 5 所示, 20 mm 准直宽度时, 拟合曲线斜率大于 10 mm 准直宽度和 5 mm 准直宽度, 相同扫描参数窄的射束准直对眼晶体剂量影响大, 窄射束准直宽度, 会导致扫描圈数的增加, 从而引起相同扫描长度叠加散漏射线的次数增加, 可导致眼晶体剂量增加。头颈 CT 扫描时眼晶体剂量受射束准直宽度、管电压、毫安秒以及螺距共同影响, 对于体型较少者在 CT 检查时可选择降低管电压、低毫安秒和宽射束准直宽度有助于降低儿童 CT 检查眼晶体剂量。表 2 所示不同型号的 CT 剂量特性不同, 相同的扫描参数其 CTDI_{vol}/100 mAs 也不同, 儿童 CT 眼晶体剂量与 CTDI_{vol}/100 mAs 的比值约 1.14, 说明临床 CT 机显示的 CTDI_{vol} 低估眼晶体剂量。

4 结论

不同 CT 检查时螺距与眼晶体剂量呈指数变化趋势, 不同 CT 扫描机的剂量特性不同, 在头颅 CT 检查检查者导致眼晶体剂量有一定差异; 不同年龄男性儿童头颅 CT 扫描随年龄增加体型大小对眼晶体剂量减小; 毫安秒和管电压与眼晶体剂量成正相关, 射束准直宽度和螺距与眼晶体剂量成负相关; CT 检查相关参数对眼晶体剂量的影响规律与相关实验报告相符。本文研究结果可供放射技术人员在评估头颅 CT 检查眼晶体剂量时参考。在 CT 检查头部过程中合理设置

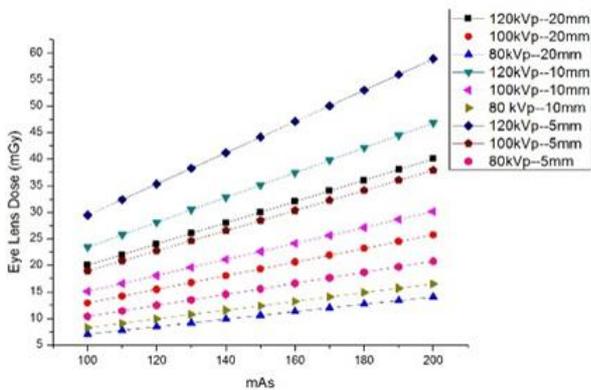


图 4 kVp、mAs 和射束准直宽度对眼晶体剂量影响
Fig.4 The Dose of Eye Lens are Effected kVp,mAs and Beam Collimation Width

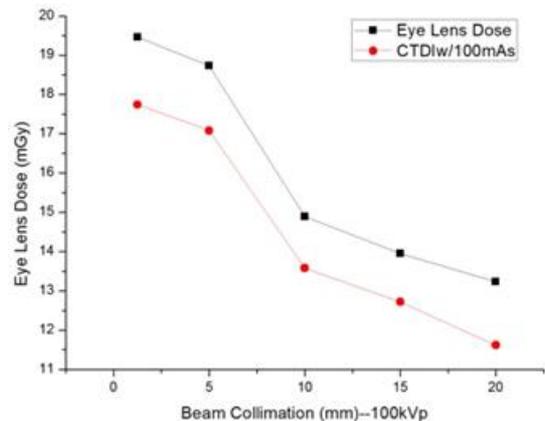


图 5 射束准直宽度对眼晶体剂量和 CTDI_w/100 mAs 的影响
Fig.5 Beam Collimation Width How to Effect The Dose of Eye Lens and CTDI_w/100 mAs

表 2 不同 CT 机的 CTDI_{vol}/100mAs 与眼晶体剂量

Tab.2 The Dose of Eye Lens and CTDI_{vol}/100 mAs in Different CT Scanners

CT Model	GE lightspeed 16	Philips Brilliance 16	Philips Brilliance 64	Siemens Sensation 16	Toshiba Aquilion 16	Siemens Sensation 64	GE lightspeed VCT
CTDI _{vol} /100 mAs	11.62	6.25	3.85	13.34	13.99	8.07	14.31
Eye lens dose (mGy)	13.23	7.15	4.4	15.18	15.93	9.18	16.3

扫描参数,适当地降低管电压或毫安秒,增加检查螺距都有助于降低眼晶体剂量,减少检查者的辐射危害。研究不足尚需进一步探讨不同螺距 CT 射线束过扫描范围眼晶体剂量的影响,以及铍屏蔽和管电流调制对眼晶体剂量的影响。

【参考文献】

- [1] 郑钧正. 电离辐射医学应用的防护与安全[M]. 北京: 原子能出版社, 2009: 111-113.
Zheng JZ. The protection and safety of ionizing radiation in medical application[M]. Beijing: Atomic energy press, 2009: 111-113.
- [2] Thorne MC. Regulating exposure of the lens of the eye to ionizing radiations[J]. J Radiol Prot, 2012, 32(2): 147-154.
- [3] The International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection[R]. Ann ICRP, 2007.
- [4] Bouffler S, Ainsbury E, Gilvin P, et al. Radiation-induced cataracts: the health protection Agency's response to the ICRP statement on tissue reactions and recommendation on the dose limit for the eye lens [J]. J Radiol Prot, 2012(32): 479-488.
- [5] Yuan MK, Tsai DC, Chang SC, et al. The risk of cataract associated with repeated head and neck CT studies: a nationwide population-based study[J]. Am J Roentgenol, 2013, 201(3): 626-630.
- [6] Hranitzky C, Stadtmann H. Patient dosimetry study of a pediatric CT examination[J]. Radiat Measurements, 2011, 46: 2035-2038.
- [7] <http://www.virtual-dose.com/VirtualDose>.
- [8] 刘海宽, 丁爱平, 徐榭. VirtualDose: 一个新的计算 CT 扫描所致器官剂量的软件工具[J]. 中国医疗设备, 2013, 28(10): 1-5.
Liu HK, Ding A, Xu X. VirtualDose: A new software used for reporting patient organ dose from CT scan [J]. China Medical Equipment, 2013, 28(10): 1-5.
- [9] Ding A, Gao Y, Caracappa PF, et al. Design and testing of the virtual-Dose software under the software as a service (SaaS) platform for tracking and reporting CT doses[J]. Med Phys, 2012, 39(6):3876.
- [10] 余晓镔, 龚建. CT 原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 1.
Yu XE, Gong J. Principle and technology of CT[M]. Beijing: Science Press, 2014: 1.
- [11] Walter H, Mettler FA. Volume CT dose index and dose-length product displayed during CT: What good are they[J]. Radiology, 2011, 258(1): 236-241.
- [12] Zhang D, Cagnon CH, Villablanca JP. Peak skin and eye lens radiation dose from brain perfusion CT based on monte carlo simulation[J]. Am J Roentgenol, 2012, 198: 412-417.
- [13] Zhang D, Cagnon CH, Villablanca JP, et al. Estimating peak skin and eye lens dose from neuroperfusion examinations: Use of Monte Carlo based simulations and comparisons to CTDIvol, AAPM Report No. 111, and ImPACT dosimetry tool values [J]. Med Phys, 2013, 40: 1901-1911.