· 辐射剂量 ·

颅脑 CT 检查患者辐射剂量最优化问题初探

卞冰阳 王静 周清晨 周华康 刘卓航 赵丽 李丹
吉林大学第一医院放射线科, 长春 130021
通信作者:李丹,Email:13604430730@126.com

【摘要】 目的 在蒙特-卡罗分析平台基础上,探讨根据头围调节管电流时间积(mAs)在颅脑 CT 成像的图像质量和敏感器官辐射剂量的应用价值。**方法** 前瞻性连续选取 2017 年 9 月至 2018 年 6 月期间吉林大学第一医院门诊或住院患者中的因为不同临床症状被建议行颅脑 CT 检查的儿童及青少年,共 92 名。不限定头围尺寸的情况下,采用随机数表法选取 22 例患者作为常规组,所测头围大小是 48.1~59.2 cm。剩余 70 例患者归入低剂量组,低剂量组根据不同头围尺寸又分为 3 个亚组:A 组,54.1~57.0 cm,22 例;B 组,51.1~54.0 cm,26 例;C 组,48.1~51.0 cm,22 例。根据头围作为一个指标来指定 mAs,因此,常规组和低剂量 A、B、C 组的管电流(mAs)分别为 250、200、150、100 mAs。利用蒙特-卡罗分析平台记录敏感器官(脑实质、眼晶状体及唾液腺)辐射剂量值,并对主观和客观图像质量评分进行评价。采用单因素方差分析比较各组图像质量和辐射剂量的差异。**结果** 常规组和低剂量 A、B、C 组脑实质辐射剂量分别为(34.37±3.62)、(25.91±0.99)、(3.18±6.11)和(17.38±3.23)mSv,差异有统计学意义(F=54.51,P<0.05);眼晶状体辐射剂量分别为(41.54±1.04)、(33.03±0.35)、(26.18±2.72)和(20.88±4.45)mSv,差异有统计学意义(F=189.75,P<0.05);唾液腺辐射剂量分别为(35.04±4.94)、(25.92±0.99)、(22.93±6.54)和(14.96±2.67)mSv,差异有统计学意义(F=65.74,P<0.05)。常规组和低剂量 A、B、C 组主观图像质量评分分别为(4.97±0.13)、(4.77±0.49)、(4.67±0.49)和(3.98±0.61)分,差异有统计学意义(F=3.89,P<0.05),但常规组和 A、B 组之间差异无统计学意义(P>0.05)。常规组和低剂量 A、B、C 组灰质信噪比分别为(18.69±3.55)、(16.76±2.87)、(15.05±2.80)和(13.65±2.53),差异无统计学意义(P>0.05);白质信噪比分别为(17.46±3.72)、(15.54±2.81)、(13.71±2.43)和(11.77±2.18),差异亦无统计学意义(P>0.05)。**结论** 根据儿童和青少年头围尺寸调节 mAs 可使扫描方案更加个性化,在保证图像质量的前提下降低敏感器官辐射剂量。

【关键词】 蒙特卡罗; 头围; 敏感器官; 辐射剂量; 图像质量
基金项目:吉林省科学技术厅重点科技攻关项目(20150204061SF)
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.03.012

Preliminary study on radiation dose optimization for patients with head CT

Bian Bingyang, Wang Jing, Zhou Qingchen, Zhou Huakang, Liu Zhuohang, Zhao Li, Li Dan
Department of Radiology, First Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China
Corresponding author: Li Dan, Email: 13604430730@126.com

【Abstract】 Objective To investigate the effect of adjusting tube current time product (mAs) according to head circumference index on head CT image quality and organ-specific-dose level based on Monte Carlo analysis platform. **Methods** A total of 92 patients including children and adolescents with different clinical symptoms undergoing head CT scan were prospectively selected between September 2017 and June 2018 in the First Hospital of Jilin University. Without limiting the size of the head circumference, there were 22 patients were selected as conventional group by random number table, whose head circumference was 48.1−59.2 cm. Low dose group was divided into following three subgroups according to different head circumferences: A group 54.1−57.0 cm (n=22); B group 51.1−54.0 cm (n=26) and C group 48.1−51.0 cm (n=22). Tube current time product was 250 mAs for conventional group, 200 mAs for A group, 150 mAs for B group and 100 mAs for C group, respectively. The organ-specific-radiation doses (brain, eye lens and salivary gland) were recorded by Monte Carlo analysis platform and the

subjective and objective image quality score was evaluated. Analyses of the differences between four groups were compared with image quality score as well as organ-specific-radiation dose by single factor variance. **Results** Radiation dose to brain was conventional group (34.37±3.62), A group (25.91±0.99), B group (23.18±6.11) and C group (17.38±3.23) mSv, respectively. The difference was of statistical significance in the four groups (F=54.51, P<0.05). Dose to eye lens was conventional group (41.54±1.04), A group (33.03±0.35), B group (26.18±2.72) and C group (20.88±4.45) mSv, with statistical significance in difference between the four groups (F=189.75, P<0.05). Dose to salivary gland was conventional group (35.04±4.94), A group (25.92±0.99), B group (22.93±6.54) and C (14.96±2.67) mSv, respectively, with statistical significance in difference between the four groups (F=65.74, P<0.05). Image quality scores were respectively conventional group (4.97±0.13), A group (4.77±0.49), B group (4.60±0.49) and C group (3.98±0.61), respectively, with statistical significance between them (F=3.89, P<0.05), but without statistical significance in difference between the four groups (P>0.05). The signal-to-noise ratios of gray matter in A, B and C groups were conventional group (18.69±3.55), A group (16.76±2.87), B group (15.05±2.80) and C group (13.65±2.53), respectively, without statistical significance in difference between the four groups (P>0.05); The signal-to-noise ratios of white matter in conventional group (17.46±3.72), A group (15.54±2.81), B group (13.71±2.43) and C group (11.77±2.18), respectively, without statistical significance in difference between the four groups (P>0.05). **Conclusions** Adjusting the tube current time product (mAs) according to head circumference index of children and adolescents can make scanning program more personalized and reduce organ-specific-radiation doses to sensitive organs without compromise of image quality.

【**Key words**】 Monte-carlo; Head circumference; mAs; Organ-Specific-Radiation doses; Image quality

Fund program: Key Science and Technology Projects of Jilin Provincial Science and Technology Department (20150204061SF)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.03.012

颅脑 CT 扫描已经广泛应用于临床。尤其对于儿童和青少年,在最优化图像质量前提下降低辐射剂量一直是研究热点[1-2]。儿童和青少年处于生长发育时期,细胞分裂和再生的速度和比例比成人快得多, 与成人相比,接受相同 CT 扫描条件,颅脑 CT 检查所受辐射剂量比成人高 2.5 倍[3-4],儿童比成人终生癌症风险要高得多。由于儿童和青少年的发展阶段不同,临床实践中需要对此类患者“个性化”颅脑 CT 扫描方案,但目前尚无有效的指标因子报道。李斌等[5]报道可以应用头围作为参数来调节管电流,但并未阐述不同头围选择不同管电流时间乘积(mAs)的具体依据。本研究中,使用头围作为一个指标来指定 mAs,根据蒙特-卡罗分析平台探究颅脑 CT 扫描范围内各敏感器官的辐射剂量和图像质量。

资料与方法

1. 患者资料:前瞻性研究通过吉林大学白求恩第一医院伦理委员会的批准(批准号:2017-359)。所有患者均签署知情同意书。连续选取 2017 年 9 月至 2018 年 6 月本院门诊或住院患者中的因为不同临床症状被建议行颅脑 CT 检查的儿童及青少年。排除检查过程中不耐受检查、躁动的患者。最后,92 名患儿纳入研究,男性 50,女性 42,1~17 岁,平均年龄 8.5 岁,其中头痛患者 40 例,头痛及头晕 21 例,恶心 26 例,恶心及呕吐 12 例,外伤 10 例。采用随机数表法选取 22 例患者作为常规组,剩余 70 例患者归入低剂量组。常规组不限定头围大小随机纳入患者,低剂量组又按不同头围分为 3 个亚组,根据头围作为一个指标来指定 mAs,因此,所有患儿共分 4 组,即常规组(48.1~59.2 cm,250 mAs,22 例)和低剂量 A 组(54.1~57.0 cm,200 mAs,22 例)、B 组(51.1~54.0 cm,150 mAs,26 例)、C 组(48.1~51.0 cm,100 mAs,22 例)。头围大小测量方法为:眉弓上缘绕枕骨隆突上缘 1 圈。

2. 方法:所有患儿均在美国 GE 公司 HiSpeed Nx/i 双层螺旋 CT 完成颅脑检查,患儿仰卧位,听眶上线为基线进行扫描。常规组管电流为 250 mAs,低剂量组管电流根据头围范围的不同设定分别为:A 组,200 mAs;B 组,150 mAs;C 组,100 mAs。以下剩余的扫描参数均相同:管电压 120 kV,层厚5 mm,层间距 5 mm,矩阵 512×512,视野 3.6 cm。4 组患者扫描完成后均使用迭代重建算法(iDose45 级)行图像重建。采用蒙特-卡罗模拟的分析平台(Radimetrics 软件,拜耳医疗保健,德国)计算敏感器官辐射剂量值。颅脑 CT 扫描辐射剂量的敏感组

织主要有脑实质、眼晶状体、唾液腺。

3. 图像质量主观评价：由两名高年资神经放射学家在医学影像信息(PCAS)上分别对常规组和低剂量组的 CT 图像进行了主观质量评分。使用固定的窗宽 80 Hu，窗位 40 Hu。图像质量评估：解剖结构清晰，无伪影及噪声，图像质地细腻均匀，能精确诊断，5 分；解剖结构尚清晰，基本无伪影及噪声，图像质地细腻尚均匀，能做出诊断，4 分；解剖结构可见，噪声略强，少许伪影，图像质地稍欠细腻不均匀，尚可做出诊断，3 分；解剖结构隐约可见，噪声较强，伪影较多，图像质地不细腻不均匀，降低诊断可信度，2 分；解剖结构不清楚，伪影明显，噪声强，图像质地粗糙，不能做出诊断，1 分。两位神经放射学家确定的 3 个因素的分数取平均值，得到图像质量的总分。图像质量分数≥3 分被认为是一个合格的图像。

4. 图像质量客观评价：在 GE 工作站 ADW4.4 上(美国 GE 公司)进行测量。测量灰质选取右侧丘脑、壳核及半卵圆中心层面脑皮层，测量白质选取右侧小脑半球、放射冠及半卵圆中心，分别计算灰质和白质 3 个层面的平均 CT 值，CT 值的标准差(SD)来衡量噪声，信噪比(signal to noise ratio，SNR)为 CT 值/SD 值。所有感兴趣区(ROI)均为 50 mm^2。

5. 统计学处理：使用 SPSS 22.0 软件分析数据。定量资料符合正态分布以 $\bar{x}\pm s$ 表示。经方差齐性检验采用单因素方差分析比较各组敏感器官辐射剂量值和图像质量评分的差异，并采用 Tukey-Kramer 检验进行两两比较。不符合正态分布采用 Wilcoxon 秩和检验。用线性相关与回归来分析常规组中头围和脑实质、眼晶状体、唾液腺辐射剂量值的相关性及回归方程。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。两个放射科医生的分析结果的一致性检查使用 Kappa-test，Kappa 值>0.6 为一致性好，0.4≤Kappa 值≤0.6 为适中，Kappa 值<0.4 为一致性差。

结　果

1. 主观图像质量评分：两名医师对常规组和低剂量组颅脑 CT 图像质量评分的一致性较好(Kappa=0.716)，评分均≥3 分，可满足临床诊断需求。各组图像均能显示重要解剖结构(图 1)。主观图像质量评分 4 组两两比较(SNK 法)除常规组(4.97±0.13)与低剂量 C 组(3.98±0.61)比较差异有统计学意义($q=4.41$，$P<0.05$)外，其他各组组间比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。

2. 客观图像质量评分：低剂量组随着 mAs 的增加，图像的灰质和白质 SNR 逐渐升高。4 组灰质和白质平均 CT 值、SD 值和 SNR 列于表 1。在灰质和白质评价方面，常规组和低剂量 A、B、C 组的 SD

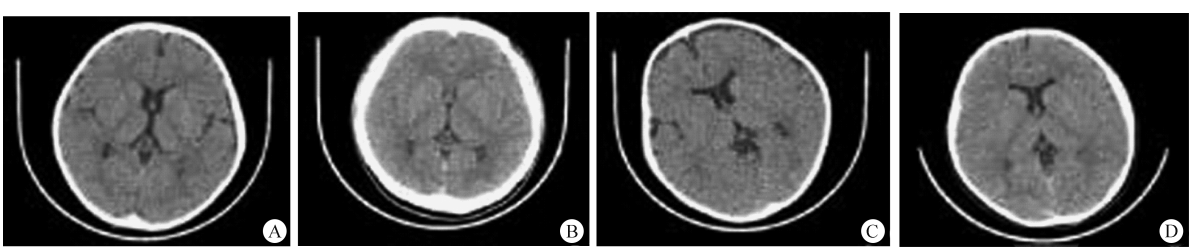

图 1　不同 mAs 患儿的颅脑 CT 图像　A.250 mAs；B.200 mAs；C.150 mAs；D.100 mAs

Figure 1　Head CT images of children with different mAs　A.250 mAs；B.200 mAs；C.150 mAs；D.100 mAs

表 1　各组行 CT 检查患儿灰质和白质的平均 CT 值、SD 值和 SNR 的比较(mSv，$\bar{x}\pm s$)

Table 1　Comparisons of mean CT value，SD value and SNR of gray matter and white matter in children examined by CT in each group(mSv，$\bar{x}\pm s$)

组别	例数	平均 CT 值		SD 值		SNR	
		灰质	白质	灰质	白质	灰质	白质
常规组	22	37.61±3.50	26.76±2.21	2.09±0.42	1.58±0.28	18.68±3.56	17.47±3.73
低剂量组							
A 组	22	37.84±3.43	26.87±2.20	2.33±0.46	1.98±0.29	16.77±2.88	15.55±2.82
B 组	26	37.47±3.67	26.29±2.11	2.58±0.51	2.02±0.31	15.06±2.81	13.72±2.43
C 组	22	38.17±3.23	26.97±2.15	2.89±0.57	2.34±0.37	13.66±2.54	11.78±2.19
F 值		0.311	0.042	29.334	57.397	0.031	0.029
P 值		>0.05	>0.05	<0.05	<0.05	>0.05	>0.05

注：SNR.信噪比；SD. CT 标准差；A 组. 200 mAs；B 组. 150 mAs；C 组. 100 mAs

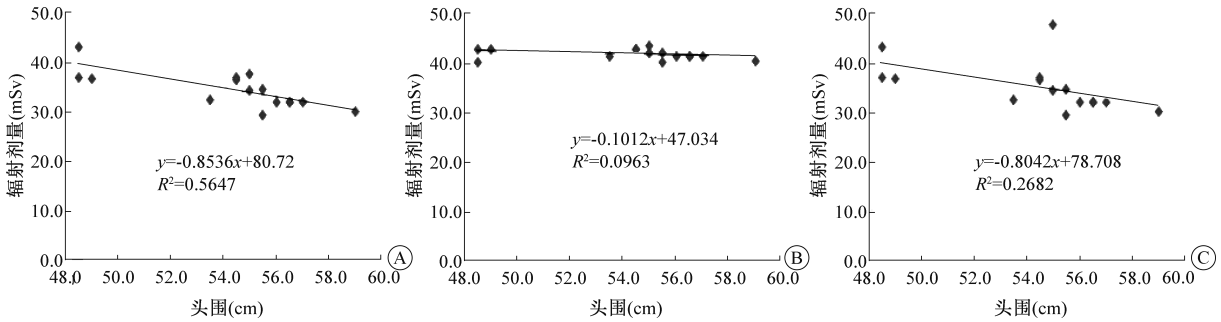

图 2　行 CT 检查的患儿头围与各器官所受剂量关系的拟合图　A.脑实质；B.眼晶状体；C.唾液腺

Figure 2　Relationship between head circumference and radiation dose　A.Brain; B.Eye lens; C.Salivary glands

值之间差异明显($P<0.05$)，平均 CT 值和 SNR 之间差异无统计学意义($P>0.05$)。

3. 敏感器官辐射剂量

(1)头围与敏感器官辐射剂量的关系：脑实质、眼晶状体、唾液腺辐射剂量和头围关系及回归方程见图 2。脑实质辐射剂量值与头围呈负线性相关($r=-0.751$，$P<0.05$)。眼晶状体的辐射剂量值与头围无线性相关($r=-0.310$，$P>0.05$)。唾液腺辐射剂量值与头围亦呈负线性关关($r=-0.518$，$P<0.05$)。

(2)4 组患者的脑实质、眼晶状体及唾液腺辐射剂量：由表 2 可知，4 组之间脑实质、眼晶状体、唾液腺辐射剂量差异均有统计学意义($F=54.51$、189.73、65.74，$P<0.05$)，低剂量 A、B、C 组的敏感器官辐射剂量低于常规组，在低剂量组中，随着头围的增大，辐射剂量值增高。A、B、C 组与常规组辐射剂量比较，差异均有统计学意义($q=23.74\sim178.81$，$P<0.05$)。

表 2　各组行 CT 检查患儿敏感器官辐射剂量的比较(mSv，$\bar{x}\pm s$)

Table 2　Comparison of organ-specific radiation doses to children examined by CT in each group(mSv，$\bar{x}\pm s$)

组别	例数	脑实质	眼晶状体	唾液腺
常规组	22	34.37±3.62	41.54±1.04	35.04±4.94
低剂量组				
A 组	22	25.91±0.99[a]	33.03±0.35[a]	25.92±0.99[a]
B 组	26	23.18±6.11[a]	26.18±2.72[a]	2.93±6.54[a]
C 组	22	17.38±3.23[a]	20.88±4.45[a]	14.96±2.67[a]
F 值		54.51	189.73	65.74
P 值		<0.05	<0.05	<0.05

注：[a]与常规组比较，$q=23.74\sim178.81$，$P<0.05$；A 组. 200 mAs；B 组. 150 mAs；C 组. 100 mAs

讨　论

某些国家颅脑 CT 扫描占儿童和青少年总 CT 检查的 50%以上[6]，虽然目前中国尚没有颅脑 CT 检查数量的大规模数据调查，但我国放开“二孩政策”，出生儿童数量的增加必然导致疾病数量的增加，而颅脑 CT 检查的比例必然增加。儿童和青少年的辐射相关基因突变和癌症风险比成人的高 10 倍[7-9]，眼晶状体、唾液腺及甲状腺对辐射极其敏感[10-12]，但未见有关在颅脑 CT 检查中敏感器官的辐射剂量具体数值的报道，在本研究中应用 Radimetrics 软件[13-14]能够测得颅脑 CT 扫描范围内敏感器官的具体数值。

目前，国内外对于儿童和青少年颅脑 CT 扫描的最佳设置没有共识。对于标准颅脑 CT，除了在选择管电流时间乘积(mAs)时存在较大差异外，所使用的大部分参数在不同的医院之间是一致的，患者可能会受到过多的辐射剂量。不同年龄段的儿童和青少年在颅脑 CT 检查时使用相同的 mAs 显然是不合理的。李真林等[15]按照年龄段分组采用不同的 mAs，但是儿童和青少年处于生长发育阶段，即使相同年龄段的患者头颅大小也会存在很大的差异，所以年龄并不是衡量头颅大小有效指标，但是头围尺寸可以真正反映头颅的大小。

在常规组所有患者均使用 250 mAs，但是发现脑实质的辐射剂量值是不相同的，头围尺寸越小的患者脑实质所受辐射剂量反而越大，表明一些患者可能在常规 CT 扫描中接受了过量的辐射，通过所得实验数据表明脑实质辐射剂量值与头围呈负线性相关，头围大小对脑实质辐射剂量值的大小有显著影响。脑实质和头围尺寸之间负相关关系的一种可能解释是，较大的颅骨会吸收更多的辐射，从而降低脑实质的辐射剂量，推测如果是这样，在常规组的颅脑 CT 扫描中，受颅骨保护的器官应该与头围表现出类似的相关性，颅骨之外的器官可能不会与头围呈负线性相关。为了验证这一点，本研究

检测了唾液腺(下颌骨保护)和眼晶状体(不受骨骼保护)的辐射剂量。唾液腺也与头围尺寸呈负线性相关。另一方面,虽然较大头围尺寸的辐射剂量似乎减少了,但是眼晶状体的辐射剂量与头围并不是线性相关的。由此推断,在实验组中头围尺寸不同的患者应用不同的 mAs 是有理论依据的。

低剂量颅脑 CT 扫描对儿童及青少年患者是存在益处的。随着管电流的减小,辐射剂量也随之降低。A、B、C 组相对于常规组脑实质辐射剂量分别降低了 25%、33%、49%,眼晶状体辐射剂量降低了 20%、37%、50%,唾液腺辐射剂量降低了 26%、34%、57%。4 组患者的脑实质辐射剂量存在显著差异,3 组低剂量组均与常规组不同。C 组的辐射剂量明显低于其他 3 组。对于唾液腺来说,辐射减少的模式和大脑一样。4 组患者的眼晶状体辐射剂量各不相同。

虽然管电流降低了,但主观图像质量分数并没有低于 3.0 分,提示低剂量组图像质量无降低,所有图像均满足临床诊断要求,150 和 200 mAs 扫描时主观图像质量评分与常规 250 和 100 mAs 扫描时没有显著性差异,但 100 和 250 mAs 扫描时之间图像质量评分存在差异,100 mAs 组扫描中部分患者图像得分为 3.0,这是诊断的最低可接受质量,这表明低于 100 mAs 的管流可能导致临床诊断的图像质量无法接受。在客观图像质量评分中,低剂量 A、B、C 组的噪声(SD 值)均高于常规组,差异具有统计学意义,但是各组图像间的平均 CT 值和信噪比差异无统计学意义。此外,本研究使用了迭代重建算法(idose^{4}5 级)弥补图像质量的缺失[16]。

研究发现,与传统主观的颅脑 CT 扫描相比,“个性化”扫描可以显著降低敏感器官辐射剂量,但图像质量保持仍然满足临床诊断要求。头围是可以成为指导儿童和青少年“个性化”颅脑 CT 扫描的有效指标。但是,本研究存在一定局限性,首先是选择的样本量不足,之后将扩大样本量研究,另外本实验并没有进一步细化头围与 mAs 和敏感器官辐射剂量之间的关系的具体规律,对于头围与具体应设置的 mAs 值设置,尚需要进一步的研究。

综上所述,在行颅脑 CT 扫描时,根据儿童和青少年的头围尺寸调节 mAs,可使扫描方案更加“个性化”,在保证图像质量的前提下从而降低患者的敏感器官辐射剂量。

利益冲突 所有研究者未接受任何不正当的赞助,并对研究的独立性和科学性予以保证

作者贡献声明 卞冰阳负责结果分析和论文撰写;王静负责影像评价;周清晨、周华康负责扫描;刘卓航负责儿童头围测量;赵丽负责原始数据采集;李丹负责指导方案设计、影像评价和论文修改

参 考 文 献

[1] 王鑫宏,刘成佳,孙建忠,等. 儿童 CT 扫描部位及有效剂量分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(11): 866-869. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.013.
Wang XH, Liu CJ, Sun JZ, et al. Analysis of CT-related sites and effective dose in children[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2017, 37(11): 866-869. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.11.013.

[2] 谢娜,干芸根,王宏伟,等. 影响婴幼儿头颅低剂量 CT 图像质量的客观因素的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(4): 472-474. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2010.04.029.
Xie N, Gan YG, Wang HW, et al. Objective factors affecting the image quality of low-dose cranial CT of infant[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2010, 30(4): 472-474. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2010.04.029.

[3] Lubin JH, Linet MS, Boice JD Jr, et al. Case control study of childhood acute lymphoblastic leukemia and residential radon exposure[J]. J Natl Cancer Inst, 1998, 90(4): 294-300.

[4] Kaletsch U, Kaatsch P, Meinert R, et al. Childhood cancer and residential radon exposure-results of a population-based case-control study in Lower Saxony (Germany)[J]. Radiat Environ Biophys, 1999, 38(3): 211-215.

[5] 李斌,刘义军,刘婷,等. 头部不同头围受检者 CT 低剂量扫描参数优化研究[J]. 中国医疗设备, 2012, 27(10): 62-66. DOI: 10.39696/j.issn.1674-1633.2012.10.017.
Li B, Liu YJ, Liu T, et al. Parameters optimization research of low-dose CT scan in head examination with different thickness[J]. China Med Equip, 2012, 27(10): 62-66. DOI: 10.39696/j.issn.1674-1633.2012.10.017.

[6] Bernier MO, Rehel JL, Brisse HJ, et al. Radiation exposure from CT in early childhood: a French large-scale multicentre study[J]. Br J Radiol, 2012, 85(1009): 53-60. DOI: 10.1259/bjr/90758403.

[7] Obara H, Takahashi M, Kudou K, et al. Estimation of effective doses in pediatric X-ray computed tomography examination[J]. Exp Ther Med, 2017, 14(5): 4515-4520. DOI: 10.3892/etm.2017.5102.

[8] Albert GW, Glasier CM. Strategies for computed tomography radiation dose reduction in pediatric neuroimaging[J]. Neurosurgery, 2015, 77(2): 228-232. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000764.

[9] Ciarmatori A, Nocetti L, Mistretta G, et al. Reducing absorbed dose to eye lenses in head CT examinations: the effect of bismuth

shielding[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2016, 39(2): 583-589. DOI: 10.1007/s13246-016-0445-y.

[10] Domienik J, Gryglak S, Jurewicz J. Characteristics of interventional cardiologists and their work practices for the study on radiation-induced lens opacities based on the methodology developed by ELDO-preliminary results[J]. J Radiat Res, 2016, 57(4): 431-437. DOI: 10.1093/jrr/rrw019.

[11] Zhang D, Cagnon CH, Villablanca JP, et al. Peak skin and eye lens radiation dose from brain perfusion CT based on Monte Carlo simulation[J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 198(2): 412-417. DOI: 10.2214/AJR.11.7230.

[12] 苏垠平, 肖国兵, 陈俊波, 等. 头、胸部 CT 扫描所致儿童甲状腺剂量估算及其癌症风险预测[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(11): 854-858. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.11.013.
Su YP, Xiao GB, Chen JB, et al. Estimated radiation dose in the thyroid and thyroid cancer risk attributed to head or chest CT scans for pediatric patients[J]. Chin J Radiol Med Prot, 2015, 35(11): 854-858. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2015.11.013.

[13] Weis M, Henzler T, Nance JW Jr, et al. Radiation dose comparison between 70 kVp and 100 kVp with spectral beam shaping for non-contrast-enhanced pediatric chest computed tomography: a prospective randomized controlled sudy[J]. Invest Radiol, 2017, 52(3): 155-162. DOI: 10.1097/RLI.0000000000000325.

[14] Li X, Yang K, DeLorenzo M C, et al. Assessment of radiation dose from abdominal quantitative CT with short scan length[J]. Br J Radiol, 2017, 90(1074): 20160931. DOI: 10.1259/bjr.20160931.

[15] 李真林, 肖家和, 杨志刚, 等. 小儿头部多层螺旋 CT 检查的放射剂量评价[J]. 临床放射学杂志, 2005, 24(1): 73-75. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9324.2005.01.017.
Li ZL, Xiao JH, Yang ZG, et al. Evaluation of radiation dose in multislice spiral CT for pediatric head[J]. J Clin Radiol, 2005, 24(1): 73-75. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9324.2005.01.017.

[16] Wang H, Tan B, Zhao B, et al. Raw-data-based iterative reconstruction versus filtered back projection: image quality of low-dose chest computed tomography examinations in 87 patients[J]. Clin Imaging, 2013, 37(6): 1024-1032. DOI: 10.1016/j.clinimag.2013.06.004.

（收稿日期：2018-07-16）

· 读者 · 作者 · 编者 ·

常见基金项目的英文名称

国家自然科学基金：National Natural Science Foundation of China（NSFC）
国家高技术研究发展计划（863 计划）：National High-tech R&D Program of China（863 Program）
国家重点基础研究发展计划项目（973 计划）：National Program on Key Basic Research Project of China（973 Program）
国家重点基础研究项目特别基金：National Key Basic Research Special Foundation of China（NKBRSFC）
国家重点基础研究专项基金：Special Foundation for State Major Basic Research Program of China
国家 985 重点建设项目：Key Construction Program of the Nation（985 Project）
国家科技攻关项目 National Programs for Science and Technology Development
国家“十三五”科技攻关项目：National Key Technology Research and Development Program of China during the "13th Five-Year Plan"
国家科技支撑计划：National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China
国家科技基础条件平台建设项目：The National R&D Infrastructure and Facility Development Program of China
国际科技合作重点项目：Key Program for International S&T Cooperation Projects of China
国家科技重大专项：National Science and Technology Major Project of the Ministry of Science and Technology of China
国家重点实验室发展项目：The State Key Laboratories Development Program of China
国家基础研究计划：National Program on Basic Research Project of China

（本刊编辑部）