

## 血管腔内治疗患者在数字减影血管造影中所受辐射剂量分析

侯凯, 陈财忠, 陆秀良, 曾蒙苏

复旦大学附属中山医院放射科/上海市影像医学研究所/复旦大学上海医学院影像学系, 上海 200032

**【摘要】目的:**统计血管腔内治疗患者在数字减影血管造影(DSA)中所接受的辐射剂量及影响辐射的相关因素,分析各部位接受辐射剂量的差别,为辐射防护提供参考依据。**方法:**收集200例受检者的全部辐射剂量值及其与剂量相关的技术参数值,按照疾病名称B型主动脉夹层、腹主动脉瘤、颈动脉狭窄、髂动脉狭窄和下肢动脉硬化闭塞症(ASO)进行分类。统计出每例受检者辐射总剂量、透视辐射剂量、DSA造影辐射剂量、射线照射总时间、透视照射时间和DSA造影时间;分别计算出相应的透视辐射剂量、造影辐射剂量与时间的比值;分别提取主动脉夹层和下肢ASO剂量DSA造影剂量报告各1例。**结果:**总累积辐射剂量,由高至低依次为主动脉夹层、颈动脉狭窄、腹主动脉瘤、髂动脉狭窄和下肢ASO。最高的是主动脉夹层,人均皮肤入射剂量值,为680.2 mGy,最低的是下肢ASO,为208.6 mGy。人均射线照射的时间由高至低依次为下肢ASO、颈动脉狭窄、髂动脉狭窄、腹主动脉瘤和主动脉夹层,其中最低的人均照射时间为主动脉夹层(337.8 s),下肢ASO最高,为935.4 s。辐射总剂量中的大部分是由DSA造影产生的,其中颈动脉狭窄的占比最高,占比约81.6%。单位时间DSA造影辐射剂量主动脉夹层最高,为11.24 mGy/s,下肢ASO最低,为1.38 mGy/s。照射部位体厚的增加和电子放大的使用成倍增加患者接受的辐射剂量。**结论:**DSA中各部位所接受的辐射剂量,胸部相对较高,其次为腹部和头颈部,外周部位最低;DSA减影所产生的辐射剂量占辐射总剂量中的绝大部分。

**【关键词】**数字减影血管造影;辐射剂量;辐射防护

**【中图分类号】**R318;R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2023)10-1255-05

## Radiation dose in digital subtraction angiography for patients undergoing endovascular treatment

HOU Kai, CHEN Caizhong, LU Xiuliang, ZENG Mengsu

Department of Radiology, Zhongshan Hospital, Fudan University/Shanghai Institute of Medical Imaging/Department of Imaging, Shanghai Medical College of Fudan University, Shanghai 200032, China

**Abstract: Objective** To analyze the radiation dose received by patients treated with endovascular surgery during digital subtraction angiography (DSA), investigate the related factors affecting radiation dose, and compare the difference of radiation dose received by different sites, so as to provide reference for radiation protection. **Methods** All the radiation doses and dose-related technical parameters of 200 patients were collected and classified according to different diseases, namely type B aortic dissection, abdominal aortic aneurysm, carotid artery stenosis, iliac artery stenosis, and lower extremity arteriosclerosis obliterans (ASO). The total radiation dose, fluoroscopy radiation dose, DSA radiation dose, total radiation exposure time, fluoroscopy exposure time, and DSA time were collected from each patient. The fluoroscopy radiation dose per unit time and contrast radiation dose per unit time were calculated. The DSA dose reports of 1 case of aortic dissection and 1 case of lower extremity ASO were analyzed. **Results** The total cumulative radiation dose was highest in aortic dissection (entrance skin dose per capita of 680.2 mGy), followed by carotid artery stenosis, abdominal aortic aneurysm, iliac artery stenosis, and lowest in lower extremity ASO (entrance skin dose per capita of 208.6 mGy). The exposure time per capita from high to low was lower extremity ASO, carotid artery stenosis, iliac artery stenosis, abdominal aortic aneurysm, and aortic dissection; and the shortest exposure time per capita was 337.8 s in aortic dissection, and the longest was 935.4 s in lower extremity ASO. The majority of the total radiation dose was generated by DSA, among which the proportion in carotid artery stenosis (about 81.6%) was highest. The DSA radiation dose per unit time was highest in aortic dissection (11.24 mGy/s)

**【收稿日期】**2023-04-19

**【基金项目】**国家重点研发计划(2022YFC2401605);上海市临床重点专科项目(shslczdsk03202)

**【作者简介】**侯凯,副主任技师,研究方向:CT及DSA影像,E-mail: hou.kai@zs-hospital.sh.cn

**【通信作者】**曾蒙苏,博士生导师,主任医师,研究方向:放射诊断,E-mail: zeng.mengsu@zs-hospital.sh.cn

and lowest in lower extremity ASO (1.38 mGy/s). An increase in the thickness of the irradiated site and the use of electronic amplification multiply the radiation dose received by the patient. **Conclusion** The radiation dose received by the chest was the highest, followed by the abdomen, head and neck, and the lowest is in the peripheral region. The radiation dose of DSA subtraction accounted for the majority of the total radiation dose.

**Keywords:** digital subtraction angiography; radiation dose; radiation protection

## 前言

随着血管外科医疗器械和影像学技术的发展,数字减影血管造影(DSA)成为血管疾病的有效评估和治疗方法,但令人担忧的是DSA涉及患者和医疗团队的辐射暴露风险。介入术中不合理的操作会增加患者或术者的辐射剂量,并产生人体组织反应<sup>[1-3]</sup>。当患者皮肤接受较高的辐射剂量,皮肤甚至会引起烧伤<sup>[4]</sup>。由于影响DSA辐射剂量因素很多,除了照射时间、照射距离和辐射屏蔽的常规要素以外,与照射部位、术者操作习惯和各类技术参数等也有关系。为此,本研究对复旦大学附属中山医院血管外科各部位血管腔内术中患者接受的辐射剂量进行统计,分析各部位所接受辐射剂量差别的原因,为临床医生提供参考依据,提升辐射防护的防范意识和操作规范。

## 1 资料与方法

### 1.1 基本资料

选取2021年8月~2022年10月复旦大学附属中山医院血管外科200例DSA受检者的在线辐射剂量报告。其中,男132例,女68例;年龄35~79岁,平均(65±11)岁。200例患者的手术均由同一位高年资主任医师完成,其中B型主动脉夹层、腹主动脉瘤、颈动脉狭窄、髂动脉狭窄和下肢动脉硬化闭塞症(Arteriosclerosis Obliterans, ASO)各40例,这5类病例均行腔内治疗,分别行主动脉夹层腔内修复术、腹主动脉瘤腔内修复术、颈动脉支架植入术、髂动脉腔内成形术和下肢动脉腔内成形术。

### 1.2 DSA设备

德国西门子公司的Artis Zee平板式DSA X射线机,标称功率80 kW,管电压调节范围:40~125 kV;X射线管电流调节范围连续透视:0.1~24.0 mA;脉冲透视:15~250 mA;摄影0.5~1000.0 mA;加载时间:0.5~800.0 ms。设备配置有符合IEC 60601-2的穿透电离室型剂量测量系统<sup>[5]</sup>。记录累计透视时间、透视和摄影的条件、采集帧数、投照角度、铜滤过厚度和累计剂量面积乘积(Dose Area Product, DAP)和皮肤入射剂量(Entrance Skin Dose, ESD)等。

### 1.3 方法

提取200例DSA受检者的辐射剂量、曝光时间等数据,按病例名称统计出各类术式中所接受的人均辐射剂量和照射时间,具体包括辐射总剂量、透视辐射剂量、DSA造影辐射剂量、射线照射总时间、透视照射时间和DSA造影时间。然后分别计算出相应的透视辐射剂量、造影辐射剂量与时间的比值,用以评估各部位在单位时间上所接受辐射剂量的差别。另外为了更好地说明技术参数和辐射剂量之间的相关性,分别提取DSA造影辐射剂量最高和最低的主动脉夹层和下肢ASO剂量报告各1例。

## 2 结果

### 2.1 受检者辐射剂量统计结果

200例DSA受检者平均总辐射剂量、透视辐射剂量和造影辐射剂量,按照主动脉夹层、腹主动脉瘤、颈动脉狭窄、髂动脉狭窄和下肢ASO所受辐射剂量统计结果见图1。全部辐射剂量主要由透视辐射剂量和DSA造影辐射剂量两部分组成。主动脉夹层组人均辐射剂量最高(680.2 mGy),其次为颈动脉狭窄组(590.5 mGy),下肢ASO组最低(208.6 mGy)。全部辐射剂量中DSA造影辐射剂量占比较高,占比最高的为颈动脉狭窄组(81.6%),最低的为腹主动脉瘤组(52.0%)。

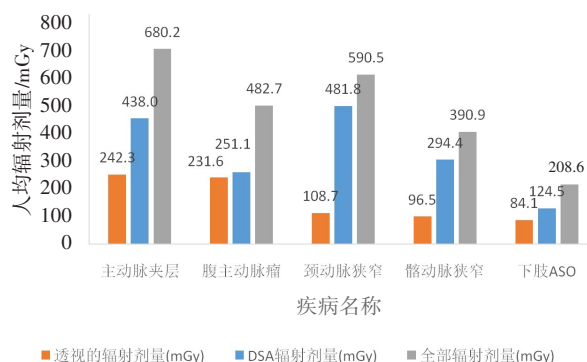


图1 人均所受辐射剂量  
Figure 1 Radiation dose per capita

### 2.2 受检者照射时间统计结果

200例受检者的人均透视照射时间和造影总时

间同样按照疾病名称进行统计,见图2。术中接受的辐射总时间包括透视总时间和DSA造影总时间两部分,其中下肢ASO组辐射总时间最高(935.4 s),其次为颈动脉狭窄组(620.1 s),最低的为主动脉夹层组(337.8 s)。辐射总时间里绝大多数由透视总时间产生,其中腹主动脉瘤组透视总时间占辐射总时间的94.2%为最高,最低的为主动脉夹层组(88.0%)。

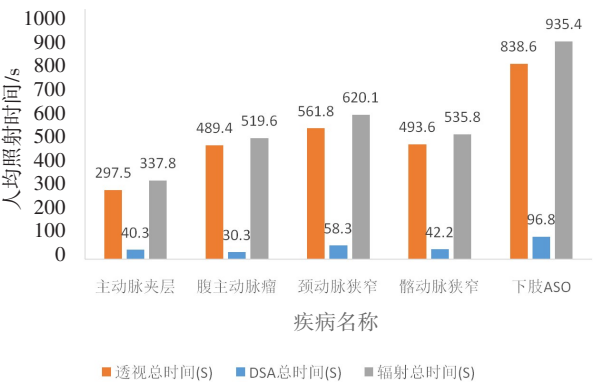


图2 人均照射时间  
Figure 2 Exposure time per capita

2.3 受检者透视辐射剂量和造影辐射剂量与时间的比值

计算出各部位单位时间下透视和造影的辐射剂量,结果见表1。主动脉夹层组单位时间透视辐射剂量最高,为0.80 mGy/s,远高于其他组,其中最低的为下肢ASO组0.11 mGy/s。单位时间造影辐射剂量最

高是主动脉夹层组,为11.24 mGy/s;其次为颈动脉狭窄组和腹主动脉瘤组,分别为8.16和8.35 mGy/s;下肢ASO组远低于其他组,为1.38 mGy/s。

表1 各部位单位时间下透视和造影的辐射剂量(mGy/s)  
Table 1 Radiation dose of fluoroscopy and radiography per unit time for each site (mGy/s)

病例名称	单位时间透视辐射剂量	单位时间造影辐射剂量
主动脉夹层	0.80±0.43	11.24±2.94
腹主动脉瘤	0.46±0.36	8.16±3.33
颈动脉狭窄	0.24±0.15	8.35±1.24
髂动脉狭窄	0.25±0.13	7.01±1.85
下肢ASO	0.11±0.08	1.38±0.71

2.4 辐射剂量与摄影技术参数的相关性

体位的变化引起了多个技术参数变化,包括球管的焦点和铜滤过厚度等,从而导致管电压(kV)和管电流(mA)的变化。表2为1例主动脉夹层患者主动脉弓部正位和斜位的造影辐射剂量比较,斜位造影的ESD值为正位的2.6倍。表3为1例主动脉夹层患者主动脉弓部相同角度下造影,通过电子变焦功能将原有图像放大,ESD值成倍增加。表4为1例下肢ASO患者下肢动脉造影中不同的铜滤过厚度而引起辐射剂量的变化。两次采集时的体位角度、采集脉冲及频数基本相同,管电压和管电流基本一致,ESD值从1.7 mGy增加到8.0 mGy。

表2 1例主动脉夹层患者主动脉弓部正位和斜位的造影辐射剂量比较

Table 2 Comparison of angiographic radiation doses of the aortic arch in a patient with aortic dissection in the anteroposterior and oblique positions

曝光体位	管电压/kV	管电流/mA	铜滤过厚度/mm	焦点大小/cm	采集帧数/F·s <sup>-1</sup>	投照角度	DAP/μGy·m <sup>2</sup>	ESD/mGy
正位	70	233	0.1	42	44	0LAO	1 614.1	59.6
斜位	97	250	0.0	42	46	59LAO	4 849.6	153.2

表3 1例主动脉夹层患者主动脉弓部在不同焦点大小下造影辐射剂量比较

Table 3 Comparison of contrast radiation dose of the aortic arch in a patient with aortic dissection at different focus sizes

焦点大小/cm	管电压/kV	管电流/mA	铜滤过厚度/mm	采集帧数/F·s <sup>-1</sup>	投照角度	DAP/μGy·m <sup>2</sup>	ESD/mGy
42	83	198	0.1	43	56LAO	1 294.7	39.3
32	81	203	0.0	42	56LAO	1 189.2	74.6

3 讨论

DSA在放射诊疗检查中,被检者所受辐射剂量

由两部分组成,即透视和造影。为了方便快捷地提示被检者所受的辐射剂量信息,主要采用DAP和ESD作为介入放射学实践所致患者辐射剂量的表征



表4 1例下肢ASO患者膝下动脉在不同铜滤过厚度下造影辐射剂量比较

Table 4 Comparison of angiography radiation dose under different thicknesses of copper filtration in a patient with lower extremity ASO

铜滤过厚度/mm	管电压/kV	管电流/mA	焦点大小/cm	采集帧数/F·s <sup>-1</sup>	投照角度	DAP/μGy·m <sup>2</sup>	ESD/mGy
0.6	61	128	42	56	0LAO	96.4	1.7
0.3	61	132	42	57	0LAO	427.8	8.0

量,有利于在介入放射学中对被检者所受医疗照射防护进行指导。本研究中被检者所受的总累积辐射剂量,由高至低依次为主动脉夹层、颈动脉狭窄、腹主动脉瘤、髂动脉狭窄和下肢ASO。图1可以看出胸腹部和颈部DSA接受的辐射剂量明显高于下肢动脉,这主要是因为受照物的尺寸及厚度的变化直接影响管电压和管电流的变化,从而导致辐射剂量的变化。图1中还可可见辐射总剂量中的大部分是由DSA造影产生的,其中颈动脉狭窄的占比最高,DSA造影辐射剂量占辐射总剂量的81.6%,这主要是颈动脉狭窄在DSA介入下需要双侧颈动脉和颅内动脉多次多角度造影所致。该结果与曾亚莉等<sup>[6]</sup>研究报道的血管造影受检者所受总累积剂量冠脉最高,其次是头部和腹部具有一定的一致性。主动脉夹层的人均辐射剂量是腹主动脉瘤的1.4倍,其中两者透视的辐射剂量相当,主动脉夹层DSA造影辐射剂量是腹主动脉瘤DSA造影辐射剂量的1.7倍。下肢ASO人均辐射剂量低于其他手术的患者。

为了更加精确地计算各部位单位时间内所接受的透视辐射剂量和造影辐射剂量,图2统计出手术的透视总时间和造影的总时间的均值,每台手术中造影的时间低于透视的时间,但产生辐射剂量却远高于透视的辐射剂量。为了便于比较各部位在单位时间所受辐射剂量的大小,表1是受检者造影辐射剂量与造影时间比值,从中可知单位时间DSA的辐射剂量高于单位时间透视辐射剂量。其中主动脉夹层手术中单位时间的透视与DSA辐射剂量均明显高于其他手术。其中腹主动脉瘤、颈动脉狭窄和髂动脉狭窄3组单位时间DSA辐射剂量数据可以看出,在腹部、头颈部和盆腔部的DSA造影的曝光参数相当,单位时间透视辐射剂量的数据中可以得到腹部在透视的过程中,曝光的参数还是明显高于颈部和盆腔部。

在DSA中除了检查部位的客观因素影响辐射剂量的大小,还跟摄影的一些技术参数相关,比如摄影帧数的调节、摄影角度的变化、摄影范围的调节、射线源到影像板距离的控制、电子放大和准直器范围调节<sup>[7-9]</sup>等。这些技术参数的变化都会直接影响管电压和管电流的变化,从而导致辐射剂量的变化。本研究选择的对象主要是血管外科腔内治疗的患者,

排除了心脏摄影的技术参数,因为心脏摄影常规采用高频帧数摄影,心脏透视和造影的DAP值和ESD值均明显高于其他部位<sup>[10-11]</sup>。

本研究所有患者的透视和曝光帧数均采用10 F/s和6 F/s。为了更好地说明摄影技术参数跟辐射剂量之间的关系,选取1例主动脉夹层病例的辐射剂量报告做分析<sup>[12]</sup>,表2中为同一病例主动脉弓部在不同角度下的造影辐射剂量比较,其他摄影参数不变,仅由正位变化至斜位的情况下,辐射剂量由59.6 mGy增加至153.2 mGy。分析原因,斜位下增加了受照体的体厚<sup>[13]</sup>,为了保证图像的质量,X线穿透人体需要更高的穿透力和射线数量,从而自动曝光控制系统相应增加管电压和管电流的数值,导致辐射剂量的提高<sup>[14]</sup>。表3中两组数据反映的是放大摄影对辐射剂量的影响,选取同一病例主动脉弓部相同角度下,采集帧数、管电压和管电流也基本相近,仅是改变摄影的焦点,采集野由42 cm切换至32 cm后辐射剂量由39.3 mGy增加至74.6 mGy。因为图像做了局部放大摄影后,改变了X线球管中的铜滤过的参数<sup>[15-16]</sup>,未做放大摄影的情况下采用了0.1 mm厚度的铜滤过,放大摄影下受照体的周边组织投照至探测器之外,导致部分X线投照至探测器以外,X线照射的单位面积上的数量值也会降低<sup>[17-18]</sup>,为了补偿这一部分缺失,机器会自动降低铜滤过的厚度提高X线的数量,因此也会降低X线的纯度,从而引起ESD数值的增加<sup>[19]</sup>。

为了提高图像的信噪比,自动曝光控制系统在保证X线量的输出同时,会采用不同厚度的铜滤过来提高X线的质量,从而提高图像的清晰度<sup>[20]</sup>。铜滤过应用最广泛的是外周部位,因外周部位的肢体厚度较薄,探测器接收成像所需的X线量远低于其他部位,X线可以使用更厚的铜滤过,滤过射线束中的低能射线,从而使射线质量变的更纯,穿透力更强,降低患者的皮肤入射剂量<sup>[21]</sup>。下肢动脉造影中,常规采用0.3~0.6 mm的铜滤过,较高档的机器球管还可以切换至微焦点进行摄影,也相应地提高X线的纯度从而降低辐射剂量<sup>[22]</sup>。表4中下肢动脉造影剂量报告中可以看到同样是几十帧的造影采集,辐射剂量均未超过10 mGy,而且铜滤过厚度的增强,辐射剂量

也大幅度地降低,这也就是外周动脉在DSA下所接受的辐射剂量最低的原因。

## 4 结 论

鉴于以上研究结果,DSA中各部位所接受的辐射剂量除了心脏以外,辐射剂量较高的以胸腹部为主,最低的为外周动脉。绝大部分的辐射剂量由造影而产生<sup>[23]</sup>,因此在此建议尽量减少造影的次数和时间,特别是在胸腹部血管介入手术中,尽可能借助CTA等影像进行术前评估,提供术中最佳的投照角度,减少术中造影的次数。推荐在DSA造影的情况下,术者可离开手术室,由技术员在控制室做远程造影,以此降低术者接收的辐射剂量<sup>[24]</sup>。术者也可以通过摄影技术参数的调节来降低辐射剂量,具体的措施包括:根据被检部位的活动度、血流速度,选择合适采集帧频;根据血液循环周期及兴趣区的显示目的,尽可能缩短曝光时间;术中适当选择术中的电子放大参数,Weinberg等<sup>[25]</sup>指出,电子放大功能是术者高度可控的一项参数,建议术中尽量减少该功能的使用;根据被检者体型、兴趣区范围,来选择适当采集野等。最后,不断强化介入医生的辐射防护意识,将辐射防护工作落到实处。

## 【参考文献】

- [1] Balter S, Hopewell JW, Miller DL, et al. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair[J]. *Radiology*, 2010, 254(2): 326-341.
- [2] Spiker A, Zinn Z, Carter WH, et al. Fluoroscopy induced chronic radiation dermatitis[J]. *Am J Cardiol*, 2012, 110(12): 1861-1863.
- [3] Mooney RB, McKinsty CS, Kamel HA. Absorbed dose and deterministic effects to patients from interventional neuroradiology[J]. *Br J Radiol*, 2000, 73(871): 745-751.
- [4] Giordano C, D'Ercole L, Gobbi R, et al. Coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty procedures: evaluation of patients' maximum skin dose using Gafchromic films and a comparison of local levels with reference levels proposed in the literature[J]. *Phys Med*, 2010, 26(4): 224-232.
- [5] International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment-Part 2-43: particular requirements for the safety of X-ray equipment for interventional procedures[R]. Geneva: IEC, 2000.
- [6] 曾亚莉,李红梅,郑玉建,等. 107例数字减影血管造影受检者所受辐射剂量分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2015, 35(6): 475-478. Zeng YL, Li HM, Zheng YJ, et al. Analysis of the radiation doses to 107 patients undergoing digital subtraction angiography(DSA) examinations[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2015, 35(6): 475-478.
- [7] Safari MJ, Wong JH, Jong WL, et al. Influence of exposure and geometric parameters on absorbed doses associated with common neuro interventional procedures[J]. *Phys Med*, 2017, 35(3): 66-72.
- [8] Martin CJ. A review of radiology staff doses and dose monitoring requirements[J]. *Radiat Prot Dosimetry*, 2009, 136(3): 140-157.
- [9] Chida K, Kato M, Kagaya Y, et al. Radiation dose and radiation protection for patients and physicians during interventional procedure[J]. *J Radiat Res*, 2010, 51(2): 97-105.
- [10] 王强,付强,林琳,等. 帧率与电子放大射野对数字减影血管造影受检者剂量的影响[J]. *中国医学装备*, 2022, 19(7): 5-10. Wang Q, Fu Q, Lin L, et al. Effect of frame rate and electronic magnification size on DSA dose of subjects[J]. *China Medical Equipment*, 2022, 19(7): 5-10.
- [11] Scheurig-Muenkler C, Mueller JC, Powerski MJ, et al. Radiation exposure during uterine artery embolization: effective measures to minimize dose to the patient[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2015, 38(3): 613-622.
- [12] Robert F, Yigit O, Matthias G, et al. Radiation dose and fluoroscopy time of modern endovascular treatment techniques in patients with saccular unruptured intracranial aneurysms[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(8): 4504-4513.
- [13] Robert F, Robert S, Lucas L. Radiation dose and fluoroscopy time of endovascular treatment in patients with intracranial lateral dural arteriovenous fistulae[J]. *Clin Neuroradiol*, 2021, 31(4): 1149-1157.
- [14] Scherthaner RE, Haroun RR, Nguyen S, et al. Characteristics of a new X-ray imaging system for interventional procedures: improved image quality and reduced radiation dose[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2018, 41(3): 502-508.
- [15] Guenego A, Mosimann PJ, Pereira VM, et al. Proposed achievable levels of dose and impact of dose-reduction systems for thrombectomy in acute ischemic stroke: an international, multicentric, retrospective study in 1 096 patients[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(7): 3506-3515.
- [16] Farah J, Rouchaud A, Henry T, et al. Dose reference levels and clinical determinants in stroke neuroradiology interventions[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(2): 645-653.
- [17] Söderman M, Mauti M, Boon S, et al. Radiation dose in neuroangiography using image noise reduction technology: a population study based on 614 patients[J]. *Neuroradiology*, 2013, 55(11): 1365-1372.
- [18] van der Marel K, Vedantham S, van der Bom IM, et al. Reduced patient radiation exposure during neurodiagnostic and interventional X-ray angiography with a new imaging platform[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(3): 442-449.
- [19] Don J, John R, Eisen L, et al. The factors contributing to the total radiation exposure of patients during uterine artery embolisation[J]. *Med Radiat Science*, 2019, 66(3): 200-211.
- [20] 戴工华,马承军,姚杰,等. 不同附加滤过与管电压和管电流组合对小儿床边X射线摄影图像质量和辐射剂量的影响[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39(1): 31-36. Dai GH, Ma CJ, Yao J, et al. Influence of different combinations of additional filters and tube voltage and tube current on crib side X-ray image quality and radiation dose[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2019, 39(1): 31-36.
- [21] Andrews RT, Brown PH. Uterine arterial embolization: factors influencing patient radiation exposure[J]. *Radiology*, 2000, 217(3): 713-722.
- [22] Nikolic B, Spies JB, Lundsten MJ, et al. Patient radiation dose associated with uterine artery embolization[J]. *Radiology*, 2000, 214(1): 121-125.
- [23] Mathias M, James R, Federica V, et al. Reproducibility of CT radiomic features within the same patient: influence of radiation dose and CT reconstruction settings[J]. *Radiology*, 2019, 293(3): 583-591.
- [24] Alessandro P, Alessandro T, Pierluigi B, et al. Digital subtraction angiography (DSA) technical and diagnostic aspects in the study of lower limb arteries[J]. *Radiology*, 2022, 2(4): 376-386.
- [25] Weinberg BD, Guild GB, Arbiqum GM, et al. Understanding and using fluoroscopic dose display information[J]. *Curr Probl Diagn Radiol*, 2015, 44(1): 38-46.

(编辑:陈丽霞)