

## 冠状动脉介入术者上肢辐射的影响因素及防护

钱 海, 楼柯楠, 周军波, 章璐幸

**【摘要】目的** 探讨冠脉介入诊疗中术者上肢暴露部位射线剂量与部位高度、术者站位、造影体位及物理防护强度之间的关系。**方法** 通过对仿真人体模型进行造影曝光,采集桡动脉途径时 2 位模拟术者左手、左上臂在不同防护条件、不同造影体位下的体表入射剂量率。采用  $T$  检验比较仅穿无袖铅衣时左手和左上臂间的体表入射剂量率及同一部位在两位术者间的体表入射剂量率,比较左手在床旁防护前后的体表入射剂量率;采用单因素方差分析比较仅穿无袖铅衣时同一部位在各体位间的体表入射剂量率,比较左上臂在不同防护条件间的体表入射剂量率;并计算左手、左上臂在不同防护措施下的射线屏蔽率。**结果** 仅穿无袖铅衣时,第一术者上肢的体表入射剂量率均高于第二术者(左手  $t=38.9\sim 86.5$ ,左上臂  $t=13.0\sim 83.8$ , $P<0.05$ );两位术者左上臂大多数体位的体表入射剂量率高于左手(第一术者  $t=7.1\sim 55.3$ ,第二术者  $t=9.2\sim 78.8$ , $P<0.05$ )。左手给予床旁防护后体表入射剂量率明显较低(第一术者左手  $t=49.4\sim 181.6$ ,第二术者左手  $t=5.1\sim 47.3$ , $P<0.05$ );左上臂给予的防护越强,体表入射剂量率越低(第一术者左上臂  $F=84.6\sim 531.3$ ,第二术者左上臂  $F=7.0\sim 326.3$ , $P<0.05$ )。单纯床旁防护时,第一术者左手、左上臂的射线屏蔽率分别为 22.46%~52.93%、23.83%~72.12%,第二术者左手、左上臂的射线屏蔽率分别为 2.28%~17.39%、3.45%~50.62%,第一术者上肢的射线屏蔽率均高于第二术者,左上臂的射线屏蔽率在多数体位高于左手。半袖铅衣+床旁防护时第一、第二术者左上臂的射线屏蔽率升至 73.32%~89.48%、63.97%~89.55%,两术者之间及各体位之间的射线屏蔽率差值较单纯床旁防护时明显缩小。**结论** 经桡动脉冠脉介入诊疗中,术者上肢暴露部位的射线剂量受部位高度、术者站位、造影体位、物理防护强度等多种因素综合影响,单纯床旁防护对第一术者上肢尤其上臂的防护效果更好,而半袖铅衣弥补了单纯床旁防护的不足,应充分利用床旁防护及穿戴强化的射线防护用品以减少介入术者的辐射危害。

**【关键词】** 冠状动脉介入;上肢;体表入射剂量率;辐射防护

中图分类号:R541.4 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2021)-05-0523-06

**Factors affecting the radiation dose on the interventional operator's upper limb in performing percutaneous coronary intervention and the prevention measures** QIAN Hai, LOU Kenan, ZHOU Junbo, ZHANG Luxing. Department of Cardiology, Ningbo Medical Center, Lihuili Hospital, Ningbo, Zhejiang Province 315040, China

Corresponding author: QIAN Hai, E-mail: doctorqianhai@163.com

**【Abstract】 Objective** To discuss the relationship of the radiation dose on the operator's upper limb with the height of exposed area, standing position of the operator, imaging position (C-arm X-ray angle) and physical protection intensity in percutaneous coronary intervention (PCI). **Methods** The patient was replaced by an anthropomorphic phantom, PCI procedure via radial artery access was simulated, the entrance surface dose (ESD) rates of the simulated operator's left hand and left upper arm at different C-arm angles were collected under different radiation protections. The  $t$ -testing was used to compare the difference in ESD rate between left hand and left upper arm of operator wearing only sleeveless X-ray protective suits, to compare the difference in ESD rate of same site between the first operator and the second operator, as well as to compare the ESD rate of left arm before bedside protection was adopted with that after bedside protection was adopted. Single factor analysis was used to compare the same site ESD rate between different C-arm angles in operator wearing only sleeveless X-ray protective suits, and to compare the ESD rate of the left

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2021.05.022

作者单位: 315040 浙江 宁波市医疗中心李惠利医院心内科(钱海、楼柯楠、周军波);浙江医药高等专科学校(章璐幸)

通信作者: 钱海 E-mail: doctorqianhai@163.com

upper arm between different protection conditions. The X-ray shielding ratios of left hand and left upper arm under different protection conditions were calculated. **Results** When only wearing sleeveless X-ray protective suits, the ESD rates of left upper limb in the first operator were higher than those in the second operator (left hand  $t=38.9-86.5$ , left upper arm  $t=13.0-83.8$ ,  $P<0.05$ ). The ESD rates of left upper arm were higher than those of left hand at most C-arm angles (the first operator  $t=7.1-55.3$ , the second operator  $t=9.2-78.8$ ,  $P<0.05$ ). Under bedside protection, the ESD rates of left hand were obviously decreased (the first operator  $t=49.4-181.6$ , the second operator  $t=5.1-47.3$ ,  $P<0.05$ ). The stronger the protection of left upper arm was, the lower the ESD rate would be (the first operator  $F=84.6-531.3$ , the second operator  $F=7.0-326.3$ ,  $P<0.05$ ). When only simple bedside protection was employed, the X-ray shielding ratios of left hand and left upper limb in the first operator were 22.46%-52.93% and 23.83%-72.12% respectively, which in the second operator were 2.28%-17.39% and 3.45%-50.62% respectively; the X-ray shielding ratios of upper limbs in the first operator were higher than those in the second operator; and the X-ray shielding ratios of left upper limb were higher than those of left hand at most C-arm angles. When simultaneously wearing half-sleeve X-ray protective suits and using bedside protection, the X-ray shielding ratios of left upper arms in the first operator and second operator rose up to 73.32%-89.48% and 63.97%-89.55% respectively; and the difference values of the X-ray shielding ratios between two operators and among different C-arm angles dropped down remarkably if compared with those when only simple bedside protection was adopted. **Conclusion** In performing PCI procedure via radial artery access, the radiation dose on operator's upper limb is comprehensively affected by various factors, including height of exposed area, standing position, angiographic examination position, physical protection intensity, etc. The protective effect of simple bedside shielding device is better for upper limbs, especially for upper arms, of the first operator, while half-sleeve X-ray protective suits can make up for the inadequacy of simple bedside protection. It is very important to make full use of bedside protection and wearing enhanced protection equipment in order to reduce the radiation hazard. (J Intervent Radiol, 2021, 30: 523-528)

**[Key words]** coronary intervention; upper limb; entrance surface dose rate; radiation protection

冠脉介入诊疗是近床操作,尽管铅衣可以保护术者躯干阻挡大部分 X 射线,但上肢等暴露部位仍旧受到较大剂量的辐射<sup>[1]</sup>。有研究表明,部分高难度冠脉介入手术时,术者的受照剂量已非常接近放射工作人员的年有效剂量限值(20 mSv)。本研究模拟经桡动脉冠脉介入诊疗,采集第一、第二术者左手、左上臂在不同造影体位、不同防护条件下的体表入射剂量率,探讨术者上肢射线剂量与部位高度、术者站位、造影体位及物理防护强度之间的关系,为冠脉介入术者上肢暴露部位的辐射防护提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备

①PHILIPS 公司 Allura Xper FD20 型数字化血管造影系统。平板接收器尺寸 50 cm×40 cm,采集矩阵 1 024×1 024,灰阶 14 bit;②床旁防护装置:床上悬吊可倾斜防护屏 50 cm×43 cm(0.5 mmPb)下接防护帘 50 cm×40 cm(0.5 mmPb),床边防护下屏蔽 88 cm×62 cm(0.5 mmPb),床边防护上屏蔽 50 cm×43 cm(0.5 mmPb);③仿真人体模型 1 个(模拟患者,美国

RSD 公司生产的 Alderson RANDO 仿真人体模型,体模内组织齐全,吸收系数等效真人),普通人体模型 2 个(身高 170 cm,模拟第一、第二术者);④德国 Dr.Goos 无袖及半袖射线防护服各 2 套(0.5 mmPb);⑤美国 Thermofisher 公司生产的 EPD-MK2 射线剂量测量仪 2 个:剂量率范围 0  $\mu$ Sv/h~>4 Sv/h,自动调整,精度 $\pm 5\%$ ,使用前均经过检测校正;⑥带夜视功能无线迷你摄像头及图像实时接收设备。

### 1.2 方法

1.2.1 曝光条件及造影体位 将仿真人体模型置于 DSA 床中线上,胸部位于 C 臂正位时平板接收器正下方。床高固定在 0,平板视野 19 cm,采用 Cardiac-left coronary 15 fps 模式,体重选择 55~70 kg,采用冠脉造影常用的 8 个体位:①右前斜(RAO 30°);②肝位(RAO 30°CAU 20°);③右肩位(RAO 30°CRA 20°);④头位(CRA 30°);⑤左肩位(LAO 45°CRA 20°);⑥左前斜(LAO 45°);⑦蜘蛛位(LAO 45°CAU 20°);⑧足位(CAU 30°)进行造影曝光采集,平板接收器尽量贴近仿真人体模型。

1.2.2 术者站位及床旁防护装置摆放方式 参照

心血管介入诊疗桡动脉穿刺时第一、第二术者站位, DSA 床位于中位、C 臂正位时, 于距离 X 射线管中心 70 cm 处作一平行床缘的平行线, 第一术者位于该线距离 X 射线管中心 100 cm 处, 第二术者位于该线距离 X 射线管中心 150 cm 处。在不影响手术操作的前提下, 悬吊防护屏靠近穿刺点并贴近第一术者, 下缘尽量贴近床面, 床边防护装置尽量靠近第一术者, 此摆放方式为 Fetterly 等<sup>[2]</sup>实验证实具有较佳的射线防护效果。

**1.2.3 数据采集方法** 2 个射线剂量测量仪分别放置于第一、第二术者上肢同一部位(左手背或左上臂靠近腋窝处)。分别在仅穿无袖铅衣、单纯床旁防护、半袖铅衣+床旁防护三种防护条件下进行造影曝光, 同时采集两位术者左手(左上臂)在各体位下的体表入射剂量率(每点在不同体位下重复测量 20 次, 通过无线摄像头实时记录体表入射剂量率)。为减小误差, 每次待剂量测量仪读数稳定时读取测量值; 下次测量前需待剂量率降至本底水平; 连续 2 次曝光间隔 30 s 以上, 防止 X 射线管发热过载导致数据不准确; 若出现检测数据偏差过大或 DSA 出现过载报警则马上停止曝光, 待 X 射线管温度下降, 报警解除后继续采集数据。

### 1.3 统计学处理

结果用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析, 数据经正态性检验及方差齐性检验符合正态分布及方差齐性。采用独立样本 *T* 检验对仅穿无袖铅衣时同一部位相同体位 2 位术者间的体表入

射剂量率进行比较; 采用配对 *T* 检验对仅穿无袖铅衣时每位术者相同体位左手和左上臂间的体表入射剂量率进行比较, 对每位术者左手相同体位在床旁防护前后的体表入射剂量率进行比较; 采用单因素方差分析对仅穿无袖铅衣时每位术者同一部位在各体位间的体表入射剂量率进行比较, 对每位术者左上臂相同体位在不同防护条件之间的体表入射剂量率进行比较,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义; 并分别计算每位术者左手、左上臂在不同体位、不同防护措施下的射线屏蔽率。射线屏蔽率(%)=(无防护时体表入射剂量率平均值-防护时体表入射剂量率平均值)/无防护时体表入射剂量率平均值 $\times 100\%$ <sup>[3]</sup>, 两射线屏蔽率差值 $\geq 1.00\%$ 视作射线屏蔽率有差异,  $< 1.00\%$ 时视作射线屏蔽率相当。

## 2 结果

2 名术者左手、左上臂在不同防护条件、不同体位的体表入射剂量率及射线屏蔽率列于图 1~4。

仅穿无袖铅衣、无床旁防护时, 第一术者左手的体表入射剂量率除 LAO 45°和 RAO 30°CAU 20°之间差异无统计学意义( $F=0.6, P>0.05$ ), 其余各体位之间两两比较差异均有统计学意义( $F=2.4\sim 90.5, P<0.05$ ); 第二术者左手的体表入射剂量率各体位之间两两比较差异均有统计学意义( $F=2.3\sim 49.5, P<0.05$ ); 第一术者左上臂的体表入射剂量率除 LAO 45°和 LAO 45°CRA 20°之间差异无统计学意义( $F=1.5, P>0.05$ ), 其余各体位之间两两比较差异均

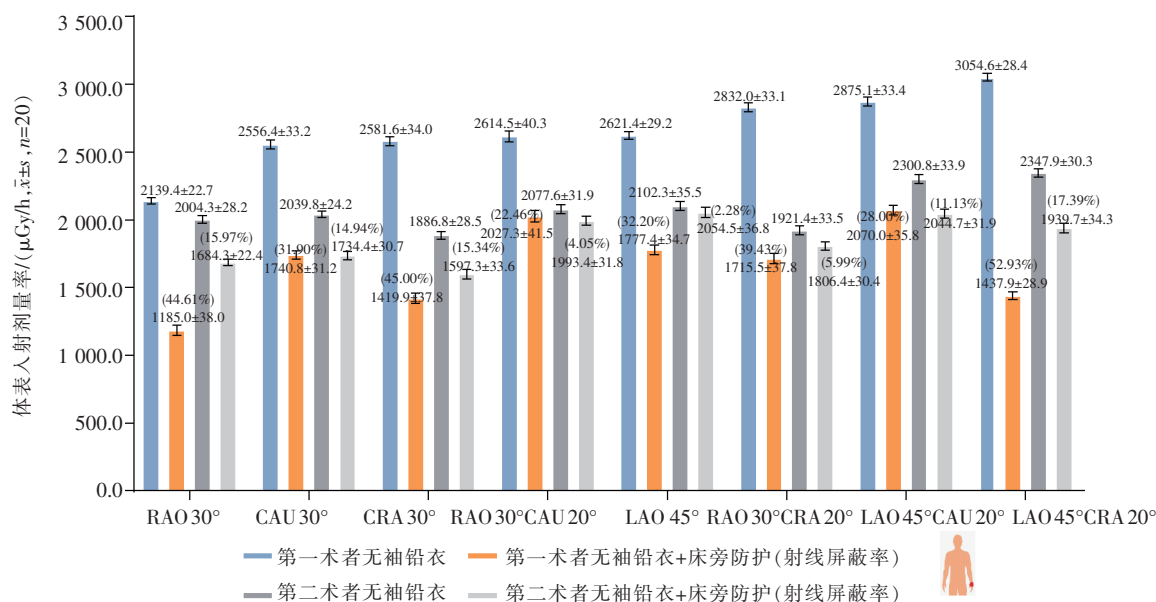


图 1 2 名术者左手不同防护、不同体位的体表入射剂量率及射线屏蔽率

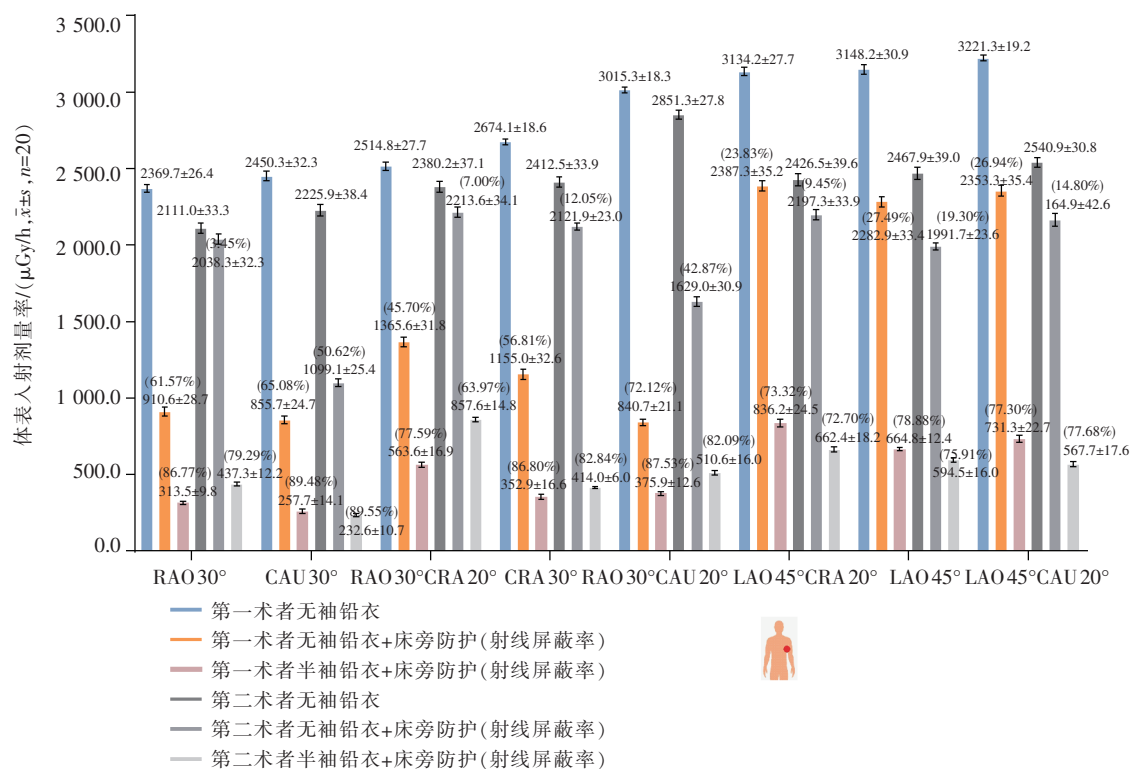


图2 2名术者左上臂不同防护、不同体位的体表入射剂量率及射线屏蔽率

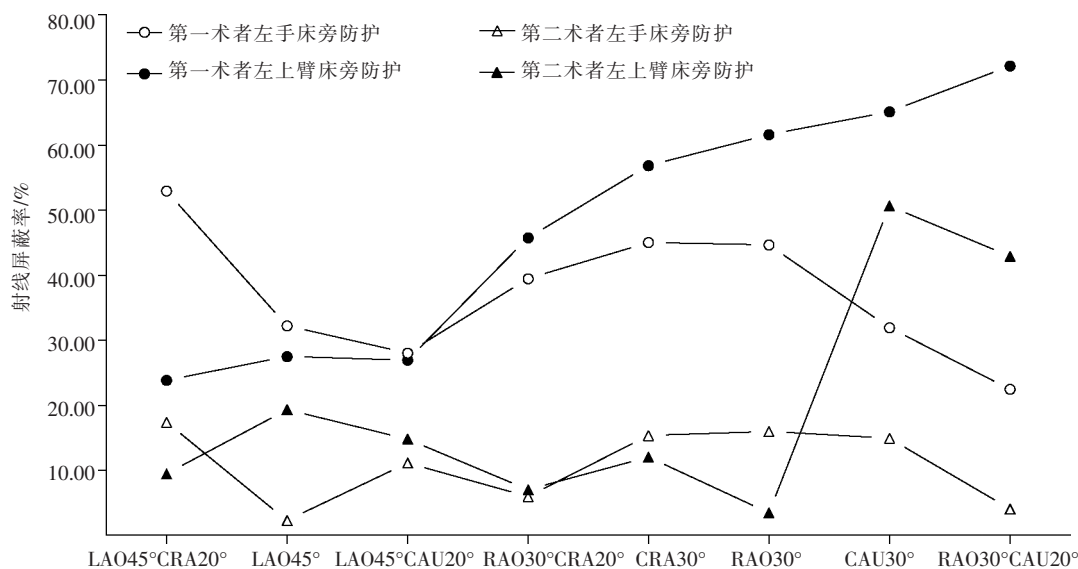


图3 2名术者左手、左上臂单纯床旁防护时射线屏蔽率的对比

有统计学意义( $F=6.8\sim 116.7, P<0.05$ );第二术者左上臂的体表入射剂量率除 CRA30°和 LAO45° CRA20°之间差异无统计学意义( $F=1.2, P>0.05$ ), 其余各体位之间两两比较差异均有统计学意义( $F=2.9\sim 76.3, P<0.05$ )。

仅穿无袖铅衣、无床旁防护时,第一术者左手、左上臂各体位的体表入射剂量率均高于第二术者(左手  $t=38.9\sim 86.5, P<0.05$ , 左上臂  $t=13.0\sim 83.8$ ,

$P<0.05$ );除 RAO30°/CRA20°、CAU30°两个体位第一术者左上臂的体表入射剂量率低于左手( $t=-29.5, -18.1, P<0.05$ ), 其余各体位第一术者左上臂的体表入射剂量率均高于左手( $t=7.1\sim 55.3, P<0.05$ ), 第二术者左上臂各体位的体表入射剂量率均高于左手( $t=9.2\sim 78.8, P<0.05$ )。

仅穿无袖铅衣、无床旁防护时,距离 X 射线管较远的第二术者左手、左上臂的体表入射剂量率较第一



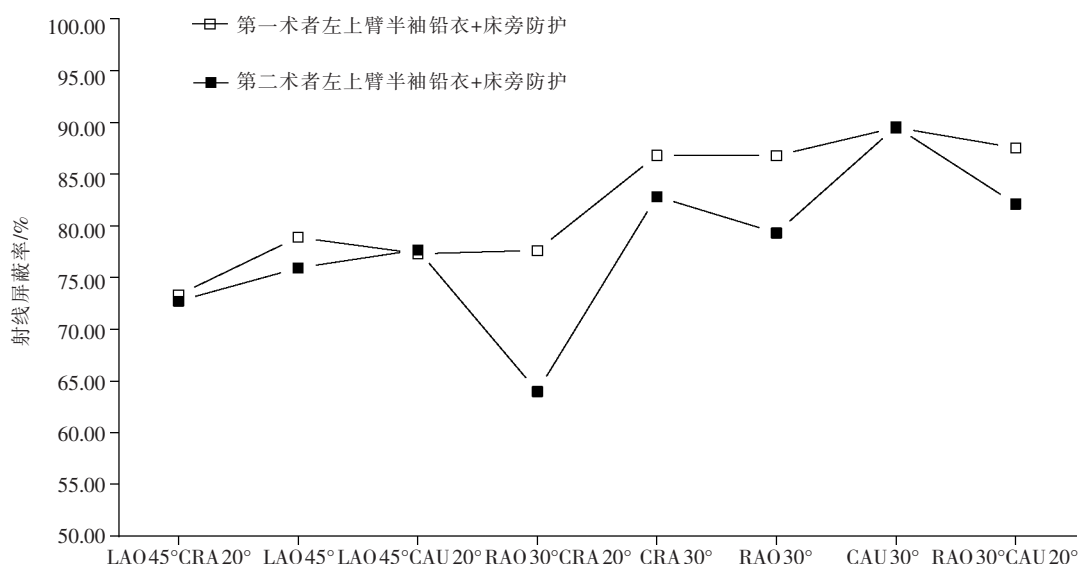


图 4 2 名术者左上臂半袖铅衣+床旁防护时射线屏蔽率的对比

术者分别减少了 6.31%~32.15%、5.35%~22.58%，而第一术者左手、左上臂在单纯床旁防护时的射线屏蔽率分别为 22.46%~52.93%、23.83%~72.12%，第一术者左上臂在床旁防护+半袖铅衣双重防护时的射线屏蔽率则升至 73.32%~89.48%。可见增加距离可减少射线剂量，但应用物理防护设备的辐射防护效果比单纯增加距离更加显著。

每位术者左手给予床旁防护后的体表入射剂量率较床旁防护前下降（第一术者左手  $t=49.4 \sim 181.6$ ,  $P<0.05$ ；第二术者左手  $t=5.1 \sim 47.3$ ,  $P<0.05$ ）；每位术者左上臂在不同防护条件下（无袖铅衣、单纯床旁防护、半袖铅衣+床旁防护）的体表入射剂量率之间差异均有统计学意义（第一术者左上臂  $F=84.6 \sim 531.3$ ,  $P<0.05$ ；第二术者左上臂  $F=7.0 \sim 326.3$ ,  $P<0.05$ ），且防护越强，体表入射剂量率越低，射线屏蔽率越高。

单纯床旁防护时，第一术者左手、左上臂各体位的射线屏蔽率均高于第二术者，两位术者左上臂的射线屏蔽率在多数体位高于左手。所以尽管无床旁防护时第一术者左手、左上臂各体位的体表入射剂量率均高于第二术者以及 2 名术者左上臂的体表入射剂量率在多数体位高于左手，但给予床旁防护后第一术者上肢多数体位的体表入射剂量率反而低于第二术者，2 名术者左上臂也有不少体位的体表入射剂量率低于左手。半袖铅衣+床旁防护双重防护时，第一术者左上臂多数体位的射线屏蔽率高于或等于第二术者，2 名术者之间及各体位之间左上臂的体表入射剂量率差值和射线屏蔽率差值均较单纯床旁防护时进一步缩小。

### 3 讨论

如今，桡动脉已成为冠脉介入诊疗的主要途径，但相比于经股动脉途径，经桡动脉冠脉介入诊疗时术者距离 X 射线管和患者胸部都更近，所受的射线剂量也相对更大<sup>[4]</sup>，实际工作中，很多术者出于对精细操作及舒适性的要求，往往只穿无袖铅衣、铅围脖，而忽视肢体暴露部位的辐射防护，对床旁防护的使用也不到位。

既往一些研究多采用面积剂量乘积(DAP)、累积皮肤表面入射剂量、透视时间来描述术者所受辐射强度，但不同体重的患者、不同水平的术者以及不同的手术难度都将导致射线剂量大幅波动，数据缺乏稳定性、可重复性及可比性。本研究的优势为：①采用仿真人体模型代替患者、普通人体模型代替术者进行曝光，既避免对真实患者、术者的辐射伤害，又可以重复多次采集以得到更精确、稳定的数据；②射线剂量采用体表入射剂量率体现，可以实时反映单位时间内的辐射强度，更加直观和准确。本研究对比上肢各部位在不同术者站位、造影体位和防护条件下的体表入射剂量率后得出许多有意义的结论如下。

仅穿无袖铅衣、无床旁防护时，2 名术者左手、左上臂在各体位下的体表入射剂量率均较高。辐射来源分为床下 X 射线管的主射线、漏射线以及床上患者胸部的散射线。第一术者与 X 射线管的距离及与主射线束之间的角度随着造影体位的改变而变化，距离 X 射线管越近及与主射线夹角越小（即正对主射线），第一术者的体表入射剂量率越大，张引等<sup>[5]</sup>研究也证明了此观点。本研究中，在 LAO 45°

CRA 20°(左肩位)时第一术者离 X 射线管较近, LAO 45°CAU 20°(蜘蛛位)时第一术者与主射线夹角较小, 因此射线剂量较大; 而且上述 2 个体位 C 臂角度相对较大, X 射线穿透仿真人体的厚度增加, 为得到理想的图像质量, DSA 机自动提高曝光条件(调整管电压、管电流), 射线剂量相应增加; 而 RA030°时第一术者离 X 射线管的距离较远, 且 C 臂角度相对最小, X 射线穿透仿真人体的厚度减少, 故射线剂量也相对较小。

此外因为第一术者相比第二术者距离射线源及患者胸部更近, 而 X 射线能量的衰减与距离的平方成正比, 故仅穿无袖铅衣时第一术者左手、左上臂各体位的体表入射剂量率均高于第二术者。因为术者左手贴近患者身体侧面, 左上臂直接暴露于患者胸部散射线的照射范围, 接受的散射线较多, 故 2 位术者左上臂大多数体位的体表入射剂量率高于左手。

给予床旁防护后, 2 名术者左手、左上臂在各体位下的体表入射剂量率均显著降低, 这与王智廷等<sup>[6]</sup>的研究结论相一致。这是因为悬吊防护屏可有效减少来自患者胸部的散射线, 而床边防护使得来自 X 射线管的主射线和漏射线得到不同程度的衰减。其中第一术者更贴近床旁防护(悬吊防护屏及床边防护), 第二术者的站位超出了床旁防护的有效屏蔽范围, 故单纯床旁防护对第一术者左手、左上臂的射线屏蔽率高于第二术者, 这与陈子满等<sup>[7]</sup>的研究结论相一致。同时术者左手处于悬吊防护屏与床边防护挡板交界处, 部分射线越过床旁防护, 而左上臂得到悬吊防护屏较好的射线屏蔽, 故两位术者左上臂的射线屏蔽率在多数体位高于左手。此外单纯床旁防护时, 第二术者左上臂的射线屏蔽率在 CAU 30°(足位)远高于 RA0 30°(右前斜), 这是因为 X 射线管在 CAU30°(足位)时距离第二术者最远, 而在 RA030°(右前斜)时 X 射线管距离第二术者相对较近且部分射线越过床旁防护的有效屏蔽范围。

床旁防护改变了术者站位和部位高度对射线剂量的影响, 故给予床旁防护后第一术者上肢多数体位的体表入射剂量率反而低于第二术者, 两位术

者左上臂也有不少体位的体表入射剂量率低于左手。在床旁防护基础上加用半袖铅衣使两位术者左上臂的体表入射剂量率进一步降低, 射线屏蔽率进一步升高, 进一步减少术者站位和造影体位对射线剂量的影响, 弥补了单纯床旁防护的不足。

综上所述, 经桡动脉冠脉介入诊疗中, 术者上肢暴露部位的射线剂量受部位高度、术者站位、X 射线管-平板的相对位置(造影体位)、物理防护强度等多种因素综合影响。仅穿无袖铅衣时两位术者左手、左上臂的射线剂量均较高, 且第一术者高于第二术者, 左上臂高于左手; 床旁防护可有效降低射线剂量, 且对第一术者上肢及两位术者左上臂的防护效果更好; 在床旁防护基础上配合半袖铅衣可进一步显著降低左上臂的射线剂量, 弥补了单纯床旁防护的不足, 所以应充分利用床旁防护及穿戴强化的射线防护用品以减少介入术者肢体等暴露部位的辐射危害。

#### [参考文献]

- [1] 周建伟, 赵振华, 官 乐, 等. 新型悬浮式防护服防 X 线辐射效果、可操作性和舒适性评价[J]. 介入放射学杂志, 2018, 27:582-586.
- [2] Fetterly KA, Magnuson DJ, Tannahill GM, et al. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2011, 4:1133-1139.
- [3] 王智廷, 曹国全, 缪 妙, 等. 床旁防护屏在冠脉介入诊疗过程中对不同操作者所受剂量的防护作用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35:709-712.
- [4] Brasselet C, Blanpain T, Tassan-Mangina S, et al. Comparison of operator radiation exposure with optimized radiation protection devices during coronary angiograms and ad hoc percutaneous coronary interventions by radial and femoral routes[J]. Eur Heart J, 2008, 29:63-70.
- [5] 张 引, 刘 峥, 王巧云, 等. 包头市中心血管介入放射治疗的发展状况[J]. 包头医学, 2005, 29:1-2.
- [6] 王智廷, 曹国全, 郑 翔, 等. 经皮冠状动脉介入治疗术者站立区水平方向 X 线辐射剂量分布特征分析[J]. 介入放射学杂志, 2018, 27:614-618.
- [7] 陈子满, 黄美萍, 罗 纯, 等. 悬吊防护屏对介入医师最佳防护方案的体模研究[J]. 介入放射学杂志, 2015, 24:637-641.

(收稿日期:2020-03-22)

(本文编辑:俞瑞纲)