

## • 心脏介入 Cardiac intervention •

患者体型和图像采集模式对经皮冠状动脉造影  
射线剂量和图像质量的影响研究

钱 海, 张玉琴, 徐 艳, 胡德兴, 岑泽民, 楼钊楠

**【摘要】 目的** 探讨经皮冠状动脉造影术中患者体型和图像采集模式对射线剂量和图像质量的影响。**方法** 选择 2022 年 1 月至 2023 年 6 月于宁波市医疗中心李惠利医院接受择期经皮冠状动脉造影术患者 40 例,随机分为常规组(男 11 例,女 9 例,冠状动脉模式采集图像)和低剂量组(男 14 例,女 6 例,电生理模式采集图像)。收集患者基本信息、体型数据和各项射线剂量数据,制定图像质量评分表量化评估图像质量。两组间比较采用  $t$  检验、Mann-Whitney  $U$  检验,相关性分析采用 Pearson 相关分析。**结果** 患者胸围越大射线剂量越高,呈正线性相关。低剂量组各项射线剂量数据显著低于常规组(均  $P < 0.01$ ),降低比率为 48.51%~60.74%。两组图像质量评分比较差异无统计学意义(均  $P > 0.01$ ),图像质量均在良好及以上,符合介入手术要求。**结论** 经皮冠状动脉造影术中射线剂量受患者体型、图像采集模式、曝光时间等多因素综合影响。优化图像采集模式可显著减少射线剂量,同时保证图像质量,保护患者和术者健康。

**【关键词】** 冠状动脉造影; 体型; 射线剂量; 图像质量

中图分类号:R816.2 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2024)-06-0599-05

**The effect of patient's body shape and image acquisition mode on the radiation dose and image quality in percutaneous coronary angiography** QIAN Hai, ZHANG Yuqin, XU Yan, HU Dexing, CEN Zemin, LOU Kenan. Department of Cardiology, Ningbo Medical Center Lihuli Hospital, Ningbo, Zhejiang Province 315040, China

Corresponding author: LOU Kenan, E-mail: loukenan@163.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the effect of patient's body shape and image acquisition mode on the radiation dose and image quality in percutaneous coronary angiography. **Methods** A total of 40 patients, who received selective percutaneous coronary angiography at the Ningbo Medical Center Lihuli Hospital of China between January 2022 and June 2023, were selected for this study. The patients were randomly divided into conventional group (including 11 males and 9 females, using coronary angiography mode to make image acquisition) and low-dose group (including 14 males and 6 females, using electrophysiological mode to make image acquisition). The patient's basic information, body size data, and the various radiation dose data were collected. The image quality rating scale for assessing the image quality was formulated. The independent sample  $t$ -test and Mann-Whitney  $U$  test were used for the comparison between the two groups. Pearson correlation analysis method was used to make correlation analysis. **Results** The larger the patient's chest circumference was, the higher the radiation dose would be, there was a positive linear relationship between the patient's chest circumference and the radiation dose. All the radiation dose parameters in the low-dose group were significantly lower than those in the conventional group( $P < 0.01$ ), and its reduction percentage was 48.51%~60.74%. No statistically significant difference in image quality score existed between the two groups ( $P > 0.01$ ), and in both groups the image quality was rated as good or better, meeting the requirements of

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2024.06.003

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目(2022KY1084)

作者单位: 315040 浙江宁波 宁波市医疗中心李惠利医院心内科(钱 海、胡德兴、岑泽民、楼钊楠),影像科(张玉琴),血管介入科(徐 艳)

通信作者: 楼钊楠 E-mail: loukenan@163.com

intervention procedures. **Conclusion** In percutaneous coronary angiography the radiation dose is influenced by multiple factors including patient's body shape, image acquisition mode, exposure time, etc. Optimizing the image acquisition mode can remarkably reduce the radiation dose while maintaining the image quality and protecting the health of patients and operators. (J Intervent Radiol, 2024, 33: 599-603)

【Key words】 coronary angiography; body shape; radiation dose; image quality

经皮冠状动脉介入诊疗作为一项具有微创、疗效好、康复时间短等诸多优点的成熟技术,已成为诊断及治疗冠心病不可或缺的重要手段<sup>[1]</sup>。但介入手术需长时间在 X 线引导下操作,患者和术者均受到远大于普通 X 线操作的电离辐射。1 次心血管介入治疗射线剂量约 15 mSv<sup>[2]</sup>,且随手术难度增加、手术时间延长相应升高,术者面部、四肢等射线防护用品无法覆盖部位暴露于 X 线下<sup>[3-4]</sup>,每年数百甚至上千台介入手术使累计受照剂量远超放射工作人员年有效剂量限值(20 mSv)<sup>[5]</sup>。多年来临床上始终遵循“合理使用低剂量(as low as reasonably achievable, ALARA)”原则,即以最低射线剂量获取满足临床需要的诊断性影像<sup>[6]</sup>。本研究探讨患者体型和图像采集模式,对经皮冠状动脉造影射线剂量和图像质量的影响,拟通过优化图像采集模式,实现保证图像质量的同时显著减少射线剂量,降低对患者和术者辐射危害。

## 1 材料与方法

### 1.1 患者纳入、分组及体型数据收集

选择 2022 年 1 月至 2023 年 6 月于宁波市医疗中心李惠利医院接受择期经皮冠状动脉造影术 40 例住院患者。纳入标准:①病情相对稳定,接受择期经桡动脉冠状动脉介入治疗;②年龄 25~85 岁;③签署参与研究知情同意书。排除标准:①病情不稳定,接受急诊冠状动脉介入手术;②动脉入路过于迂曲、冠状动脉起源异常及其他显著提高造影难度的情况;③有冠状动脉旁路移植手术史。以随机数字表法,将患者分为常规组( $n=20$ ,男 11,女 9)和低剂量组( $n=20$ ,男 14,女 6)。入院后采集患者性别、年龄、身高、体重、体质量指数(BMI)、胸围、胸廓横径、胸廓直径等数据。

### 1.2 图像采集

患者平躺于 Allura Xper FD20 型 DSA 系统(荷兰 Philips 公司)床中线上,胸部位于 C 臂正位时平板接收器正下方。床体高度固定在 0 水平,平板接收器视野 19 cm,尽量贴近患者身体。图像采集模式:常规组透视采用低剂量(low, 15 帧/s),造影采用

冠状动脉模式(cardiac left coronary, 15 帧/s,体重项选择 child: 15~40 kg);低剂量组透视采用低剂量(low, 15 帧/s),造影采用电生理模式(cardiac EP, 7.5 帧/s,体重项选择 child: 15~40 kg)。经桡动脉冠状动脉造影,采用常规 6 个投照体位(左前斜位、正头位、左头位、右头位、左足位、右足位)进行曝光(为充分展露冠状动脉,投照体位角度会根据其走行作适当调整),采用自动控制曝光。所有冠状动脉造影术由同一名具有 8 年以上介入手术经验的心内科专家完成,使用相同对比剂碘海醇注射液(通用电气上海药业公司),以避免对图像质量稳定性产生影响。

### 1.3 射线剂量数据收集

射线剂量结构化报告在每次手术结束时由系统软件自动生成,内容包括空气比释动能(air kerma, AK)、剂量面积乘积(dose-area product, DAP)、曝光时间等数据。患者胸部皮肤剂量基于 AK 和 DAP 计算法<sup>[7]</sup>得到:胸部皮肤剂量(mGy)= $0.2 \times AK$ (mGy)+ $0.12 \times DAP$ (Gy·cm<sup>2</sup>)。考虑到手术难度对曝光时间的影响,同时计算单位时间内射线剂量,以降低曝光时间差异对射线剂量的影响。

### 1.4 图像质量评价

由两名具有 10 年以上介入手术经验的心内科专家,在盲法条件下使用《冠状动脉介入图像质量评分表》(见表 1)对所有原始手术图像质量进行独立评分。

### 1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。正态分布计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,两组间比较采用  $t$  检验;非正态分布计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示,两组间比较用 Mann-Whitney  $U$  检验。 $P < 0.01$  为差异有统计学意义。相关性分析采用 Pearson 分析。

## 2 结果

两组患者基本信息及体型指标见表 2,冠状动脉造影射线剂量及曝光时间对比见表 3,造影单位时间射线剂量对比见表 4。

两组间患者年龄、各体型指标及曝光时间比较差

表 1 冠状动脉介入图像质量评分表

指标	质量评分
动态连续性	动态图像流畅度很高,完全无卡顿:4分;动态图像流畅度较高,基本无卡顿:3分;动态图像流畅度尚可,有少许卡顿:2分;动态图像流畅度较差,有较多卡顿:1分
对比度	对比度很高,明暗对比强烈:4分;对比度较高,明暗对比较强:3分;对比度中等,明暗对比尚可:2分;对比度低,明暗对比弱:1分
图像噪声	噪声很少,图像清晰度很高:4分;噪声较少,图像清晰度较高:3分;噪声较多,图像清晰度尚可:2分;噪声很多,图像清晰度差:1分
锐度	血管边缘很光滑:4分;血管边缘较光滑:3分;血管边缘较模糊:2分;血管边缘很模糊:1分
分辨率	直径 2 mm 以下的血管显示很清晰:4分;直径 2 mm 以下的血管显示较清晰:3分;直径 2 mm 以下的血管显示较模糊:2分;直径 2 mm 以下的血管显示很模糊:1分

图像质量评分(总分 20 分): $\geq 18$  分为优秀,15~17 分为良好,12~14 分为合格, $\leq 11$  分为不合格

表 2 两组患者基本信息及体型指标对比( $\bar{x}\pm s$ )

组别	年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	BMI(kg/m <sup>2</sup> )	胸围(cm)	胸廓横径(cm)	胸廓直径(cm)
常规组(n=20)	60.95 $\pm$ 12.58	164.95 $\pm$ 9.13	67.33 $\pm$ 13.95	24.58 $\pm$ 3.41	96.24 $\pm$ 6.88	29.76 $\pm$ 2.54	21.29 $\pm$ 2.37
低剂量组(n=20)	60.55 $\pm$ 15.35	166.50 $\pm$ 8.53	69.48 $\pm$ 11.24	24.92 $\pm$ 2.30	95.64 $\pm$ 5.80	29.88 $\pm$ 2.60	21.34 $\pm$ 1.87
P 值	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01	>0.01
t 值	0.090	0.555	0.538	0.373	0.301	0.154	0.074

表 3 两组患者冠状动脉造影射线剂量及曝光时间对比( $\bar{x}\pm s$ )

组别	总 DAP(mGy·cm <sup>2</sup> )	总 AK(mGy)	胸部皮肤剂量(mGy)	总曝光时长(s)	透视时长(s)	造影时长(s)
常规组(n=20)	9 593.05 $\pm$ 2 367.96	149.29 $\pm$ 36.84	31.01 $\pm$ 7.65	143.05 $\pm$ 48.49	121.43 $\pm$ 48.23	21.62 $\pm$ 2.44
低剂量组(n=20)	4 619.80 $\pm$ 747.31	71.59 $\pm$ 12.64	14.87 $\pm$ 2.61	139.75 $\pm$ 35.48	116.45 $\pm$ 36.63	23.30 $\pm$ 2.73
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	>0.01	>0.01	>0.01
t 值	8.957	8.921	8.929	0.246	0.368	2.059
射线剂量降低比率(%)	51.84	52.05	52.05			

表 4 两组患者冠状动脉造影单位时间射线剂量对比( $\bar{x}\pm s$ )

组别	透视 DAP(mGy·cm <sup>2</sup> )	造影 DAP(mGy·cm <sup>2</sup> )	透视 DAP/s(mGy·cm <sup>2</sup> )	造影 DAP/s(mGy·cm <sup>2</sup> )	透视 AK(mGy)	造影 AK(mGy)	透视 AK/s(mGy)	造影 AK/s(mGy)
常规组(n=20)	2 964.00 $\pm$ 1 043.02	6 627.00 $\pm$ 1 782.59	25.61 $\pm$ 7.14	312.10 $\pm$ 100.73	43.10 $\pm$ 14.30	106.19 $\pm$ 30.14	0.37 $\pm$ 0.10	5.01 $\pm$ 1.71
低剂量组(n=20)	1 288.65 $\pm$ 403.48	3 334.85 $\pm$ 586.04	11.21 $\pm$ 1.63	143.45 $\pm$ 22.98	16.92 $\pm$ 5.83	54.68 $\pm$ 10.06	0.15 $\pm$ 0.03	2.35 $\pm$ 0.41
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
t 值	6.700	7.846	8.791	7.300	7.584	7.251	10.058	6.763
射线剂量降低比率(%)	56.52	49.68	56.23	54.04	60.74	48.51	59.46	53.09

异无统计学意义(均  $P>0.01$ );低剂量组各类型 DAP(总 DAP、透视 DAP、造影 DAP、透视 DAP/s 和造影 DAP/s)、各类型 AK(总 AK、透视 AK、造影 AK、透视 AK/s 和造影 AK/s)及胸部皮肤剂量显著低于常规组(均  $P<0.01$ );射线剂量降低比率为 48.51%~60.74%。

两名专家对两组冠状动脉造影图像质量评分比较差异无统计学意义(均  $P>0.01$ ),两组患者图像质量均在良好及以上,见表 5、图 1。两种图像采集模式下同一患者左前降支造影图像见图 2。

表 5 两组患者冠状动脉造影图像质量评分对比

评分专家	组别	中位数(分)	Q25	Q75	Qd	等级分布[n(%)]
A 专家	常规组	17.5 <sup>▲△</sup>	17	18	1	优秀 10(50),良好 10(50)
	低剂量组	16.5 <sup>△</sup>	16	18	2	优秀 6(30),良好 14(70)
B 专家	常规组	17 <sup>▲</sup>	17	18	1	优秀 9(45),良好 11(55)
	低剂量组	16	16	18	2	优秀 6(30),良好 14(70)

▲与相同评分专家低剂量组比较, $P>0.01$ ;△与评分专家 B 相同组别比较, $P>0.01$

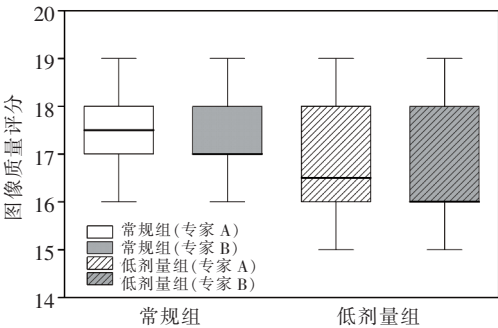
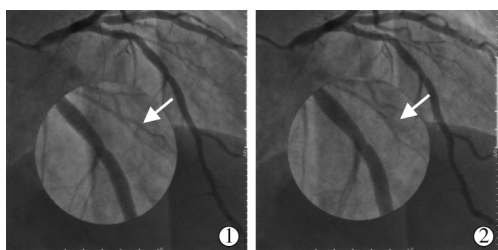


图 1 两组患者冠状动脉造影图像质量评分箱线图

Pearson 相关性分析显示,患者 BMI 值、胸部皮肤剂量、总 AK、造影 AK、造影 AK/s、造影 DAP、造影 DAP/s 均与患者胸围呈正线性相关( $r$  值:0.414~0.778,均  $P<0.01$ ),各类型 DAP(总 DAP、透视 DAP、造影 DAP、透视 DAP/s、造影 DAP/s)与对应类型 AK(总 AK、透视 AK、造影 AK、透视 AK/s、造影 AK/s)呈正线性相关( $r$  值:0.982~0.993,均  $P<0.01$ ),





患者男, BMI 26.90 kg/m<sup>2</sup>, 胸围 98 cm, 采用右头位造影:  
①电生理模式下图像质量评分 16 分(动态连续性 3 分, 对比度 3 分, 图像噪声 3 分, 锐度 3 分, 分辨率 4 分), 良好;  
②冠状动脉模式下图像质量评分 18 分(动态连续性 4 分, 对比度 3 分, 图像噪声 3 分, 锐度 4 分, 分辨率 4 分), 优秀;  
但差距不大, 均满足手术要求

图 2 两种图像采集模式下同一患者左前降支造影图像

各类型 DAP、AK 值与胸部皮肤剂量呈正相关( $r$  值: 0.853~1.000, 均  $P < 0.01$ )。

### 3 讨论

任何辐射剂量均有可能发生随机效应, 且发生率随辐射剂量增多而升高<sup>[8]</sup>, 且电离辐射具有累积效应, 达到一定剂量后还会引发确定性效应。DAP 能预测随机性效应风险, AK 能预测确定性效应风险, 胸部皮肤剂量反映受照部位射线剂量。本研究中各种类型 DAP 值、对应类型 AK 值及胸部皮肤剂量两两间均呈正线性相关, 用于联合评价射线剂量可优势互补, 多角度反映射线剂量水平。

本研究中低剂量组各类型累计 DAP 值(总 DAP、透视 DAP、造影 DAP)、各类型累计 AK 值(总 AK、透视 AK、造影 AK)及胸部皮肤剂量均显著低于常规组(降低比率 48.51%~60.74%); 由于同一患者射线曝光时间越长剂量越高, 为避免曝光时间差异对射线剂量的影响, 将射线剂量除以对应曝光时间得出单位时间内射线剂量, 低剂量组单位时间内 DAP 值(透视 DAP/s、造影 DAP/s)和单位时间内 AK 值(透视 AK/s、造影 AK/s)同样均显著低于常规组(降低比率 53.09%~59.46%)。其可能原因: ①低剂量组造影采集时采用 7.5 帧/s, 为常规组 15 帧/s 一半, 故相同造影时间获取图像帧数减半, 射线剂量也相应降低; ②电生理模式和冠状动脉模式在管电压、管电流等曝光参数上的不同设置, 也导致射线剂量差异。

低剂量组在射线剂量显著降低的同时图像质量是否受到影响, 是本研究关注的另一重点。既往国内外对冠状动脉造影图像质量情况基本由手术

医师主观判断, 无统一量化评价标准。本研究创新性地制定《冠状动脉介入图像质量评分表》, 从图像动态连续性、对比度、噪声、锐度和分辨率等 5 个方面进行评价, 每一方面又分为 4 个等级, 最终不同分数对应不同图像质量等级, 实现图像质量量化评价。利用该评分表对所有入组患者图像进行评分, 尽管常规组评分波动相较于低剂量组要小、优秀率较高, 但最终两组图像质量评分无显著差异, 均在良好及以上, 符合介入手术要求。此外, 无论是常规组还是低剂量组, 两名专家评分之间无显著差异, 证实了专家评价一致性和评分结果可靠性。因此, 在不牺牲图像质量、不影响手术操作前提下, 通过简单设置图像采集模式就可零成本实现冠状动脉介入诊疗手术射线剂量大幅度下降, 减少对患者和术者辐射危害。这与谢小为等<sup>[9]</sup>研究结论一致。

本研究显示患者胸围越大, 射线剂量越高。因为当 X 线穿透人体组织厚度增加时, DSA 系统为得到理想的图像质量, 会自动提高曝光条件(调整管电压、管电流等), 射线剂量相应增加, 这与 Yuan 等<sup>[10]</sup>研究结果一致; 相反, X 线穿透人体组织越薄, 射线剂量越低。此外, 本研究发现在低剂量电生理模式(体重项选择 child)下, 个别大 BMI 值( $\geq 28$  kg/m<sup>2</sup>, 达中国肥胖标准)、大胸围( $\geq 105$  cm)患者图像质量评分较标准 BMI 值、标准胸围患者有所下降, 需根据患者体重选择对应体重选项以提高曝光条件, 从而获取满意的图像质量, 但射线剂量会相应升高。后续研究中我们将对比固定体重模式和灵活体重模式(根据体重选择对应体重选项)下射线剂量及手术图像质量的差异, 探索射线剂量与图像质量之间最平衡优化的图像采集方案, 指导临床应用。

总之, 本研究通过 DAP、AK 和胸部皮肤剂量联合评价客观反映射线剂量水平, 结果显示经皮冠状动脉造影术中射线剂量受患者体型、图像采集模式、曝光时间等多因素综合影响, 其中曝光时间因受术者水平、手术难度等影响较难控制, 而通过简单的参数设置、优化图像采集模式即可从源头零成本地显著降低射线剂量, 同时保证图像质量, 减少了对患者及术者辐射危害, 值得在临床上应用推广。

### [参考文献]

- [1] Al-Jabri AJ, Alzimami K, Alsafi K, et al. Retrospective analysis of patient radiation doses in digital coronary angiography and interventions [J]. Radiat Prot Dosim, 2019, 183: 496-501.

- [2] Gerber TC, Carr JJ, Arai AE, et al. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention[J]. Circulation, 2009, 119: 1056-1065.
- [3] 周建炜,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.
- [4] 尤泽,刘凤刚,魏兴宇,等. 冠脉介入诊疗术中不同投照角度对术者辐射剂量的影响[J]. 介入放射学杂志, 2023, 32:608-611.
- [5] 宋扬,李正才,陈硕,等. DSA 冠脉造影致医护人员辐射剂量的研究[J]. 中国辐射卫生, 2014, 23:329-331.
- [6] Preston RJ. Radiation biology: concepts for radiation protection [J]. Health Phys, 2005, 88: 545-556.
- [7] Sulieman A, Theodorou K, Vlychou M, et al. Radiation dose measurement and risk estimation for paediatric patients undergoing micturating cystourethrography[J]. Br J Radiol, 2007, 80: 731-737.
- [8] 马志强,吴迎春,吕刚,等. 辐射危害及其防护措施[J]. 兵团医学, 2020, 18:53-56.
- [9] 谢小为,王庆华,吴清华,等. DSA 低剂量技术在急性冠脉综合征中的应用及对患者 X 线辐射剂量的影响[J]. 介入放射学杂志, 2022, 31:991-994.
- [10] Yuan H, Lu H, Zeng J, et al. Comparison of radiation doses between hepatic artery infusion chemotherapy and transarterial chemoembolization for liver cancer [J]. J Interv Med, 2021, 4: 184-189.

(收稿日期:2023-10-04)

(本文编辑:谷珂)

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告  
《Journal of Interventional Radiology》  
网址: [www.cjir.cn](http://www.cjir.cn)  
邮箱: [jrfsxzz@vip.163.com](mailto:jrfsxzz@vip.163.com)