

with tooth enamel for retrospective dose assessment [M]. Austria: IAEA, 2002. 25-26.

- [13] Brik A, Haskell E, Brik V, et al. Anisotropy effects of EPR signals and mechanisms of mass transfer in tooth enamel and bones[J]. Appl Radiat Isot, 2000, 52(5): 1077-1083.
- [14] Zdravkova M, Crockart N, Tromprier F, et al. Retrospective dosimetry after criticality accidents using low-frequency EPR: a study of whole human teeth irradiated in a mixed neutron and gamma-radiation field [J]. Radiat Res, 2003, 160(2): 168-173.

[15] Haskell EH, Hayes RB, Romanyukha AA, et al. Preliminary report on the development of a virtually nondestructive additive dose technique for EPR dosimetry [J]. Appl Radiat Isot, 2000, 52(5): 1065-1070.

[16] Ishchenko SS, Vorona IP, Okulov SM, et al. ^{13}C hyperfine interactions of CO_2^- in irradiated tooth enamel as studied by EPR [J]. Appl Radiat Isot, 2002, 56(6): 815-819.

(收稿日期: 2004-03-09)

文章编号: 1001-098X(2004)03-0132-04

介入放射学诊疗过程患者受照剂量及防护措施

徐国千

摘要 介入放射学在过去 20 多年来得到迅速的发展, 新的技术和影像监视手段也获得不断的进步, 其在临床上的应用日益广泛, 给患者带来了巨大的利益。与此同时, 介入放射学对患者的高辐射剂量也引起了许多国家放射学界的密切关注, 开展了很多对患者的辐射剂量测量以及防护措施的研究, 并提出了很多有价值的建议。

关键词 介入放射学; 患者剂量; 辐射防护

中图分类号 R144.1 文献标识码 A

Radiation doses received by patient and prevention methods in interventional radiology procedures

XU Guo-qian

(Institute of Radiation Medicine and Public Health, Suzhou University, Suzhou 215007, China)

Abstract With the rapid development of interventional radiology over the last 20 years, the new techniques and image guidance tools have also acquired a continuous advance. A growing number of patients have benefited from their increasing application in clinic. Meanwhile, a close concern has been growing for high patient doses in the interventional radiology circle in many countries. Studies have been conducted on dosimetry and protection methods with multiple valuable suggestions.

Key words interventional radiology; patient doses; radiation protection

1 一般介绍

介入放射学(interventional radiology, IR)是以影像诊断为基础, 在医学影像诊断设备的引导下, 利用穿刺针、导管及其他介入器材, 对疾病进行诊断或治疗。从上个世纪 30 年代前后, IR 就已经开始在临床上应用, 尤其是在过去的 20 多年里, 随着

医学影像技术和设备的发展, IR 的临床应用范围不断扩大, 影像监视手段也从早期使用的直接 X 线透视到 DSA (数字减影血管造影)、超声、CT 透视, 以及近年来出现的开放型 MRI。上个世纪 90 年代中期, 作为一种较小侵入性的引导工具, 计算机体层摄影荧光透视检查^[1]已被用于各种类型的经皮介入操作, 如精确的穿刺针放置、活组织检查、导管插入和引流术等, 它能实时地重建和显示 CT 图像, 并且克服了超声波成像和传统的荧光透视检

查的典型的局限性。但是值得注意的是,它具有潜在的对患者和职业人员的高剂量照射。由于大部分操作的扫描层(scanning plane)在整个操作期间保持不变,患者皮肤的累积剂量可能会达到确定性效应的阈值($>2\text{Gy}$);此外,高管电压(如 120kV)和高管电流(如 90mA)的高照射参数设定可能被使用,而且对于较小的和难以定位的病变,可能需要较长的荧光透视扫描时间。这些因素都将会增加对患者的辐射剂量。

在 IR 操作中,对患者的最高剂量是在射线进入皮肤的入口处,因此,应特别注意高辐射剂量对患者诱导的皮肤损伤^[1,2]。典型的皮肤损伤表现为:从低剂量时的暂时红斑到很高剂量时的皮肤坏疽或慢性溃疡^[3]。基于这种关注,很多研究机构和研究者^[1-11]对 IR 操作中患者受到的辐射剂量进行了调查研究,并提出了很多减少患者辐射剂量的建议。在美国,由 Donald M 领导的 RAD-IR (介入放射学辐射剂量)研究组^[3,4]对累积剂量(cumulative dose, CD)的调查显示:74%的 TIPS(经颈静脉肝内门体静脉分流术)、64%的内脏/肾动脉的支架放置、64%的非神经栓塞和 97%的神经栓塞操作过程中,患者接受的皮肤剂量大于 1Gy 。

2 患者受照剂量的评价

2.1 剂量指标

目前,对 IR 操作中患者的受照剂量还没有统一的标准测量方法和评价指标,文献报道中不同的研究者对与 IR 操作相关的辐射剂量的测量和评价使用了不同的指标,如最高皮肤剂量 (peak skin dose, PSD)^[3,4]、CD^[3,4]、剂量-面积乘积(dose-area-product, DAP)^[3-5]、入射表面剂量(entrance surface dose, ESD)^[1]、有效剂量^[1,2,5]、荧光透视检查时间^[1,3,4,6,7]和获得的影像数量^[1,3,4]等。

在评价 IR 操作中患者受照剂量的各种指标时,PSD 测量法是评价确定性效应的最好指标,它是指在某一操作期间授予患者皮肤的某一部位的最高剂量,单位是戈瑞 (Gy),但是由于 PSD 测量法在技术上比较困难和复杂,目前还没有被广泛使用。CD 与 PSD 之间有较好的总体相关关系,是 PSD 最精确的估计;如果只知道 CD 或 DAP,对于已出版的剂量指数的数据(或相应的 DAP 指数)可用来估计 PSD。DAP 指示了授予患者总 X 射线的能量,

测量单位是 $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$,缺乏 CD 测量性能时可用于估计 CD;尽管 DAP 是一种评价随机性效应危险的有用的测量方法,但作为皮肤剂量的指标是不够的,按照临床操作常识,源自 DAP 数据对皮肤剂量的估计,至少有 30%~40%的不确定度。剂量指数是指在介入参考点^[4]处 PSD 和 CD 之间的比,是对影响 PSD 的操作者、操作和患者等各种因素进行衡量的一个有用的方法。另外,荧光透视检查时间和影像数量是最广泛可用的剂量指标,它们能给予一种剂量的指示。

2.2 剂量测量方法

皮肤的剂量测量可直接使用一种面积测量装置如放射疗法确认胶片,或一个点测量装置如半导体探测器或 TLD(热释光剂量计)等。当直接用放射疗法确认胶片测量时,操作之前将胶片放置在入射 X 线束照射野的患者皮肤背侧,操作后形成的胶片可提供皮肤剂量的分布图,并可用于 PSD 测量。点测量可以用 TLD 等放置在患者皮肤表面直接测量。对于患者器官剂量的测量^[2],可以按照临床上对患者施行的介入操作的实际参数设置,将 TLD 置于拟人体模(phantom)内相应器官的位置进行直接测量,测量的结果可以提供对患者器官剂量的一个估计。

使用内置在荧光透视检查设备上的剂量绘图软件估计皮肤剂量,能够提供 PSD 和皮肤剂量分布的实时显示,使用简单,很少需要操作者的干预,但是这种软件是制造者所特有的,目前还不能广泛使用。

2.3 患者剂量水平与剂量记录

近几年,很多研究者对于 IR 操作中患者剂量水平进行了调查分析,西班牙 Vanom E 等^[5]对在 2~10 年内经历 4~14 次冠状血管造影和 5~10 次 PTCA(经皮经腔冠状血管成形术)的 14 例患者的皮肤辐射剂量及损伤进行了研究,估计每个操作 DAP 的平均值对于冠状血管造影是 $46\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$,对于 PTCA 为 $82\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$;每个操作的最大皮肤剂量的平均值对于诊断研究为 217mGy ,对于 PTCA 为 391mGy 。RAD-IR 研究中发现:TIPS 建立,肾脏/内脏血管扩张术,支架放置和实际上所有类型的栓塞操作具有潜在引起 PSD 大于辐射诱导的皮肤确定性效应的阈值 2Gy ;少数操作可能实际上更高,尤其是肝脏化学栓塞、肿瘤栓塞和头部神经栓塞的操作,而

脊柱栓塞的 18 个病例的平均 PSD>5Gy。ICRP (国际辐射防护委员会) 推荐^[4], 当操作不太有可能重复、最大皮肤剂量值被估计是 3Gy 或更大, 或者当操作有可能重复、最大皮肤剂量值是 1Gy 或更大, 应该在患者的病历上记录剂量数据。

关于剂量记录方法的选择, 最好是使用 PSD 测量法, 如果 PSD 测量法不可用, CD 是一种合理的选择; 如果 PSD 或 CD 不能被直接测量, 应该记录允许估计 CD 的足够的的数据, 这可以通过 DAP 测量来完成; 如果缺乏 PSD、CD 或 DAP 测量性能的设备, 至少荧光透视检查时间和获得的图像的数据应该被记录在患者的病历上。

3 防护措施

对 IR 操作中患者所受高辐射剂量的防护, 最根本的措施应致力于避免患者接受不必要的照射。由于 IR 操作对患者的损伤主要是辐射诱导的皮肤损伤, 因此防护措施应该主要针对这种皮肤剂量的减少。

(1) 设备的要求: 荧光透视检查设备最好能具有内置式完整的放射量测量系统, 在操作过程中对放射量测量信息(如 PSD、CD、DAP 和荧光透视时间等)进行实时监测, 给操作者及时反馈, 以避免检查期间患者接受的皮肤剂量超过确定性效应的阈值。同时, 设备应能具有剂量减少特征, 如影像增强电视系统、脉冲荧光透视法、低剂量连续荧光透视法、无辐射的可视化准直器和滤线器定位等。或扞

(2) 检查参数的最优化: 扫描机技术设定^[7] 在患者剂量中扮演重要角色, 低的 kV/mA 技术将会使患者和操作人员的剂量明显减少; 另外, 患者的辐射剂量与照射时间是成正比的, 因此, 在操作期间限制荧光透视检查时间也是很重要的。

(3) 采取剂量分散措施: 通过调整扫描架(gantry) 角度、移动扫描床或使用一个附加床面等措施可分散患者皮肤表面上的辐射剂量, 避免单一皮肤区域接受全部剂量。

(4) 加强对操作者的训练: 既包括介入操作技术的训练, 也包括辐射管理方面的训练。随着操作者的经验增长, 操作程序的规范化, 操作时间和荧光透视检查时间将逐渐减少^[6]; 操作者在辐射安全、辐射防护和辐射剂量减少方面接受广泛而正式的训练对有意地使剂量减少到最低也有重要的作用。

(5) 其他措施: 如制定统一的剂量测量方法和评价指标; 定期对剂量减少措施进行评估, 确保这些措施的有效实施; 如果患者接受了一种临床上重要的辐射剂量类型, 应该在病历上记录其剂量数据; 开发利用新的介入性引导工具, 如开放式 MRI 设备与其相应配套器具的开发以及超声的配合使用, 使介入放射学向低或无放射线方向发展; 加快针对不同介入操作类型患者的防护设施研究。

综上所述, 减少介入放射学诊疗操作中患者辐射剂量的措施, 应该包括与所有剂量相关的部分, 例如: 法规、标准、患者、医师、操作人员、助手和物理师等, 否则减少剂量的措施是不可能有效的。

参 考 文 献

- [1] Buls N, Pages J, Mey J, et al. Evaluation of patient and staff doses during various CT fluoroscopy guided interventions [J]. Health Phys, 2003, 85(2): 165-173.
- [2] Perisinakis K, Damilakis J, Theocharopoulos N, et al. Accurate assessment of patient effective radiation dose and associated detriment risk from radiofrequency catheter ablation procedures[J]. Circulation, 2001, 104(1): 58-62.
- [3] Miller DL, Balter S, Cole PE, et al. Radiation doses in interventional radiology procedures: The RAD-IR study: Part I: overall measures of dose[J]. J Vasc Interv Radiol, 2003, 14(6): 711-727.
- [4] Miller DL, Balter S, Cole PE, et al. Radiation doses in interventional radiology procedures: The RAD-IR study: Part II: skin dose[J]. J Vasc Interv Radiol, 2003, 14(8): 977-990.
- [5] Vanom E, Goicolea J, Galvan C, et al. Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures[J]. Br J Radiol, 2001, 74: 1023-1031.
- [6] Gianfelice D, Lepanto L, Perreault P, et al. Effect of the learning process on procedure times and radiation exposure for CT fluoroscopy-guided percutaneous biopsy procedures [J]. J Vasc Interv Radiol, 2000, 11(9): 1217-1221.
- [7] Irie T, Kajitani M and Itai Y. CT fluoroscopy-guided intervention: marked reduction of scattered radiation dose to the physician's hand by use of a lead plate and an improved I-I device[J]. J Vasc Interv Radiol, 2001, 12(12): 1417-1421.
- [8] Haku T, Hosoya T, Ito H, et al. Radiation protection system for interventional procedures of the upper extremity: evaluation in a phantom model[J]. J Vasc Interv Radiol, 2002, 13(8): 815-822.
- [9] Aroua A, Burnand B, Decka I, et al. Nation-wide survey on radiation doses in diagnostic and interventional radiology in Switzerland in 1998[J]. Health Phys, 2002, 83(1): 46-55.
- [10] Fletcher DW, Miller DL, Balter S, et al. Comparison of four

techniques to estimate radiation dose to skin during angiographic and interventional radiology procedures [J]. J Vasc Interv Radiol, 2002, 13(4): 391-397.

[11] Marx MV. The Radiation dose in interventional radiology

study: knowledge brings responsibility[J]. J Vasc Interv Radiol, 2003, 14(8): 947-951.

(收稿日期: 2004-04-13)

文章编号: 1001-098X(2004)03-0135-04

高剂量率后装 ^{192}Ir 源剂量测试研究进展

张书旭¹ 李文华² 徐海荣²

摘要 现代后装治疗大多采用 HDR (高剂量率) 微型 ^{192}Ir 源, 其近源区剂量特性常用针点电离室、热释光剂量计测量, 但 ESR (电子自旋共振) 胶片法测量的空间分辨率更高, 可达 $156\mu\text{m}$, 而蒙特卡罗光子输运模拟方法是衡量测量准确度的金标准。用热释光剂量计进行直肠内剂量测量是预测直肠并发症发生率的良好指针。慢感光胶片测量 ^{192}Ir 源二维剂量分布精度可达 1%, 用基于 MR (核磁共振) 的凝胶剂量计测量 ^{192}Ir 源三维剂量分布准确度可达 2.5%、空间分辨率达 1.56mm , 光学体层成像凝胶剂量计测量三维剂量分布具有独特的优势。

关键词 高剂量率; 后装治疗; ^{192}Ir 源; 三维剂量

中图分类号 R144.1 文献标识码 A

Dosimetric advancement of high-dose-rate after-loading ^{192}Ir source

ZHANG Shu-xu¹, LI Wen-hua², XU Hai-rong²

(1. Department of Radiation Therapy Center, Guangzhou Tumor Hospital, Guangzhou 510095, China; 2. Department of Biology Medical Engineer, First Military Medical University, Guangzhou 510515, China)

Abstract High-dose-rate (HDR) ^{192}Ir source is a nuclide commonly used in the brachytherapy system. The basic dosimetry data of the near source area is usually measured by pin ion chambers or TLD techniques, but these methods have a lower spatial resolution than Electron spin resonance (ESR) dosimetry which has a spatial resolution of $156\mu\text{m}$, and the Monte Carlo photon transport simulations are taken as the golden standard of those measures. The precision in two-dimensional dose distribution measured by GafChromic film is reported to be 1.0%. In vivo dosimetry using TLD during HDR intracavitary after-loading brachytherapy is a good predictor of late rectal complications. The accuracy of magnetic resonance imaging (MRI) Fricke-gel dosimetry for three-dimensional dose distribution is about 2.5% with a spatial resolution of 1.56mm . The optical computed tomography polymer gel dosimetry has a unique advance than MRI gel dosimetry.

Key words high-dose-rate; after-loading brachytherapy; ^{192}Ir source; 3-dimensional dose

现代新型后装治疗机中, 放射源日益朝微型化方向发展, 高剂量率微型 ^{192}Ir 源的出现, 使后装治疗从传统的妇科领域发展到全身各部位管腔内、组织间。随着电脑技术和影像学技术的进步, 出现了基于现代高技术影像设备如 CT、MRI、PET 体层显像的三维后装治疗计划系统, 使后装治疗剂量优

化、个体化、可视化成为现实。由于 ^{192}Ir 源发出的 γ 射线能谱复杂, 射线平均能量仅 370keV , 源外剂量分布梯度大, 对放射源、靶区和危及器官剂量的准确测量难度大。近几年来, 多种微型热释光剂量片, 慢感光胶片, 基于 MRI、超声、光束扫描的三维剂量验证技术及蒙特卡罗光子输运模拟技术不断应用到 ^{192}Ir 源后装剂量测试研究中来, 将后装剂量测试研究从点到面、从二维到三维推向了一个新水平。本文对高剂量率微型 ^{192}Ir 源后装剂量测试研究的进展和现状进行综述。

基金项目: 广东省科技计划资助项目(C30601); 广东省自然科学基金资助项目(37065)

作者单位: 1. 510095 广州市肿瘤医院放疗中心; 2. 510515 广州, 第一军医大学生物医学工程系