

脊柱微创手术的辐射危害及其防护进展

Radiation exposure to surgeons in minimally invasive spine surgery

范国鑫, 扶青松, 顾广飞, 贺石生

(同济大学附属第十人民医院脊柱外科 200072 上海市延长路 301 号)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2014.03.14

中图分类号: R818 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2014)-03-0275-04

医学影像学是现代医学最重要的诊断工具之一,术中 X 线透视检查因可实时获得患者的骨骼结构信息和可移动便利性而被广泛用于脊柱手术中^[1]。脊柱微创手术近年来因其创伤小、出血少、创口美观、感染几率小、术后恢复快、疗效相当而得到迅速的发展并在全世界各地得到广泛推广^[2-4],现已明确可应用于脊柱退行性疾病^[5]、脊柱畸形^[6]、外伤^[7]和肿瘤^[8]等。然而,由于脊柱微创手术经常需要在 X 射线透视下进行定位和复位检查,所以脊柱外科医生的辐射危害是临床上不容忽视的问题^[9]。高剂量辐射可以诱发肿瘤、白内障、心血管疾病等,低剂量辐射暴露与肿瘤、白内障、心血管疾病等联系也是当下研究的热点^[10-13]。增强对辐射危害的基本认识,提高辐射的防范意识,掌握减少辐射暴露的原则与方法,是每一位脊柱外科医生的职业健康的必修课^[3,14]。笔者就脊柱微创手术的辐射危害及其防护进展综述如下。

1 辐射的来源

人体接收的辐射来源包括背景辐射和人造辐射;背景辐射又可分为地球辐射和宇宙辐射,而人造辐射可分为医源性辐射和非医源性辐射^[5]。其中,脊柱外科医生所接收的辐射主要来源于医源性辐射的 X 射线辐射,比如脊柱外科手术中用于定位的 C 型臂 X 线机等。

脊柱外科手术中外科医生所暴露的 X 射线辐射可分为初级辐射和散射辐射。初级辐射是指术者暴露在射线发生器与接收器之间通路时所接收的直接辐射。散射辐射是指原射线束遇到障碍物散发的辐射。脊柱外科医生在手术操作中接收的初级辐射的辐射量远比散射辐射的辐射量要多,特别是手部由于直接暴露在初级辐射下而难以采取防护措施,接收的辐射量是最大的^[16]。其他潜在的辐射来源还可能来自仪器的射线泄漏,但一般而言,恰当的监控和防护都能有效防范此类辐射来源。

2 辐射的基本参数

第一作者简介:男(1993-),本硕博连读,研究方向:脊柱外科
电话:(021)66300588 E-mail:18801790466@163.com
通信作者:贺石生 E-mail: hss7418@aliyun.com.cn

辐射剂量指辐射传递的能量对组织的影响程度。为了计算每一单位质量的组织所接收的辐射剂量,辐射防护提出了吸收剂量的概念,用 D 表示。辐射的单位分为国际单位和常用单位^[17],D 的国际制 SI 单位为戈瑞(Gy, 1Gy=1 J/kg),常用单位为拉德(rad, 1rad=100Gy)。然而,辐射对人体产生的危害不仅与所受的吸收剂量有关,还与辐射的品质等有关。为了以同一种尺度衡量不同品质的辐射对人体产生的效应,辐射防护还提出了剂量当量(H)的概念,定义为 $H=DW$ (W 为辐射权重因子)。其中 X 射线的辐射权重因子为 1,所以剂量当量 H 在数值上等于吸收剂量 D^[15]。辐射剂量当量 H 的国际制单位为希(Sv), 1Sv=1J/kg,常用单位为雷姆(rem, 1Sv=100rem)。由于剂量当量 H 概念本身包含了辐射的生物效应,辐射防护上一般用它来预测辐射对人体危害风险的高低。

3 辐射的损害

辐射对人体的损害常常与肿瘤、白内障、心血管疾病等联系在一起^[13,18-20],其生物效应存在确定性效应和随机性效应^[17]。辐射的确定性效应是种剂量依赖性效应,指当辐射超过一定的阈值时,细胞已不能完成自我修复功能,以至于细胞形态功能发生改变甚至癌变,比如毛发脱落、皮肤烧伤、恶心呕吐、白内障等^[1];辐射随机性效应是种非剂量依赖性的效应,指机体接受的辐射损伤虽然没有一定的辐射阈值,但损伤可以在小剂量辐射的不断暴露状态下逐渐积累,最后产生病态的累积效应,比如肿瘤、畸形等^[1]。这也是近年研究的热点,应予以足够注意^[13,15]。

X 线辐射对人体的损害机制主要是通过电离辐射产生的各种生物效应对人体正常活细胞造成损伤,引起病理反应^[15]。辐射可以破坏 DNA 的结构,抑制细胞的有丝分裂或者改变正处于分裂期细胞的基因编码,使得正常的活细胞因此而死亡或癌变。不同组织的辐射敏感性有所差别,这主要取决于特定组织中处于增生活跃期细胞的数量或百分比。由于增生活跃的细胞更容易受辐射的影响,所以像性腺、骨髓等器官或胚胎、新生儿的辐射敏感性相对较高。

4 敏感器官与手术限值

国际辐射防护委员会 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 是提供辐射防护建议指南的专业国际咨询机构, 它推荐了职业人员全身各组织器官的辐射年限值 (表 1)^[9]。每年全身的辐射剂量不宜超过 50mSv, 5 年内平均每年应该控制在 20mSv 以内^[3,17]。根据 ICRP 最新的指南建议, 职业人员的眼睛 5 年内平均每年接收的辐射量不宜超过 20mSv, 单年不宜超过 50mSv^[21,22]。脊柱外科医师的手经常直接暴露在 X 射线束中, 为了便于操作而无法采取防护措施, 因而接收的辐射往往远超过其他组织器官^[1]。乳腺、性腺、眼睛晶体和甲状腺是对辐射比较敏感的器官, 在实际操作中外科医生常常疏于穿戴铅服、铅眼镜和甲状腺盾, 因而成为备受关注的研究热点^[1,23-25]。根据外科医师各器官组织暴露的辐射剂量不同以及 ICRP 推荐的职业人员不同器官的辐射限值, 我们可以计算出各脊柱微创手术数量的年限值。

Ahn 等^[9]在 30 例经皮内窥镜下椎间盘切除术 (percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD) 手术中对外科医生的颈部、胸部、臂区和手部进行了辐射测定, 平均每台手术时间为 49.8min, 术中透视的平均时间为 2.5min, 平均每台手术颈部测得的辐射剂量为 0.0863mSv, 胸部为 0.1890mSv, 上臂为 0.0506mSv, 左手为 0.8050mSv, 右手为 0.7363mSv。穿戴铅领和铅裙可以分别有效减少 96.9% 和 94.2% 的辐射。根据辐射防护限值计算, 在穿戴铅服的防护下, 每一位外科医生每年最多可进行 683 台手术; 在没有穿戴铅服的防护下, 每一位外科医生每年最多可进行 291 台手术。

Fadi 等^[3]在 18 例外侧腰椎椎间融合 (lateral lumbar interbody fusion, LLIF) 手术中对外科医生的眼部、甲状腺区、胸部、腋窝和臂区以及 13 例中对手部进行了辐射测定。术中透视的平均时间为 88.7±36.8s, 平均每台手术臂区测得的辐射剂量为 2.31±4.50mrem, 腋窝为 4.20±7.76 mrem, 甲状腺区为 2.19±2.07mrem, 眼部为 2.64±2.76 mrem, 手部为 190mrem。根据不同组织器官暴露的辐射限值的不同, Fadi 等算出每一位医生每年最多可以 2700 台

LLIF 手术。

同理, 根据 ICRP 指南推荐的限值也可以计算出其他脊柱微创手术不同术式的允许手术数量, 笔者就近年的相关文献报道^[26-29]进行了简单归纳 (表 2)。

5 防护措施

辐射的伤害主要受多种因素的影响, 如暴露面积和部位、暴露时间、暴露距离、暴露个体与组织细胞的敏感性以及射线的类型等等。在脊柱微创手术实际操作中, 后两者基本上属于不可控的因素, 但实现辐射剂量降低前提是 X 线机设备的最优化。王雅丽等^[30]认为, 选购合格的 X 线机和加强管理, 尽可能地控制电流电压、减少透视时间和面积等条件是优化 X 线机设备能量输出的有效方法。另外, Lee 等^[1]认为存在 5 个可控因素影响外科医生的辐射暴露: (1) 与患者的距离; (2) C 型臂 X 线机的配置摆放; (3) 辐射防护设备; (4) 眼睛扭转向外; (5) 避免手部直接辐射。

ICRP 在辐射防护上提出了合理可行尽量低 (as low as reasonably achievable, ALARA) 原则, 即正当化、最优化和剂量限量, 具体可表述为只要一项实践被判定为正当的, 就需考虑如何最优化的方案去使用它, 降低它对人体的辐射危害^[17]。ALARA 原则认为某些辐射是可以避免的, 防护措施可以从时间防护、距离防护、屏蔽防护和控源防

表 1 国际防辐射委员会推荐职业人员各组织器官辐射剂量限值

全身各组织	每年累积剂量限值 (mSv)
四肢	500
皮肤	500
甲状腺	300
晶体	150 (50*)
全身	50
其他组织器官	500

*最近国际防辐射委员会已建议将晶体的辐射剂量限值调整为 50mSv

表 2 X 射线透视下脊柱微创手术不同术式的手术限值

术式	作者	辐射剂量	允许手术量	相关结论
椎体成形术	Fitousi 等 ^[24]	眼睛: 0.328mGy/例	229 台	移动屏蔽可以减少大于 75% 的有效辐射 外科医生整个职业生涯的累积量很可能超过规定的辐射限值
		手: 1.661mGy/例	150 台	
		全身: 0.248mSv/椎体		
椎体后凸成形术	Mroz 等 ^[25]	眼睛: 0.271mSv/椎体 手: 1.744mSv/椎体	300 台	
经皮椎弓根螺钉置入	Mroz 等 ^[26]	手: 10.3mRem/钉	4854 钉	经皮椎弓根螺钉置入的辐射安全性高 一年的手术数量有可能超过辐射年限值
		眼睛: 2.35mRem/钉	6396 钉	
		腰部 (保护): 0.27mSv/例	194 台	
微创经椎间孔椎间融合	Bindal 等 ^[27]	颈部 (未保护): 0.32mSv/例	166 台	
		手: 0.76 mSv/例	664 台	

护等几个方面进行获得合理的低剂量辐射。为此, Ahn 等^[9]提出了 7 条防护建议: (1) 使用保护设备(穿戴铅围裙、铅围脖、铅眼镜、铅手套等); (2) 遵循透视时间最短、透视距离最长原则; (3) 手部远离射线束的路径; (4) 透视左右位时站立在射线管的对侧; (5) 透视前后位时保持射线球管在床下; (6) 所有的医护人员佩戴辐射检测设备; (7) 使用 X 线透视时采用自动曝光模式, 在满足图像质量的前提下, 尽量使放射线最小化。

需要强调的是, 屏蔽防护如穿戴铅服、甲状腺盾、铅眼镜等是减少辐射暴露最有效的方法^[3]。张红霞等^[31]发现, 穿戴铅围裙和铅围脖(0.5mmPb 当量)等防护用具与不使用相比, 性腺、乳腺、甲状腺和晶体的辐射剂量率可以分别减少 7.5%~11.1%, 8.2%~11.6%, 9.3%~12.4% 和 9.4%~13.4%。人员位置与距离被认为是有效减少辐射的第二重要方法, 与射线束保持 3 英尺的距离即可大大减少辐射^[23], 还可以采取站在射线管对侧或射线管放在患者下方的措施^[2, 3]。然而, 由于助手一般站在外科医生的对侧, 外科医生采取站在射线管对侧的同时助手就暴露在射线管同侧。因此, 助手的辐射问题也应该引起足够的关注^[2]。另外, 日常手术中穿戴铅服、甲状腺盾等的规范性也非常重要。Lee 等^[25]发现, 在术中穿戴甲状腺盾至少可以减少 85% 的散射辐射, 而且穿戴的松紧情况与辐射暴露有很大关系。当然, 其他医护人员和病人的辐射防护也值得一提。对于麻醉师和护士来讲, 在进行 X 线透视时尽量远离辐射源, 采取铅板防护是行之有效的办法; 对于患者来讲, 在保证无菌和充分暴露术野的情况下, 用防护用品遮挡患者和拍摄无关的部位, 特别是甲状腺、胸腺及性腺可以有效防护辐射危害^[30]。

使用新型的透视设备也可以有效减少外科医生的辐射危害, 如准确性和有效性更高的 O 臂机^[32]。Abdullah 等^[33]发现, 应用可移动的旋转 360° 的 O 臂机可以大大减少辐射的暴露。他们在 10 例手术中对外科医生所接收的散射辐射测量, 发现只要距离适当(4.56±0.32m), 即使不穿铅服, 外科医生所接收的散射辐射仅为(44.22±17.4μrem)。据此可计算, 在辐射防护限值范围内, 外科医师每年可以操作 113,071 台手术^[33]。另外, 脊柱微创手术中新型的基于 CT 或 MRI 的计算机导航技术的发展^[15, 34]和超声定位技术的出现也将有效减少术者的辐射危害^[9]。

6 参考文献

- Lee K, Lee KM, Park MS, et al. Measurements of surgeons' exposure to ionizing radiation dose during intraoperative use of c-arm fluoroscopy[J]. Spine, 2012, 37(14): 1240-1244.
- Choi HC. Fluoroscopic radiation exposure during percutaneous kyphoplasty[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2011, 49(1): 37-42.
- Taher F, Hughes AP, Sama AA, et al. 2013 young investigator award winner: how safe is lateral lumbar interbody fusion for the surgeon? A prospective in vivo radiation exposure study[J]. Spine, 2013, 38(16): 1386-1392.
- Payer M. "Minimally invasive" lumbar spine surgery: a critical review[J]. Acta Neurochir(Wien), 2011, 153(7): 1455-1459.
- Rodgers WB, Gerber EJ, Patterson J. Intraoperative and early postoperative complications in extreme lateral interbody fusion: an analysis of 600 cases[J]. Spine, 2011, 36(1): 26-32.
- Anand N, Baron EM. Minimally invasive approaches for the correction of adult spinal deformity[J]. Eur Spine J, 2013, 22 (Suppl 2): 232-241.
- Heintel TM, Berglehner A, Meffert R. Accuracy of percutaneous pedicle screws for thoracic and lumbar spine fractures: a prospective trial[J]. Eur Spine J, 2013, 22(3): 495-502.
- Haji FA, Cenic A, Crevier L, et al. Minimally invasive approach for the resection of spinal neoplasm[J]. Spine, 2011, 36(15): E1018-1026.
- Ahn Y, Kim CH, Lee JH, et al. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a prospective study[J]. Spine, 2013, 38(7): 617-625.
- Little MP. A review of non-cancer effects, especially circulatory and ocular diseases[J]. Radiat Environ Biophys, 2013, 52(4): 435-449.
- Albert JM. Radiation risk from CT: Implications for cancer screening[J]. AJR Am J Roentgenol, 2013, 201(1): W81-87.
- Prasarn ML, Martin E, Schreck M, et al. Analysis of radiation exposure to the orthopaedic trauma patient during their inpatient hospitalisation[J]. Injury, 2012, 43(6): 757-761.
- Hauri D, Spycher B, Huss A, et al. Domestic radon exposure and risk of childhood cancer: a prospective census-based cohort study[J]. Environ Health Perspect, 2013, 121 (10): 1239-1244.
- Clark JC, Jasmer G, Marciano FF, et al. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusions and fluoroscopy: a low-dose protocol to minimize ionizing radiation[J]. Neurosurg Focus, 2013, 35(2): E8.
- Yu CC. Radiation safety in the neonatal intensive care unit: Too little or too much concern[J]? Pediatr Neonatol, 2010, 51(6): 311-319.
- Efstathiopoulos EP, Pantos I, Andreou M, et al. Occupational radiation doses to the extremities and the eyes in interventional radiology and cardiology procedures [J]. Br J Radiol, 2011, 84(997): 70-77.
- Jindal T. The risk of radiation exposure to assisting staff in urological procedures: a literature review[J]. Urol Nurs, 2013, 33(3): 136-139, 147.
- Borghini A, Gianicolo EA, Picano E, et al. Ionizing radiation and atherosclerosis: current knowledge and future challenges [J]. Atherosclerosis, 2013, 230(1): 40-47.
- Orbach DB, Stamoulis C, Strauss KJ, et al. Neurointerventions in Children: Radiation Exposure and Its Import[J]. A-JNR Am J Neuroradiol, 2013, [Epub ahead of print].
- Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F, et

- al. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies [J]. Radiat Environ Biophys, 2013, 52(3): 303-319.
21. Thorne MC. Regulating exposure of the lens of the eye to ionising radiations[J]. J Radiol Prot, 2012, 32(2): 147-154.
22. Vano E, Fernandez JM, Sanchez RM, et al. Realistic approach to estimate lens doses and cataract radiation risk in cardiology when personal dosimeters have not been regularly used[J]. Health Phys, 2013, 105(4): 330-339.
23. Mulconrey DS. Fluoroscopic radiation exposure in spinal surgery: in vivo evaluation for operating room personnel[J]. J Spinal Disord Tech, 2013, [Epub ahead of print].
24. Bandela JR, Jacob RP, Arreola M, et al. Use of ct-based intraoperative spinal navigation: management of radiation exposure to operator, staff, and patients[J]. World Neurosurg, 2013, 79(2): 390-394.
25. Lee SY, Min E, Bae J, et al. Types and arrangement of thyroid shields to reduce exposure of surgeons to ionizing radiation during intraoperative use of c-arm fluoroscopy [J]. Spine, 2013, 38(24): 2108-2112.
26. Fitousi NT, Efstathopoulos EP, Delis HB, et al. Patient and staff dosimetry in vertebroplasty[J]. Spine, 2006, 31(23): E884-890.
27. Mroz TE, Yamashita T, Davros WJ, et al. Radiation exposure to the surgeon and the patient during kyphoplasty [J]. J Spinal Disord Tech, 2008, 21(2): 96-100.
28. Mroz TE, Abdullah KG, Steinmetz MP, et al. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous pedicle screw placement[J]. J Spinal Disord Tech, 2011, 24(4): 264-267.
29. Bindal RK, Glaze S, Ognoskie M, et al. Surgeon and patient radiation exposure in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion[J]. J Neurosurg Spine, 2008, 9(6): 570-573.
30. 王雅丽, 刘素芳. 手术室使用 C 臂机的 X 线安全防护的现状 & 对策[J]. 中华现代护理杂志, 2011, 17(11): 1358-1360.
31. 张宏霞, 张立新, 高波, 等. 骨科手术室 C 型臂机对医护人员辐射剂量和防护策略研究[J]. 中国实用护理杂志, 2012, 28(z1): 37-38.
32. Tabaraee E, Gibson AG, Karahalios DG, et al. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation(o-arm) versus conventional fluoroscopy(c-arm): a cadaveric study comparing accuracy, efficiency, and safety for spinal instrumentation[J]. Spine, 2013, 38(22): 1953-1958.
33. Abdullah KG, Bishop FS, Lubelski D, et al. Radiation exposure to the spine surgeon in lumbar and thoracolumbar fusions with the use of an intraoperative computed tomographic 3-dimensional imaging system [J]. Spine, 2012, 37(17): E1074-1078.
34. Moses ZB, Mayer RR, Strickland BA, et al. Neuronavigation in minimally invasive spine surgery [J]. Neurosurg Focus, 2013, 35(2): E12.
- (收稿日期:2013-11-02 修回日期:2013-12-01)
(本文编辑 彭向峰)

消息

第十四届国家级《脊柱畸形》医学继续教育学习班 暨成人脊柱畸形研讨会通知

由南京鼓楼医院脊柱外科举办的第十四届国家级《脊柱畸形》学习班暨成人脊柱畸形研讨会,将于 2014 年 4 月 18~21 日在南京举办,届时将邀请国内外著名脊柱外科专家作专题报告。学习班授课内容:(1)理论授课:脊柱畸形的临床评价和支具治疗原则;脊柱畸形矫形的美学与平衡理念;脊柱畸形微创矫形术;脊柱畸形全脊椎截骨和翻修手术策略;早期半椎体切除先天性脊柱侧凸的适应证及疗效分析;强直性脊柱炎后凸畸形及外伤性迟发性后凸畸形的截骨矫形;成人脊柱畸形的分型及治疗策略,特发性脊柱侧凸发病机理研究进展;(2)手术观摩:学员将分组参观脊柱侧凸及后凸畸形的后路截骨矫形手术。(3)病例讨论:学习班将提供大量复杂脊柱畸形的临床病例,学员可利用脊柱畸形现代矫形理论进行讨论。

学习班结业合格授继续教育 I 类学分,有关此继续教育的详细内容请访问南京鼓楼医院脊柱外科网站 www.soscoliosis.com。

报名截止日期:2014 年 3 月 30 日。

报到时间:2014 年 4 月 18 日 12:00~22:00。

来信请寄:南京中山路 321 号南京鼓楼医院脊柱外科 张林林 收;邮编:210008。

联系电话:(025)68182022。E-mail:scoliosis2002@sina.com。