

放射诊断中患者的防护

国际放射防护委员会第34号出版物

原子能出版社

前 言

鉴于国际放射防护委员会 (ICRP) 和国际放射学会 (ISR) 之间存在的特殊关系, 以及它们在医疗专业上的联系, 所以, ICRP 按照惯例提供了有关医疗方面辐射防护的详细资料。1970年, 委员会出版了《X 射线诊断中患者的防护》(ICRP 第 16 号出版物)。1978 年, 委员会委托第 3 专门委员会的一个工作小组来负责草拟该报告的修订本。

1981年, ICRP 第 3 专门委员会在 Eastbourne 举行的会议上通过了本报告^①。(第 3 专门委员会的成员名单略)

① 这段被原出版物遗漏, 是 ICRP 第 37 号出版物专门补充的。——译者注

引 言

X线诊断方法是引起人类受人工辐射源电离辐射照射的主要因素。自从本世纪初以来，医学领域的辐射防护工作一直在不断发展。由于认识到可能随之出现的有害效应，人们改进了设备和检查方法。因此，目前在合格的临床判断基础上所建议进行的X线检查，其安全性已达到很高程度，一般说来，它给患者带来的利益完全超过不可避免的辐射危险。

然而，这不应成为进行那些带来不必要照射的 checks 的借口。人们应当始终应用国际放射防护委员会的基本原则，即一切辐射剂量应保持在“可合理达到的尽可能低的水平”。委员会已制定出一些原则，可借以评价为减少辐射照射所花费的代价和努力可以达到什么样的合理程度。这些规律不仅在原则上，而且也应在实践中应用于放射诊断时患者的防护。

对患者辐射防护的目的已从关注群体照射和遗传效应逐渐转移到力求限制患者个人的危险度。这是为了确保患者的受照剂量不仅低到足以证实特定的诊断检查是正当的，而且还要保持在可以合理达到的更低水平。

只要采用适当的设备和检查技术，则对患者个人危险的限制，通常是隐含在为了患者利益所进行的特定检查的医疗决定之中。检查的正当性以及设备和技术的最佳使用，使辐射剂量的任何明确限制变得不适宜。因此，国际放射防护委员会关于公众成员照射的剂量限值并不适用于限制患者医疗

照射的剂量。

如果每一个人的检查严格地说来都是正当的话，那么集体的危险度也必然是正当的。所以没有理由要求限制医疗照射的总集体辐射剂量低于所作各项检查产生的个人剂量的总和。

仍然有必要去评价各种医疗操作所产生的集体剂量，因为它给出一个有用的启示，即什么情况下与操作的设计和选择有关的防护措施可能有好的效果。在影响一组患者照射量的设备的最优化设计中，此组患者的集体剂量将具有直接的意义。

本报告的意图是，就不同类型 X 线检查影响辐射剂量（因而影响辐射危险度）的各种因素问题，对放射学工作者及与放射诊断有关的其他人员提供指导性意见。它取代论述同一主题的ICRP第16号出版物^[40]。

如果能够降低由X线检查引起的辐射照射而又不减少医疗利益，那么将普遍提高患者和全民的福利。例如，每人平均年剂量当量的主要贡献来自天然本底和医疗照射。两者分别为每年2mSv和1mSv。来自所有其他辐射源的贡献不足此数值的10%^[45, 64]。因此，医疗照射是唯一有可能大大减少平均剂量的一类照射，所以最好是减少应用对患者没有利益的医疗照射，并将医疗检查过程中的无用辐射减至最少。

在委员会的建议书中，“医疗照射”是指为了诊断和治疗目的而有意识使患者接受的照射。这种照射是指医务人员和医务辅助人员施加给患者的照射，而不是指对患者施行医

- 本报告不讨论核医学或放射治疗中患者的防护问题，这些课题将在单独的出版物中提出。

疗照射的有关工作人员所受到的照射。关于工作人员所受照射方面的问题在ICRP第26号出版物^[41]和ICRP第33号出版物^[43]中讨论。

本报告前三部分的材料主要是打算给那些有可能参与决定施行放射学检查的人员用的，这些人员包括所有与医疗和牙科保健有关的医师。第四部分涉及技术措施，主要是写给施行放射学检查的工作人员看的。

制定患者防护的有效措施不应妨碍科学和技术的不断发展。其发展有助于临床放射学实践达到最高水准。

在决定施行X线检查时，要考虑到可以利用的可供选择的方法在不断增加这个因素，这些方法包括使用电离辐射及非电离辐射两类，例如数字式射线摄影、核磁共振以及许多经计算机处理的新应用技术^[19]。

目 录

前言	i
引言	ii
1. 物理学和生物学的一般原则	1
1.1 引言	1
1.2 物理学方面的概念	1
1.2.1 X线诊断技术产生的辐射照射	3
1.2.2 每次检查的辐射剂量	4
1.3 生物学方面的概念	9
2. 临床判断和管理实践	14
2.1 临床判断	14
2.2 放射诊断的适应证	14
2.3 有关医师的作用	18
2.4 放射学工作者的职责	20
2.5 发展中国家的放射诊断学——医疗级别	21
2.6 研究工作的应用	24
2.7 群体检查	26
2.8 其他常规检查	27
2.9 放射部门的管理措施	28
2.9.1 物理因素	28
2.9.2 程序因素	29
2.9.3 辐射安全专门委员会	29
3. 教育和专业人员技能方面的要求	31
4. 患者防护的技术因素和物理因素	35
4.1 概论	35
4.2 辐射束的特性	36

4.2.1 X射线束的发散性	37
4.2.2 辐射品质	38
4.2.3 管电压	38
4.2.4 管电压波形	39
4.2.5 过滤	39
4.2.6 碳(素)纤维材料	41
4.3 照射野大小和射束准直	41
4.4 屏蔽	45
4.4.1 患者的屏蔽	45
4.4.2 性腺防护	45
4.4.3 眼睛屏蔽	48
4.5 记录系统散射辐射的控制	48
4.5.1 空气间隙	50
4.5.2 移动缝隙	50
4.6 胶片与增感屏	51
4.6.1 X线透视	52
4.6.2 直接X线透视	53
4.6.3 影象增强	54
4.6.4 荧光摄影	56
4.6.5 计算机体层摄影	56
4.7 胶片处理技术	58
4.7.1 手工处理	58
4.7.2 自动化处理	59
4.8 辐射照射量的控制和记录	60
4.9 减少重复摄片数	61
4.10 质量保证计划	64
5. 特殊类型的放射学检查	66
5.1 胸部检查	66
5.2 育龄妇女的检查	67

5.3 产科放射学	68
5.4 妊娠期间的其他放射学检查	69
5.5 乳腺X线摄影	69
5.6 牙科X线摄影	70
5.7 在病房和手术室的X线检查	73
5.8 儿科放射学	75
参考文献	76
附录1 由X线诊断检查所致器官剂量的测定	89
附录2 由胸椎和腰椎检查所致器官 剂量的计算实例	136
附录3 ICRP第26号出版物有关医疗照射的论述	141
附录的参考文献	145

1. 物理学和生物学的 一般原则

1.1 引 言

欲正确理解后面各部分内容，需要了解与电离辐射有关的物理现象和生物现象。本报告不详细述及这些问题，只阐明一些主要原则。

1.2 物理学方面的概念

本报告涉及X线，它是电磁辐射的一种形式。X线与其他形式的电磁辐射例如无线电波、红外线，可见光和紫外线的不同之处，主要在于X线不仅有贯穿物质的能力，而且还能引起电离作用。当X线与物质相互作用时其能量主要通过电离过程被物质所吸收。

电离辐射的一个特点是，它在机体内的能量吸收及其在特定器官和组织中的分布可以通过测量或计算确定。

在受辐照的人体内某一点处单位质量组织吸收的电离辐射能量称为组织吸收剂量。吸收剂量的单位是戈瑞(Gy)。1戈瑞等于每千克受照物质吸收1焦耳的辐射能量(1J/kg)。用旧单位表示， $1\text{Gy} = 100\text{rad}$ 。

多年来已习惯于以伦琴(R)量度的“照射量”来表示辐射的量。照射量是X线被所关心的某点处的某一给定质量空

气所吸收而产生电离作用的一种量度。过去人们往往习惯指明有患者时或无患者时X线的量。在新的国际单位制(SI)中,它可以用“空气比释动能”(air kerma)这个量来代替。kerma(比释动能)是Kinetic Energy Released per unit MAss(单位质量物质释放出的动能)的缩写词。在放射诊断学中,可以把空气比释动能看成与空气中的吸收剂量具有相同的数值,可用来描述有患者时或无患者时的辐射场情况。1Gy的空气比释动能*表示X线束的1焦耳能量传递给每千克的空气。1R照射量相当于8.7mGy空气比释动能。

可以明确表示任何吸收物质的比释动能。对放射诊断学中使用的X线来说,软组织比释动能近似等于空气比释动能(偏差约为10%)。并且为辐射防护目的,可以认为它们是相等的。因此,空气比释动能值与软组织的吸收剂量值可以互换,同样,以前用伦琴作量度单位的照射量值也可以和用拉德(rad)作量度单位的吸收剂量值互换。

剂量当量是用于辐射防护目的的一个量。它考虑到不同类型和不同能量的电离辐射的吸收剂量和生物效应。剂量当量的国际制单位的专门名称是希沃特(Sv)(1Sv = 100rem)。对X线而言,剂量当量与吸收剂量在数值上是相等的。

实际上,在X线诊断中,可以认为1Gy的空气中的比释动能就是传递给一小块软组织的1Gy的吸收剂量和1Sv的剂量当量。只有说明了所涉及的身体某些特定器官或组织,辐射剂量的数值才有意义。例如,像本报告后面所讨论的,皮肤、骨、性腺、活性骨髓、肺、甲状腺、女性乳腺和胚胎所受的辐射剂量是特别重要的。

* 除非另有说明,本报告中比释动能一词均指空气中的空气比释动能。

1.2.1 X 线诊断技术产生的辐射照射

要想评价X线诊断技术对个人或全体居民可能产生的有害效应，需要知道机体内的剂量和剂量分布情况。此外，群体效应将取决于该群体放射学检查的频度。在比较不同人群的可能危害时，一个重要的因素是每个人的平均检查次数和某种类型检查的频度。因此减少直接受照组织的剂量水平、限制身体组织的受照范围或减少检查的频度就有可能做到减少X线诊断检查所带来的潜在危害。当然，只有不损害患者的利益时，这种减少才是合情合理的。

随诊断检查产生的患者个人的辐射危险度不能根据委员会为辐射防护目的而推荐的危险度因子进行精确地估算（见表1）。但是它可以近似估计死亡事故危险度的大小。表1给出胸部检查引起的成人体内典型剂量分布的危险度估算的一个例子。在此照射条件下，遗传危险度比躯体危险度小。躯体危险度主要由在直射束内的那些器官或组织（肺、女性乳腺、骨髓）所引起。

表1 一例成年女子X线胸部检查受到的典型的组织剂量和按年龄平均的辐射危险度

器官或组织	平均吸收剂量 (mGy) (引自表A-1)	危险度系数 ^[4] ($10^{-4} Sv^{-1}$)	辐射危险度 (死亡数/10 ⁶ 人)
肺	0.20	20	0.40
乳腺	0.14	50	0.70
骨髓	0.03	20	0.06
甲状腺	0.07	5	0.04

其他器官的剂量可忽略不计。

这种危险度分析，可以用来对患者从诊断检查得到的利益和随之而来的危险进行比较时提供某些指导。

1.2.2 每次检查的辐射剂量

在某种给定的检查中接受的剂量，对整个身体来说变化很大，最大的部位是处在初级辐射束中的皮肤。组织剂量在很大程度上取决于X线摄影和荧光透视检查使用的技术因素、设备特性、拍片次数和每次检查的透视时间。所以，某种特殊检查给出的剂量，在不同的国家或同一国家的不同医疗单位，甚至在同一医疗单位中的不同X线机及不同技术之间均不一样。虽然测量剂量的物理方法通常可以达到大约为±10%的精确度，但人们发现，某种特定类型的检查所致患者的剂量，在不同医院中可以相差2~10倍，性腺照射量的范围高达3个数量级^[8, 86, 94]。

许多国家曾对每次检查或每次照射某些特定器官和组织接受的平均辐射剂量作过估算，在表2和表3里列举了一些实例。在某次特殊检查中患者个人接受的剂量可能与这些表中列出的数值有很大的出入，这取决于采用的设备和物理因素。

表2 在瑞典各种X线诊断检查中的平均器官剂量^[8]

检查项目	睾丸	卵巢	活性骨髓	乳腺	肺	甲状腺
	(mGy)					
腕和股骨(上部三分之一)	15.00	3.70*	2.50	<0.05*	<0.10*	<0.01*
骨盆	3.10	1.90	1.90	<0.05*	<0.10*	<0.01*
骨盆测量	—	4.60	6.80*	<0.10*	<0.50*	<0.10*
腰骶椎	1.00*	1.80*	1.00*	<0.05*	<0.10*	<0.01*
腰椎	1.80	6.20	4.10	1.20	<1.00	0.16
尿路造影	3.30	8.80	2.40	5.40	<1.00	0.38

续

检查项目	睾丸	卵巢	活性骨髓	乳腺	肺	甲状腺
	(mGy)					
逆行性肾盂造影	13.00*	8.00*	3.00*	5.00*	<1.00*	0.50*
尿路膀胱造影	20.00*	15.00*	3.00*	0.20*	0.20*	0.05*
胃及十二指肠	0.16	0.56	4.20	1.00	<0.50	0.29
小肠	1.00	1.80	3.50	0.11	<0.20*	0.03
结肠	5.30	7.00	9.40	0.27	<0.20	1.10
腹	2.00*	2.00*	3.00*	0.11*	<0.20*	0.03*
腹(产科)	—	1.50*	2.20*	0.08*	<0.15*	0.02*
子宫输卵管造影	—	5.90	1.70	<0.05*	<0.10*	<0.01*
胆囊造影、胆管造影	0.06	0.24	1.50	0.15	<0.10	0.03
胸椎	<0.20*	<1.00	4.70	1.70	8.00	13.00
肺(全轮廓)、肋骨	<0.03*	<0.03*	0.29	0.55	0.80	0.17
肺(荧光X线摄影)	<0.10*	<0.10*	0.90	2.00	3.50	1.00
肺和心脏	<0.05*	<0.05*	0.54	0.61	1.20	0.24
颈椎	<0.01	<0.01	0.38	<0.10	<0.10*	1.40
肩、锁骨、胸骨	<0.01*	<0.01*	0.60*	<0.50*	<0.10*	<0.50*
头、窦	<0.01	<0.01	1.22	<0.10*	<0.10*	7.90
脑血管造影	<0.10	<0.10	15.00	<0.10*	<0.10*	3.00
牙科(口内一次照射)	0.0001	0.0001	0.01	0.005	0.001	0.03
股骨(中间部和下部三分之一)	4.00*	0.50*	0	<0.01*	<0.01*	<0.01*
下腿, 膝	<0.01	<0.01	0	<0.01	<0.01	<0.01
臂	<0.01	<0.01	0	<0.01	<0.01	<0.01

* 粗略估计, 其误差超过两倍。

表 3 在波兰X线检查所致平均器官剂量^[46]

检查项目	卵巢	睾丸	活性骨髓		甲状腺		乳腺	肺
			女	男	女	男		
	(mrad)							
群体小胶片摄影	1	1	43	49	19	21	11	70
胸部X线摄影	1	1	11	11	5	4	3	18
胸部体层摄影	1	2	210	190	2600	2400	4600	1600
胃, 上消化道	290	90	510	780	30	80	110	490
尿路造影	590	1500	340	320	21	23	230	970
颈椎	1	1	73	62	1400	1300	520	210
牙科	1	2	7	8	1	1	1	1
肘关节	1	1	2	2	28	33	71	8
髋关节	81	920	47	47	1	1	9	44
胆囊造影	190	3	300	250	1	2	20	150
腰骶椎	160	310	83	81	3	2	85	260
胆管造影	180	5	370	350	3	1	34	220
鼻窦	1	1	160	160	55	28	3	18

援引公开文献的数据, 以原文使用的单位表示。

1 mrad = 10 μ Gy.

入射皮肤剂量表示身体的任何细胞群接受的最大剂量, 其变动范围从大胶片胸部检查低于 100 μ Gy 到心导管检查高达 1Gy。有证据表明在某些国家已做到使各种检查的皮肤剂量大大减少。表 4 按照剂量大小分成 3 个组列出 X 线诊断检查中初级射束内的典型皮肤剂量。许多普通检查 (包括心脏、胸部和四肢检查) 所致的性腺剂量小于 100 μ Gy。在性腺直接受到照射的下部躯干检查中, 剂量通常大于 5mGy,

表 4 X线诊断检查中初级射束内的典型皮肤剂量^[88]

(rad*)

剂 量 组	每次照射		每 次 检 查	
	中间值	平均值范围	中间值	平均值范围
高皮肤剂量				
钡吞咽 R			1.4	
钡吞咽 F	6.4 ^①		8.5	
钡餐 R	0.9	0.9~2.2	1.7	
钡餐 F	4.4 ^①		2.1	6~25
钡灌肠 R	0.7	0.4~1.0	1.5	
钡灌肠 F	4.9 ^①		20.0	5~26
全胸 R	0.02	0.006~0.09	0.14	0.07~0.15
全胸 F	2.0 ^①		12.0	3~22
乳腺 X线摄影			6.0	0.2~7.8
骨盆测量	2.0	0.8~3.8	8.0	6~10
腰骶椎	2.7	0.5~2.9	5.0	5~6
腰椎	1.5	0.7~2.9	4.5	
心导管检查			47.0	
中等皮肤剂量				
头	0.4	0.3~1.5	1.5	1.4~1.9
颈椎	0.3	0.03~0.8	1.5	0.6~1.9
颈和肩	0.9		0.3	0.3~0.4
胸椎	1.8		2.8	2.0~4.7
胸	0.4		0.8	0.6~0.9
胆囊造影	0.8	0.2~1.2	2.2	1.5~2.8
腹	0.2	0.15~1.3	1.2	1.0~1.4

续

剂 量 组	每次照射		每次检查	
	中间值	平均值范围	中间值	平均值范围
腹 (产科)	2.0	0.4~3.9	3.2	2.7~3.8
尿路造影 (下行)	1.2		3.2	1.7~5.0
尿路造影 (逆行)			2.9	1.4~2.4
输卵管造影 R			1.2	
输卵管造影 F			3.4	
胎盘造影			3.0	
膀胱造影	0.2		3.1	
骨盆	1.4	0.4~1.7	3.3	2.1~4.5
髋及股骨上段	1.1	0.4~1.7	1.4	1.1~3.0
牙科	0.4		2.5	1.6~3.4
血管造影 (头)			1.0	
血管造影 (腹)			3.3	
X线体层摄影 (胸)			1.1	0.8~1.4
群体胸部检查	0.9		1.0	0.6~1.4
低皮肤剂量				
臂和手	0.1		0.3	0.1~1.7
胸	0.02	0.006~0.09	0.14	0.07~0.15
股骨 (下三分之二)	0.03		0.4	
小腿和足	0.1		0.4	0.3~0.4

R表示X线摄影, F表示X线透视。

① 单位是R/min.

* 援引公开文献的数据, 以原文使用的单位表示。

1 rad=10mGy.

有时可能高达20mGy。孕妇腹部检查也可能对胎儿性腺产生较大的剂量。

由前面所述显而易见，不同医疗单位施行的检查所致器官剂量可以相差到3个数量级。这些差别取决于使用的胶片数以及技术因素。鉴于存在这样大的差异，因此给出每单位照射量所产生的器官剂量的图表是确定实际剂量的一种实用方法。直接测量虽然准确，但一般难于广泛使用（普通使用的诊断方法所致器官剂量的估计见附录1）。

1.3 生物学方面的概念

活组织吸收了辐射能引起物理反应和化学反应，导致生物学变化。某些X线诊断设备，特别是X线透视检查设备，如果操作不当会产生很高的辐射剂量，足以产生表现为急性辐射反应或急性辐射损伤的细胞反应。然而，在正确地施行的X线诊断检查中不会发生这种急性辐射效应，因为辐射剂量远低于这种效应的阈值。不过，可能并不存在引起某些有害生物学变化的较低剂量限值。即使一个很小的辐射剂量也会增加发生肿瘤的危险性；而且性腺吸收很小的辐射剂量也会诱发基因突变或染色体畸变，从而导致后代身上的遗传效应。这种作用称之为随机性效应，即效应发生的几率仅仅决定于吸收的辐射剂量，而效应的严重程度与剂量无关。

所以必须假定，即使对某一特殊检查来说这种危险性是很小的，对个人的X线剂量的每一个增量也都会带来一定的危险性。危险性与剂量之间存在定量关系，诸如身体吸收能量的分布、剂量率、受照组织、累积剂量以及患者年龄等因素都与估算这种危险性有关。