

放射性粒子组织间永久插植放射治疗的辐射防护研究

张继勉

中图分类号: R142 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2006)04-0407-03

【摘要】 目的 分析研究放射性粒子组织间永久插植治疗方法中存在的辐射防护问题。方法 依据放射性计量部门的测试数据、推算结果与国家标准对放射性粒子植入手术中操作医师的辐射剂量、全程陪伴患者的家属接受到的辐射剂量、接受不同强度放射性粒子¹²⁵I 治疗的患者出院参考时间等问题加以研究。结果 单例放射性粒子植入手术中操作医师的最大辐射剂量为 0.315 mSv/a, 全程陪伴患者的家属接受到的总辐射剂量为 0.70 mSv, 接受放射性粒子¹²⁵I 治疗的患者住院参考时间根据粒子活度不同为 0~44 d。结论 该治疗方法对放射工作人员和周围公众所造成的辐射剂量在一定的防护条件下是可以接受的。但需要重视潜在照射的危险性。对于该方法需要制定严格的手术适应症, 杜绝盲目地开展。如必需开展, 应保证术前精确计划植入放射性粒子的数量与部位, 以避免某些并发症的发生。

【关键词】 放射性粒子; 组织间永久植入; 辐射防护

The Study of the Radiation Protection Problem in the Radionuclide Interstitial Implantation Therapy. ZHANG Ji-mian. *Tianjin Medical University, Tianjin, 300070 China.*

【Abstract】 Objective To analyze and study the radiation protection problem in the radionuclide interstitial permanent implantation therapy. **Methods** Based on test data from radioactive measurement department, calculating results and national standards, the radiation dose of the exposed radioactive particles, the operator who has participated in the radionuclide interstitial permanent implantation therapy operation and the relatives who have accompanied the patient during the whole course, the reference time of being discharged from hospital for the patients who have been cured by different activity of radioactive particles are studied. **Results** The maximal radiation dose of operating doctor who has participated in a single radionuclide interstitial permanent implantation therapy operation and the relatives who has accompanied the patient during the whole course are 0.315 mSv/a and 0.70 mSv. Based on actual contact frequencies, their radiation dose is proved to be smaller than the restricted dose prescribed by national standards. The reference time of leaving hospital for the patients who have been cured by different activity of radioactive particles is 0 to 44 days. **Conclusion**

The radiation dose of radiation workers and surrounding publics in the radionuclide interstitial permanent implantation therapy operation can be acceptable under certain shields. But the risk of potential exposure should be guarded. We should Lay down operation indications and avoid performing operation blindly. If one must be operated, we should plan the quantity and the part of the painting radioactive particles accurately in order to avoid some possible complications.

【Key words】 Radionuclide Interstitial Permanent Implantation Therapy; Radiation Protection

放射性粒子组织间永久插植治疗方法是指癌症术中(微创)组织间三维立体定向的放射治疗方法, 是对外科手术以及外放疗的缺陷进行互补的一种的肿瘤治疗方法。据介绍, 此种治疗方法的主要特点是可以将手术切除不干净的肿瘤瘤体、亚肿瘤区域以及可能转移的淋巴途径永久植入碘-125 放射性粒子进行持续治疗或者利用微创技术, 如胸腔镜、腹腔镜、B 超、CT 等导入下对孤立性可数的肿瘤进行治疗。放射性粒子组织间永久插植放射治疗系统是一种电子计算机全监控定位、立体定向种植碘-125 放射性粒子的治疗系统。它利用放射性同位素碘-125 粒子释放低能量光子产生 X 射线及伽玛射线, 使瘤体细胞的氧增比减少, 乏氧细胞比例少的特点, 按照治疗计划系统的治疗方案, 通过手术或经皮穿刺将碘-125 放射性粒子永久植入到肿瘤病灶内及淋巴系统周围, 使细胞变性坏死, 从而达到治疗肿瘤的目的。天津市的一些医院自 2004 年起陆续引进此放射治疗项目, 由于此项目中放射源的使用方式与涉源场所不同于以往近距离放射治疗项目(如后装治疗), 为该项目进行过程中辐射工作人员与周围公众的辐射防护提出了新问题。为此, 笔者从辐射防护的角度出发, 针对该项目在进行过程中存在的辐射源项与辐射防护问题加以分析与研究, 并提出建议。

1 辐射源项分析

放射性粒子组织间永久插植治疗方法大多使用碘-125 放

射性粒子, 这种粒子是由吸附着碘-125 的一根银棒以及钛合金外壳组成, 外形总长 4.5 mm, 呈圆柱形, 直径为 0.8 mm。每枚粒子的活度多在 2.96×10^7 Bq~ 3.7×10^7 Bq 之间。放射性同位素碘-125 经电子俘获衰变伴随发射出能量为 27.4 keV 的特征 X 射线、能量为 35.5 keV 的 γ 射线以及与银棒作用产生能量为 22.2 keV 和 25.2 keV 的荧光 X 射线。碘-125 半衰期为 59.43 d^[1], 铅半值层厚度为 0.025 mm。

2 涉源场所与涉源人员

天津市大多数医疗机构开展放射性粒子组织间永久插植治疗项目时, 放射性粒子的贮存、分装均在同位素实验室进行, 然后将分装入粒子的插植器运输到相应的手术室进行插植, 主要的工作流程见图 1。图 1 可以看出, 在此治疗项目中涉源场所比较复杂, 既包括同位素实验室、医院内放射性粒子运输通道、插植手术室、专用病房、接受治疗者家庭, 又包括如若接受治疗者手术后死亡, 其尸体的处理场所。此治疗项目中涉源人员也比较复杂, 既包括医生、护理人员, 又包括全程陪伴患者的家属以及周围的一些公众。

3 有关的辐射剂量数据

3.1 裸露放射性粒子的辐射剂量 放射性粒子组织间永久插植治疗方法使用的碘-125 放射性粒子, 尽管被钛合金外壳包裹, 但还大体属于裸露的放射源。依据国防科学技术工业委员会放射性计量一级站的测试报告, 放射性粒子碘-125 强度为 3.7×10^7 Bq 时单个粒子放射源的剂量见表 1。

作者单位: 天津医科大学, 天津 300070

作者简介: 张继勉(1969~), 女, 天津市人, 副主任医师, 从事辐射防护研究。天津市卫生防病中心工作, 天津医科大学硕士研究生在读。

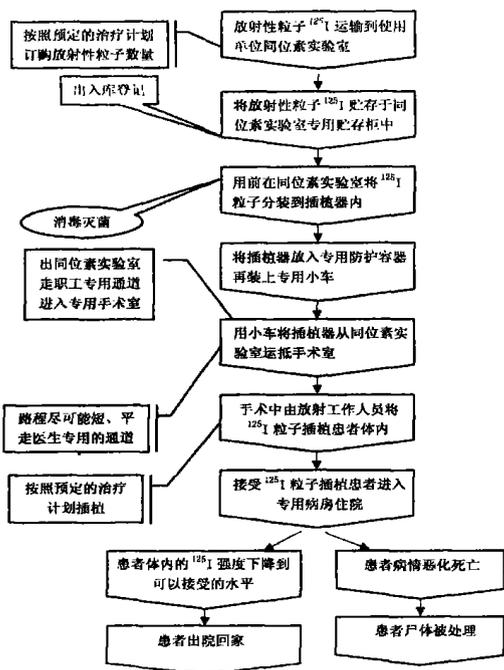


图 1 放射性粒子组织间永久插植放射治疗工作流程图

表 1 放射性粒子碘-125 强度为 3.7×10^7 Bq 时单个粒子放射源的剂量¹⁾

距离(m)	剂量率 ($10^{-2} \mu\text{Gy/h}$)
0.50	135.50
0.65	76.30
0.80	48.80
1.00	33.90

3.2 放射性粒子植入手术中操作医师的辐射剂量 经过治疗计划后,放射性粒子最终要由手术医师插植入患者体内。放射性同位素碘-125 铅半值层厚度为 0.025 mm,在手术医师穿用 0.5 mm 厚的铅衣时,中国原子能科学研究院堆工所根据国防科学技术工业委员会放射性计量一级站的测试报告,按照每天工作 8h,全年工作 260d 加以推算出来的放射性粒子强度为 3.7×10^7 Bq 和 1.85×10^9 Bq 时,放射性粒子插植入患者体内之前操作医师的年辐射剂量见表 2(铅屏蔽厚度为 0.5 mm)。

表 2 放射性粒子植入患者体内之前操作医师的年辐射剂量

源与医生间距离 (cm)	医师所受辐射年剂量(mSv/a)	
	3.7×10^7 Bq ¹⁾	1.85×10^9 Bq ¹⁾
1	0.0063	0.315
5	0.00025	0.0125
10	0.000063	0.00315
20	0.000016	0.0008
50	0.0000025	0.000125

注:1)表示放射性粒子活度。

我国《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871—2002)(以下简称新基本标准)中规定职业照射的剂量限值为年平均有效剂量不超过 20 mSv,由表 2 可知,对于施行放射性粒子组织间永久插植治疗的手术操作医师(应属于放射工作人员),在具备一定屏蔽防护的条件下,假设手术操作医师在距离放射性粒子最近(1 cm)操作放射性粒子活度最强(1.85×10^9 Bq)的情况下,每年进行这样的手术不超过 31 例时,操作中所受的年辐射剂量低于国家标准规定的年剂量限值。

3.3 全程陪伴患者的家属接受到的辐射剂量 由于此项目的

特点,患者在接受放射性粒子插植治疗手术后,在专用病房住院期间与出院回家休养期间,都需要家属陪护。因此作为公众的患者家属不可避免地要受到照射,中国原子能科学研究院堆工所推算出患者家属从放射性粒子植入患者体内开始陪护患者到放射性粒子衰变结束所受的总剂量见表 3(粒子植入患者体内深度为 20 cm 时)。

表 3 全程陪伴患者的家属接受到的辐射剂量

家属与患者间 距离(cm)	家属所受总剂量(mSv)	
	3.7×10^7 Bq ¹⁾	1.85×10^9 Bq ¹⁾
0	0.056	2.8
5	0.036	1.80
10	0.025	1.25
20	0.014	0.70
50	0.0045	0.225
100	0.0015	0.075

注:1)表示放射性粒子活度。

我国新基本标准规定公众照射的剂量限值为年有效剂量不超过 1 mSv。由表 3 可知,假设患者家属距离患者最近(20 cm)并且患者植入的放射性粒子强度最强(1.85×10^9 Bq)的情况下,患者家属因全程陪伴患者而接受的年辐射剂量低于国家标准规定的年剂量限值。

3.4 接受不同强度放射性粒子¹²⁵I 治疗的患者住院参考时间

接受放射性粒子组织间永久插植治疗的患者在住院一段时间后需要出院回家休养,对于接受放射性核素体内治疗的患者,目前国家标准^[3]只规定了接受¹³¹I 治疗的患者,在出院时体内允许的最大活度为 1.1×10^9 Bq。对接受¹²⁵I 治疗的患者未做明确规定。表 4 为笔者根据国家标准中¹³¹I 治疗的患者出院时体内允许的最大活度,计算出接受不同强度放射性粒子¹²⁵I 治疗的患者住院参考时间。

表 4 接受不同强度放射性粒子¹²⁵I 治疗的患者住院参考时间

¹²⁵ I 治疗活度(Bq)	取衰变因子	住院天数(d)
1.11×10^9	1	0
1.30×10^9	0.86	10
1.48×10^9	0.75	26
1.67×10^9	0.67	34
1.85×10^9	0.60	44

3.5 近期接受过放射性粒子¹²⁵I 治疗的患者死亡后尸体的处理

由于接受放射性粒子组织间永久插植治疗的患者几乎都是恶性肿瘤患者,其中的一部分患者在接受放射性粒子组织间永久插植治疗后不久有可能因为病情急剧恶化而死亡,患者死亡后的尸体需要进行处理,此过程中的辐射防护问题国家标准^[3]对于无需特殊防护即可火化处理的含放射性核素¹²⁵I 尸体的上限值为 4000 MBq。根据大多数放射性粒子组织间永久插植治疗的实际情况和相关医院的技术材料,单例手术最多植入的放射源强度不会超过上述规定的核素强度上限值。因此,此类患者的尸体无需特殊防护即可火化。但是,国家标准对于无需特殊防护即可掩埋处理的含放射性核素¹²⁵I 尸体的上限值为 400 MBq,单例手术最多植入的放射源强度大多会超过 400 MBq。因此,对于国家特殊规定可以对尸体进行掩埋处理(某些民族风俗)的患者死亡后尸体,应在一定的防护条件下加以保存,待其体内的放射性核素¹²⁵I 衰变到可以不需要特殊防护即可掩埋时,再加以掩埋。

3.6 现场的辐射剂量数据 以上表 2 与表 3 的数据是从表 1 的测试结果推算来的,对于天津市已经开展的该项目,笔者也进行过相关的辐射剂量调查。测试现场的放射性粒子均为¹²⁵I,最大操作活度为 1.16×10^9 Bq, 5.9×10^7 Bq 一次共插植 45 粒)。测试结果在手术医师穿用(每个粒子 (下转第 411 页)

3.7 校准因子 校准因子定义为在标准实验室校准仪器中, 检验点处的标准值, R_0 除以被校仪器的读数, R 即 $CF = R_0/R$ 。如果被校仪器的探测器是与环境相通, R 读数要做温度和气压修正。校准因子是无量纲的, 当剂量仪准确无误的测出检验点处的标准值, 其校准因子为 1。校准因子的倒数等于参考条件下的仪器的响应。该响应是随着校准时光子能量变化而变化, 我们把这种变化称为防护仪的能量响应特性。

4 讨论

(1) 我们知道, 国际上在放射防护应用中专门定义了两类量。一是由 ICRP 定义的防护量, 二是由 ICRU 定义的实用量。我国辐射防护规定采用的剂量限值依照防护量来表示的, 而辐射防护量又是不可直接测量的量。因此, 只能通过测量 ICRU 定义的实用量 (Operational quantity) 作为防护量的最佳估计值。在辐射环境监测中采用周围剂量当量, $H^*(10)$, 即不会低估又不会过高估防护量, 即 $\frac{H_{\text{防护量}}}{H_{\text{实用量}}} \leq 1$ [2]。可以认为, 周围剂量当量是评价辐射防护场所的基本量, 原则上在做辐射防护评价时应以测量值为照射量、吸收剂量等指示防护仪表, 其测量结果要根据被测量场所的光子谱 (或等效光子能量) 修正到周围剂量当量值, $H^*(10)$ 。

(2) 校准辐射防护仪时, 只有在符合 ISO 线质条件下才能引用各个量之间的转换因子, 而且被认为各个量之间的转换误差才可以接受。其原因是这些转换因子与 X 射线能量存在函数关系, 见表 2。

(3) 然而, 按国际电工委员会 IEC395 推荐, 对场所级防护

(上接第 408 页) 0.25 mm 厚的铅衣时为 $0.37 \mu\text{Sv/h}$, 按照每天工作 8h, 每年工作 260d 核算成年辐射剂量为 0.00075 mSv/a , 与表 2 结果接近。在距离已植入粒子患者身体表面 20 cm 处为 $0.43 \mu\text{Sv/h}$, 经推算与表 3 的数据相近。

4 与辐射因素相关的副作用与并发症

放射性粒子组织间永久插植治疗方法除了存在由于穿刺针误入毗邻肿瘤的直径较粗的血管或者由于插植放射性粒子的肿瘤组织凋亡收缩后推挤粒子入血管, 最终造成放射性粒子随血液流动引起组织栓塞外, 还存在着与辐射因素相关的各种副作用与并发症, 包括:

4.1 放射性粒子量化不准确引起的并发症 碘-125 放射性粒子是通过将射线能量传递给靶组织以达到治疗的目的, 因此要求放射性粒子的量化要精确, 以造成肿瘤细胞凋亡的剂量为准。但在临床应用中, 已出现在肝癌经皮穿刺植入放射性粒子治疗后, 由于放射性粒子植入密度过大, 引起原肿瘤灶成为液化灶, 造成组织局灶性坏死的病例, 提示放射性粒子的放射剂量过大, 从而导致组织坏死。

4.2 放射性粒子放置位置不当引起的并发症 在放射性粒子组织间永久插植治疗方法中, 除了放射性粒子的量化要精确, 放射性粒子的放置位置的设计也很重要。在临床应用中, 出现过晚期胃癌侵犯胰腺, 胰腺处的肿瘤病灶及十二指肠周围插植放射性粒子, 由于放射性粒子的放置位置与十二指肠残端缝合处的位置比较接近, 出现放射剂量较高累及相邻空腔脏器吻合口造成十二指肠残端瘘的病例, 提示放射性粒子的放置位置不当, 可导致插植部位周围的正常脏器在较强的射线辐射范围内受到不必要的照射。

5 结论与建议

由上述分析研究的结果可知, 在放射性粒子组织间永久插

植治疗项目中, 因为使用的放射性同位素 ^{125}I 发射出的射线能量较低, 对放射工作人员和周围公众所造成的辐射剂量在一定的防护条件下是可以接受的, 所以笔者认为其造成的外照射并不是辐射防护所要关心的主要问题。但是, 由于该项目中的涉源场所与涉源人员相对比较复杂, 存在着潜在照射的危险性增加的问题, 包括分装放射性粒子过程、运送放射性粒子过程、植入放射性粒子过程以及植入放射性粒子的患者死亡后尸体处理过程, 都具有潜在照射的危险性。因此, 加强各环节的管理应当是辐射防护所要关心的主要问题。

根据报道, 在国外, 放射性粒子组织间永久插植治疗大多数用于男性前列腺癌的治疗, 此种治疗方法治疗前列腺癌的治愈率较高, 而且不影响治愈患者的生理功能。但是, 此种治疗方法是否如有些销售商宣传的那样, 除液体癌 (血癌) 外, 所有的实体肿瘤都适用, 笔者认为, 依据辐射防护三原则中实践的正当化原则, 对于此治疗方法的应用, 需要积累一定的临床经验与数据, 制定严格的手术适应症, 杜绝盲目地开展, 否则既可能影响患者肿瘤的治疗, 又会给周围公众造成不必要的辐射剂量负担。而且一旦经严格筛查认为应施行放射性粒子组织间永久插植治疗, 应保证术前精确计划植入放射性粒子的数量与部位, 并对术后植入放射性粒子的组织器官与相邻组织器官进行严密观察以及必要的临床检查, 以避免某些并发症的发生。

(4) 用防护仪器测量 X 射线时, 由于 X 射线谱是连续的, 而且因 X 射线过滤不同, 测量几何条件和空间散射不同等原因使得 X 谱变的更加复杂。尽管如此, 一般认为 X 射线的等效能量是在 X 射线管电压的 3/5 处, 例如, 100kV 管电压产生 X 射线的等效能量约 $60 \text{ keV}^{[3]}$ 。这只适用于辐射防护测量。

(5) 凡由电离室做探测器的防护仪一般适合测量 X 和 γ 射线场所, 但由于测量灵敏度的限制, 很难测量环境辐射水平的辐射场所; 能够测量环境辐射水平的剂量仪一般是由晶体探测器或盖格管做为探测器。不幸的是这两类剂量仪存在着较大的能量响应, 因此被认为不适合测量 X 射线场所。

(6) 由于防护仪时间响应远远跟不上摄影的曝光时间, 它不能用于摄影 X 射线输出量的测量。

参考文献:

- [1] 法规编制委员会. 技术监督法规汇编 (计量法规分册) [M]. 北京: 中国计量出版社, 1995.
- [2] 国际放射防护委员会. 第 74 号出版物 [M]. 北京: 外照射放射防护中使用的换算系数, 原子能出版社, 1998.
- [3] 余建明. 数字减影血管造影技术 [M]. 北京: 人民军医出版社, 1999.

(收稿日期: 2006-06-06)

参考文献:

- [1] 李德平, 潘自强, 吴德强, 等. 辐射防护手册 第一分册 [M]. 北京: 原子能出版社.
- [2] 侯金兵, 郭文. 国防科工委放射性计量一级站检测报告结果 (放测字第 2000-D012 号) [R]. 2000. 1.
- [3] GBZ120-2002, 临床核医学卫生防护标准 [S].

(收稿日期: 2006-05-23)