

一种用于细胞实验的新型 α 粒子照射装置的建造和验证

嵇卫星 田文倩 尹晓明 杨红英 王敬东

(苏州大学医学部放射医学与防护学院/江苏高校放射医学协同创新中心 苏州 215123)

摘要 整个装置由 α 粒子源、源支架和盖玻片盘等构成。根据理论推导可计算出样品中每个细胞接受到的 α 粒子数。利用 Geant4 程序包作为构建模型和模拟粒子输运的工具,还计算了盖玻片上细胞的剂量率分布,得出了盖玻片上离圆心不同距离处的剂量率分布图。最后,本研究还利用正常人皮肤成纤维细胞 WS1,检测了用本照射仪照射细胞后 30 min 时的 DNA 双链断裂标记物-53BP1 foci 的形成和照射后细胞的克隆生存曲线。结果显示,在盖玻片上不同位置处的细胞受照剂量存在差异, α 粒子的剂量率与细胞与盖玻片圆心处的距离成反相关。与 X-射线相比, α 粒子造成的细胞死亡更严重,在 SF 为 0.5 时,其相对生物学效应 RBE 等于 1.71。综合以上结果,本研究设计并建造的 α 粒子照射仪是一个制作成本较低、使用方便、剂量精确的照射装置,满足放射生物学中在细胞及分子水平上研究 α 粒子的生物学效应的需要。

关键词 α 粒子照射装置, ^{241}Am 面源, 剂量率, 53BP1 foci, 克隆形成

中图分类号 Q691.5, TL75+2.3

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2015.rj.33.020205

高 LET 的 α 粒子是多种同位素包括多种环境中氦气、原子弹和核电主要原料钚等裂变的产物。即使在正常本底地区, α 粒子也是人群受到照射的一种主要类型,它们贡献了自然放射源中电离辐射的约50%的有效剂量^[1]。与 X-射线、 γ -射线等低 LET 辐射类型不同, α 粒子在穿过细胞时,会在较窄的径向范围内沉积较大的能量,导致细胞损伤的非均匀分布和难以修复的 DNA 和染色体的簇状损伤^[2]。尽管 α 粒子的射程很短,穿透力非常弱,甚至不能穿透人体皮肤外层的表皮层,但其内照射的危害却不容忽视。当 α 粒子源进入个体后,体内敏感组织和器官可能受到 α 粒子照射从而产生损伤,由此可能增加癌变风险。例如,吸入氦气会增加肺癌发生风险现已众所周知。另外,近来 α 粒子在放射免疫治疗中引起了大家的巨大关注。放射免疫治疗可利用连接在肿瘤细胞表达抗原的抗体上的同位素,直接将肿瘤细胞暴露于辐射环境中以产生更直接的损伤^[3]。而 α 粒子由于上述物理和生物特性,在杀伤孤立的肿瘤细胞、体积较小的肿瘤或微转移方面有其独特的优势^[4-5]。

正因为 α 粒子照射的这些可能健康危害和在临床中的潜在应用价值,研究 α 粒子照射的生物学效应非常必要。然而由于 α 粒子在介质中的射程短,目前常用的照射方法都是把细胞种在 Mylar 膜上,然后将 Mylar 膜置于 α 粒子源上方 5 mm 处^[6]。这种方法的弊端显而易见,首先照射时间不易控制,从而导致照射剂量不准确;其次,带有细胞培养液的 Mylar 膜处于 α 粒子源上方,容易造成源面污染和损坏,进而导致剂量的不准确。

为了解决上述这些问题,本研究设计并建造了一种用于细胞实验的新型 α 粒子照射装置。本照射装置采用 ^{241}Am 面源照射,制作成本低,样品与源距离短,空气中损失能量小,到达样品时能量高,通过程序自动控制照射时间可以在一定程度上精确控制给予样品的剂量,通过样品盘的尺寸设计保证照射某一样品时,其他样品不受影响,并且由于源在样品的上方,保证了源不会被污染。根据理论推导可计算出样品中每个细胞接受到的 α 粒子数。本研究还采用 Geant4 程序包^[7]作为构建模型和模拟粒子输运的工具,对本照射装置中细胞所受的剂量率

基金资助:国家自然科学基金(31270898、11335011)、江苏省教育厅省属高校自然科学研究重大项目(12KJA310005)和江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)资助

第一作者:嵇卫星,男,1988年6月出生,2012年毕业于苏州大学医学部医学物理专业,现为苏州大学医学部放射医学与防护学院在读硕士研究生, E-mail: life_newline@126.com; 共同第一作者:田文倩,女,1987年9月出生,2012年毕业于潍坊医学院临床医学专业,现为苏州大学医学部放射医学与防护学院在读硕士研究生, E-mail: tianwenqian7948@163.com

通讯作者:王敬东,硕士,实验师, E-mail: wangjindong@suda.edu.cn

收稿日期:初稿 2014-10-22; 修回 2014-11-14

进行了标定,模拟计算了样品受照的均匀性。最后,本研究还对本照射装置进行了生物学验证,以细胞的存活曲线和 DNA 双链断裂为指标验证了本装置的有效性。

1 粒子照射装置

1.1 粒子照射装置工作原理

本装置为本实验室自行设计加工而成。整个装置由 α 粒子源、源支架、盖玻片盘、电机、编码器以及紫外灭菌灯等构成。照射装置的实物及剖视图见图 1。

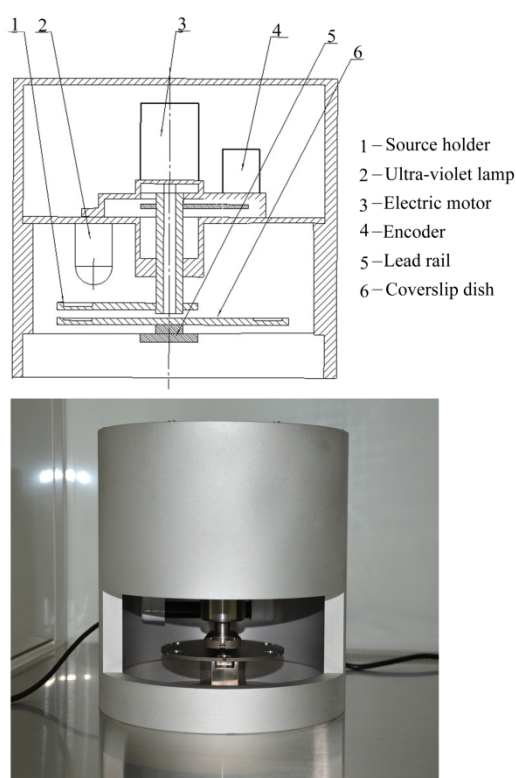


图 1 α 粒子照射装置二维结构图和实物图
Fig.1 Structure diagram and picture of the α -particle irradiation device

本装置所采用的 α 粒子源是几何尺寸为 36 mm $\times$ 4 mm、有效直径 20 mm 的 ^{241}Am 面源,其活度为 $5.7 \times 10^6 / (2\pi \cdot \text{min})$,放置于源支架上。盖玻片盘直径为 14 cm,距离圆盘中心 6 cm 处均匀分布有 6 个等间距的直径为 2 cm 的圆形凹槽,用于放置培养有细胞的玻璃爬片。面源与盖玻片盘平行放置,两者之间的距离为 10 mm。源支架可旋转,每次停止的位置与下面盖玻片盘上的凹槽中心轴一致。源支架通

过穿过隔板的轴与电机和解码器相连接,其照射时间可由相应的软件控制,计算机与照射仪通过数据线连接。盖玻片盘与仪器底座之间通过滑块、钢珠和导轨相连接,可以达到平稳地将盖玻片盘拉出仪器外放置玻璃爬片的目的。因为 ^{241}Am 发射出的 α 粒子主要能量为 5.48 MeV,其在空气中的 CSDA 射程为 4.16 cm^[8],所以这样的几何设计可以保证在照射其中一个盖玻片时,几乎不对处于其它凹槽中的盖玻片上的细胞造成影响。另外,在细胞接受照射前,先启动紫外线灯,对环境进行灭菌,便于对照射过的细胞进行长期的培养观察而不用担心污染的问题。

1.2 样品中剂量率标定

^{241}Am 的主要衰变方式为 α 衰变,其发射的 α 粒子的主要能量及其绝对强度分别为 5.486 MeV (86%)、5.443 MeV (12.7%)及 5.389 MeV (1.33%)^[9]。样品距离 α 粒子源 10 mm。在简化的细胞模型中^[10],假定细胞密度为 1 g/cm³,当验证细胞半径小于 10 μm 时,剂量与深度的线性程度。将半径为 9 mm (玻璃爬片的半径)、厚度为 40 μm (5.48 MeV 的 α 粒子在水中的 CSDA 射程为 43.27 μm ^[8]) 的圆柱体模型沿着中轴线分为 100 个探测器单元,分别计算出沿着中轴线方向的能量沉积,根据公式(1)得到剂量率曲线。

$$\dot{D} = \frac{d\dot{\epsilon}}{dm} \quad (1)$$

1.3 样品受照均匀性的模拟计算

同样采用半径为 9 mm、厚度为 40 μm 的圆柱状水模体,分别将前 5、10、15 和 20 μm 厚度的水模体分割为 45 个同心圆筒状探测器单元,每个圆筒的内外半径差为 0.2 mm,模拟得出在每个单元中沉积的能量,根据公式(1),计算得出离圆心不同距离处的剂量率变化。

2 材料与方法

2.1 细胞实验材料

人胚胎皮肤成纤维细胞 WS1 购自美国 ATCC;胎牛血清购自加拿大 WISENTING 公司;MEM 培养基、丙酮酸钠、二甲基亚砜(Dimethyl sulfoxide, DMSO)购自于美国 Sigma-Aldrich 公司;青霉素-链

霉素、胰酶消化液、Alexa Fluor 488 标记山羊抗兔 IgG (H+L) 购自于中国碧云天生物技术研究所；抗 53BP1 兔多克隆抗体购自于英国 Abcam 公司。

2.2 细胞实验方法

2.2.1 细胞培养

WS1 细胞于含有 10% 胎牛血清、100 U/mL 青霉素、100 μ g/mL 链霉素的 MEM 培养液中，放置于 37 $^{\circ}$ C、含 5% CO_2 、饱和湿度的培养箱中培养，隔天换液。照前 24 h，将细胞接种于带无菌圆形盖玻片的六孔板中，每孔大约种 $30 \times 10^4 - 35 \times 10^4$ 个细胞。

2.2.2 照射方法

细胞接种 24 h 后，将种有细胞的盖玻片从六孔板中取出，置于 α 粒子照射装置的样品槽中接受照射，照射时间分别为 0、0.5、1、2、4 和 8 min。另与经美国 RAD SOURCE RS2000 X-射线机照射的细胞比较，该 X-射线的能量为 160 kVp，照射距离为 40 cm，剂量率为 1.16 Gy/min。两种照射都在 20 $^{\circ}$ C 下进行。

2.2.3 克隆形成

WS1 细胞经 α 粒子或 X-射线照射后，立即消化制成单细胞悬液，并接种于 60 mm 的培养皿中，根据照射类型和剂量，分别接种不同数目的细胞，每组 3 个平行样。置于培养箱中培养 14 d 后，以甲醇固定 15 min、亚甲基蓝染色 30 min，再用清水将培养皿洗净晾干。在显微镜下计数含 50 个细胞以上的细胞集落。克隆形成率和细胞克隆存活率按如下公式计算。

克隆形成率(%) = (克隆数/接种细胞数) $\times$ 100%

细胞克隆存活率 = 处理组克隆形成率/对照组克隆形成率

2.2.4 53BP1 免疫荧光实验

将 1×10^5 个 WS1 细胞接种于盖玻片上，24 h 后，更换新鲜培养液，接受不同射线照射后 30 min，用 3.7% 的甲醛溶液在室温下固定细胞 15 min。用 PBS 清洗细胞 3 次，再用冰冷的 Triton-100 打孔缓冲液（50 mmol/L 氯化钠、3 mmol/L 氯化镁、200 mmol/L 蔗糖、10 mmol/L HEPES (pH=7.4)、0.5% Triton X-100）在 4 $^{\circ}$ C 孵育 15 min。细胞经 PBS 清洗 3 次后，用封闭缓冲液（含 0.1% Triton X-100、3% 山羊血清、0.2% 脱脂奶粉的 PBS）在室温封闭 1 h，再用稀释的抗 53BP1 抗体溶液(1:200)在室温下孵育

45 min。PBS 清洗细胞 4 次，接着，用稀释的二抗 Alexa Fluor 488 标记山羊抗兔 IgG (H+L) 溶液(1.5 μ g/mL)在室温孵育 45 min。最后用 10 μ g/mL 4',6-二脒基-2-苯基吲哚(4',6-diamidino-2-phenylindole, DAPI)染色 2 min，用抗荧光淬灭剂封片。在 DM 2000 荧光倒置显微镜（德国 Leica 公司）下进行细胞观察、计数和荧光图像的拍摄。含 10 个及以上 53BP1 foci 的细胞为阳性细胞，计数 500 个细胞中阳性细胞的个数。

2.2.5 统计学方法

所有数据都是至少 3 次独立实验的平均，并用平均值加减标准误差表示($\bar{x} \pm s$)。采用 Origin 8.0 软件的 Student's *t* 检验进行组间的比较分析， $p < 0.05$ 被认为两组间的差异有统计学意义。

3 结果和讨论

3.1 理论上细胞接受到的粒子数计算

^{241}Am 在衰变成 ^{237}Np 的同时发射出 α 粒子，其半衰期为 432.2 年。装置的示意图见图 2。

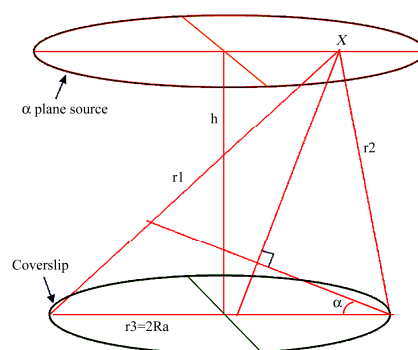


图2 粒子数计算过程示意图
Fig.2 Schematic diagram of the calculation of the number of particles

图 2 中，上下两个圆面分别为 α 面源和玻璃爬片，二者相互平行且垂直于两个圆心的连线。 x 为面源上任意一点的半径， h 为两个平面之间的距离。该点与面源圆心、玻璃爬片圆心 3 点形成的平面与玻璃爬片边缘相交，生成的两点与该任意点形成一三角形，其中两边分别为：

$$r1 = \sqrt{(x + R_a)^2 + h^2} \quad (2)$$

$$r2 = \sqrt{(x - R_a)^2 + h^2} \quad (3)$$

第三条边为:

$$r_3 = 2R_a \quad (4)$$

其中, R_a 为盖玻片的半径。盖玻片相对于该任意点的立体角为:

$$A = \frac{S_a \times \cos \alpha}{(r_2)^2} \quad (5)$$

S_a 为玻璃爬片的面积。根据三角关系求得 $\cos \alpha$ 的值为:

$$\cos \alpha = \frac{r_1 + r_2}{2 \times r_3} \sqrt{\frac{(r_3)^2 - (r_1 - r_2)^2}{r_1 \times r_2}} \quad (6)$$

并最终计算出该面源到达盖玻片表面的粒子数为:

$$C = N \times \frac{S_a}{S_o} \int_0^{R_o} \frac{\cos \alpha \times x dx}{(r_2)^2} \quad (7)$$

其中, N 为该面源的活度, S_o 为面源的面积, R_o 为面源的半径。带入具体数值后, 可求得到达盖玻片表面的粒子数为 1.92×10^6 个/min, 为该面源发射出粒子总数的 1/3。

若盖玻片被直径 $10 \mu\text{m}$ 的细胞铺满, 则盖玻片上的细胞个数为:

$$N_c = \frac{S_a}{S_c} \quad (8)$$

其中, N_c 为细胞个数, S_c 为单个细胞的面积。若不考虑生长时的形变, 则:

$$S_c = \pi r^2 \quad (9)$$

其中, r 为 $5 \mu\text{m}$, 带入计算得到细胞个数为 3.24×10^6 个。则每个细胞接受到的 α 粒子个数为 0.59 个/min。换句话说, 假设细胞为球形, 并且 α 面源均匀发射粒子, 那么理论上每个细胞每分钟将受到 0.59 个粒子的轰击。

3.2 样品中的剂量率标定

计算出沿中轴线方向的剂量率曲线如图 3 所示。由图 3 可知, 前 $20 \mu\text{m}$ 采用 G4_WATER (模拟细胞) 填充, 后 $20 \mu\text{m}$ 分别采用 G4_WATER 和 G4_GLASS_PLATE (模拟盖玻片) 填充。可以算出, 该面源给予 $40 \mu\text{m}$ 厚的圆柱体水柱的平均剂量

率为 0.132 Gy/min 。可以看到, 在前 $20 \mu\text{m}$ 内, 剂量率变化缓慢且近似线性增加, 拟合得到线性公式为:

$$D = 0.0043R + 0.1191 (r^2 = 0.9843) \quad (10)$$

其中, R 为细胞半径。

而在此之后, 剂量率变化加快。在两种不同介质中穿行的 α 粒子背散射对前 $20 \mu\text{m}$ 水柱体的剂量率分布几乎没有影响, 因此当细胞的直径变化时, 我们可以不考虑 α 粒子背散射的影响。当细胞直径在 $20 \mu\text{m}$ 内时, 可以根据上述线性公式得到细胞受照剂量率, 例如, 若细胞半径为 $5 \mu\text{m}$ 时, 细胞受照剂量率为 0.14 Gy/min 。

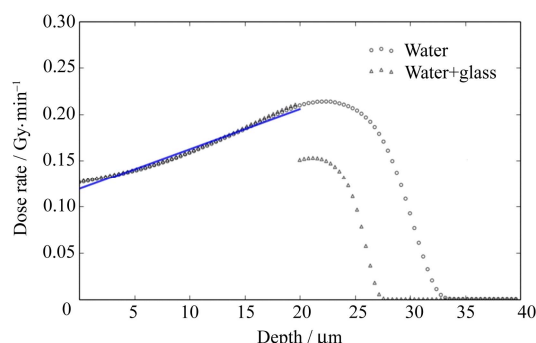


图3 圆柱体模体中不同深度处的剂量率
Fig.3 Dose rate at different depth of cylindrical phantom

另外, 由文献[9]可知, ^{241}Am 发出的平均能量为 5.48 MeV , 根据文献[8]可知能量为 5.48 MeV 和 4.56 MeV 的 α 粒子在空气中的 CSDA 射程分别为 5.02×10^{-3} 和 $3.808 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2$ 。取空气的密度为 1.205 kg/m^3 , 可求的其在空气中的射程分别为 4.16 和 3.16 cm , 即 ^{241}Am 发出的 α 粒子到达玻璃爬片表面时平均能量为 4.56 MeV 。因为水柱的厚度只占面源与玻璃爬片距离的 0.4% , 可以认为到达盖玻片表面的粒子数全部沉积于该 $40 \mu\text{m}$ 厚的水柱中。根据公式(1)和上面求出的到达盖玻片时的粒子个数, 即可求得面源给予水柱的剂量率为 0.138 Gy/min , 与上述模拟结果偏差 4.5% , 也验证了上述模拟结果的准确性。

3.3 样品受照均匀性的模拟计算

计算得出离圆心不同距离处的剂量率变化如图 4 所示。由图 4 可见, 剂量率与细胞与圆心处的距

离成反相关，越接近圆心处的剂量率越高，在圆心的剂量率甚至接近 0.5 Gy/min；而越向外，剂量率越小，并且随着距离的增加，剂量率的变化也减慢。相应剂量点的面积占整个盖玻片面积的比值随着剂量率的减小而增大，考虑到这种不均匀性，我们计算得出，当受照细胞的直径为 5、10、15 和 20 μm 时，它们的剂量率分别为 0.132 ± 0.039 、 0.140 ± 0.041 、 0.150 ± 0.043 和 0.162 ± 0.047 Gy/min。

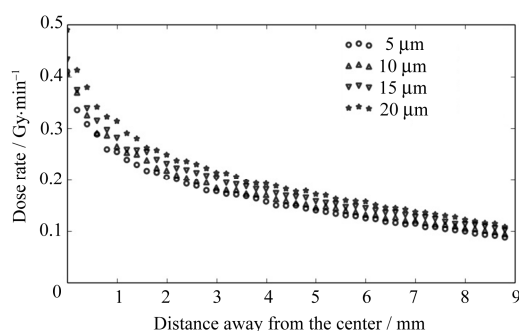


图 4 盖玻片上不同位置处的剂量率
Fig.4 Dose rate at different locations on the coverslip

3.4 WS1 细胞经 α 粒子或 X-射线照射后的存活曲线

本研究检测了用自制的 α 粒子照射装置照射 WS1 皮肤成纤维细胞后其克隆形成率的降低，由此绘制了细胞受照后的存活曲线，并且与用 160 kVp 的 X-射线照射结果相比较（图 5）。

由于接种在盖玻片上的细胞在接受 α 粒子照射的过程中不能浸泡在培养液中，所以，为了避免细胞完全干涸，照射时间最长为 8 min，相当剂量为 1.12 Gy，该剂量下的细胞存活率(Survival fraction, SF)为 0.487 ± 0.022 。由此可以计算出在 SF=0.5 时， α 粒子相对于 X-射线的相对生物学效应 RBE=1.71。这较文献^[11-12]中报道的 α 粒子的 RBE (2.54 或 4.3) 略低。其原因可能：首先，本研究用的标准为 160 kVp 的 X-射线，低能量 X-射线的 RBE 较常规能量 X-射线(200 kVp 或 250 kVp)本身就大于 1^[13]，即低能量 X-射线的生物学效应较强；其次，本研究的生物学实验用的是低密度培养状态下的细胞，因此可能导致很多 α 粒子打在了细胞间隙，而非细胞上，从而未能得到较高的 RBE。

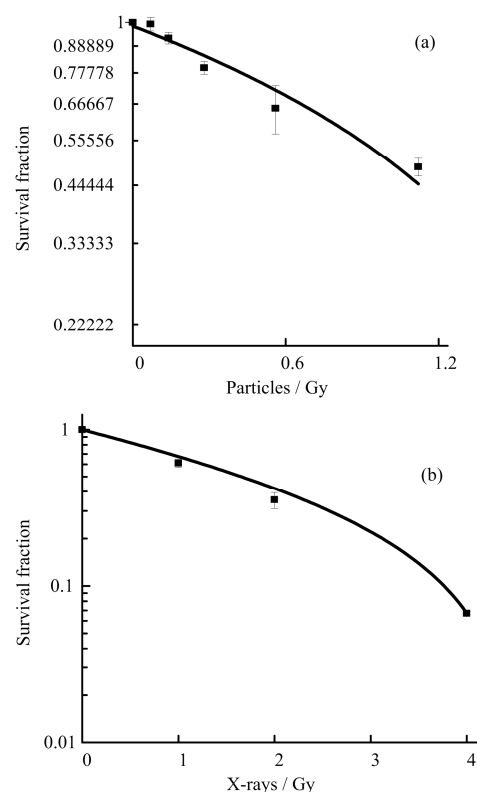


图 5 WS1 细胞接受不同射线照射后的克隆存活能力
(a) α 粒子照射；(b) X-射线
Fig.5 The survival fraction of WS1 cells receiving different types of radiation: (a) α -particles; (b) X-rays

3.5 WS1 细胞接受不同照射后的 DNA 损伤 foci 的比较

以 53BP1 foci 作为 DNA 双链断裂的标记物，本研究还检测了 WS1 细胞在接受不同类型的照射后 30 min 时产生的 DNA 损伤。由图 6 可知，当细胞受到 1 Gy 的 X-射线照射后，所有细胞核中都出现了 53BP1 foci；而当细胞接受 4 min 的 α 粒子照射（可造成相似的克隆杀伤）后，只有 51% 的细胞核为 53BP1 阳性细胞核，显示 α 粒子在短时间内的照射不是均匀的。这与理论计算的结果不一致的原因在于在理论计算考虑的是整个衰变过程，所以认为 ^{241}Am 面源的衰变和同时发射的 α 粒子在每个方向上的分布是均匀的。然而在生物实验中，由于照射时间很短，只有几分钟，那么事实上在这么短的时间里， ^{241}Am 面源 α 粒子的发射方向及粒数则服从随机分布。

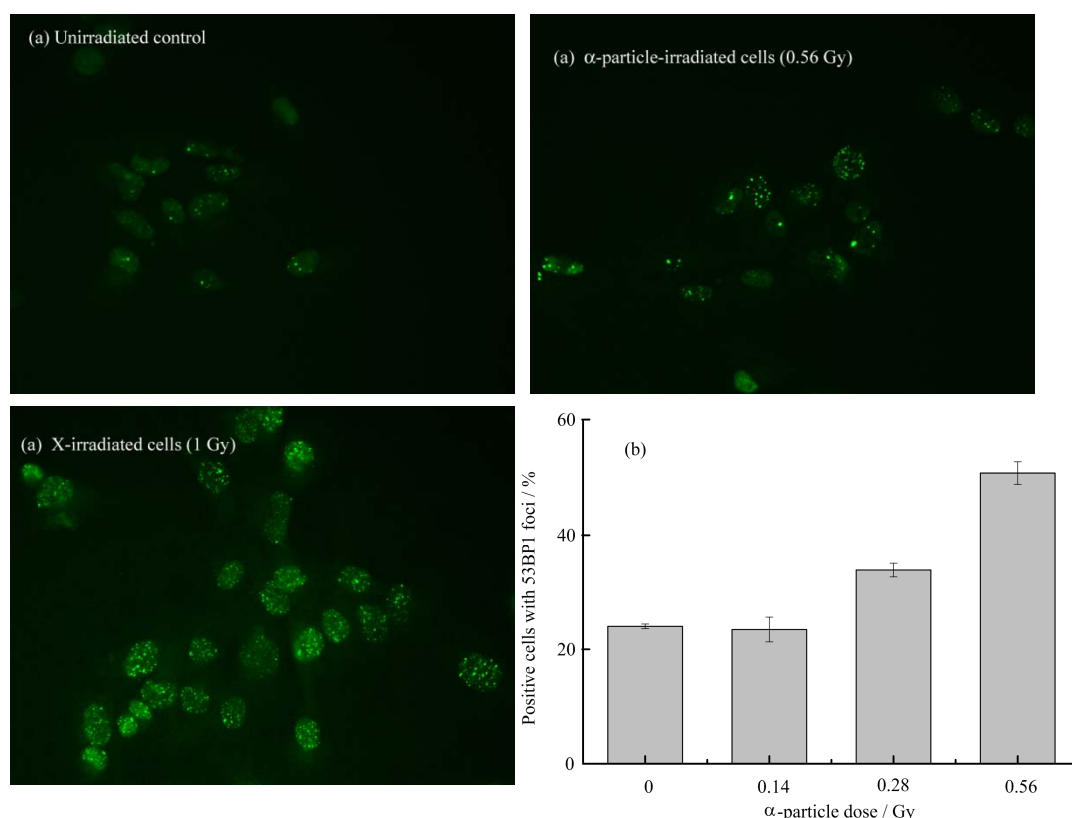


图6 WS1 细胞接受不同射线照射后 30 min 时的 53BP1 foci 形成
(a) 免疫荧光照片; (b) 53BP1 foci 阳性细胞比例与粒子照射剂量的关系 (*, 与对照相比, $p < 0.05$)
Fig.6 The induction of 53BP1 foci in WS1 cells 30 min post irradiation
(a) *in situ* fluorescence images; (b) dependence of the percentage of positive cells with 53BP1 foci on α -particle dose
(*, $p < 0.05$ vs. untreated control)

4 结论

本研究自行设计并建造了一种用于细胞实验的新型 α 粒子照射装置, 为细胞放射生物学研究提供了一种方便且实用的照射方式。在该装置中, α 源面朝下, 并与种有细胞的盖玻片保持 10 mm 的距离, 因而避免了源面被污染的可能性。并且该装置根据时间来自动控制受照细胞接受到的剂量, 从而确保了 α 粒子的剂量准确性。尽管通过理想假设, 可以计算出每个细胞在单位时间内得到的 α 粒子数, 但事实上, 单位时间内穿过细胞的 α 粒子数是不均匀的, 服从随机分布。根据计算结果, 其剂量率与细胞与圆心处的距离成反相关。细胞的 53BP1 foci 免疫荧光实验进一步验证了 α 粒子穿过的不均匀性。并且, 以细胞克隆率为指标, 计算得出在细胞存活率为 0.5 时, α 粒子相对于 160 kVp 的 X-射线的相对生物学效应为 1.71, 说明本装置在生物效应方面的有效性。

参考文献

- 1 Gaillard S, Armbruster V, Hill M A, *et al.* Production and validation of cr-39-based dishes for α -particle radiobiological experiments [J]. *Radiation Research*, 2005, **163**(3): 343-350
- 2 Goodhead D T. Initial events in the cellular effects of ionizing radiations: clustered damage in DNA [J]. *International journal of Radiation Biology*, 1994, **65**(1): 7-17
- 3 Barbet J, Bardiès M, Bourgeois M, *et al.* Radiolabeled antibodies for cancer imaging and therapy [J]. *Methods in Molecular Biology*, 2012, **907**: 681-697.
- 4 Gorin J B, Ménager J, Gouard S, *et al.* Antitumor immunity induced after α irradiation [J]. *Neoplasia*, 2014, **16**(4): 319-328.
- 5 Elgqvist J, Frost S, Pouget J P, *et al.* The potential and hurdles of targeted alpha therapy-clinical trials and beyond [J]. *Frontiers in Oncology*, 2014(3): 324.

- 6 Wang R, Coderre J A. A bystander effect in alpha-particle irradiations of human prostate tumor cells [J]. *Radiation Research*, 2005, **164**(6): 711-722.
- 7 Allison J, Amako K, Apostolakis J, *et al.* Geant4 developments and applications [J]. *Nuclear Science, IEEE Transactions On*, 2006, **53**(1): 270-278.
- 8 Berger M J, Coursey J S, Zucker M A *et al.* Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions. <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Star/Text/ASTAR.html>, 2014-09-08.
- 9 Baranov S A, Kulakov V M, Shatinsky V M. New data on Am-243 and Am-241 α -decays [J]. *Nuclear Physics*, 1964, **56**: 252-258.
- 10 林辉, 吴东升, 徐元英, 等. 单细胞模型微观剂量学的 Monte Carlo 模拟研究 [J]. *辐射研究与辐射工艺学报*, 2010, **28**(6): 339-344.
- LIN Hui, WU Dongsheng, XU Yuanying, *et al.* Microdosimetric research of a single cell model by Monte Carlo simulation [J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2010, **28**(6): 339-344.
- 11 Staaf E, Brehwens K, Haghdoust S, *et al.* Gamma-H2AX foci in cells exposed to a mixed beam of X-rays and alpha particles [J]. *Genome Integrity* 2012(3): 8.
- 12 Yamada Y, Oghiso Y, Enomoto H, *et al.* Induction of micronuclei in a rat alveolar epithelial cell line by alpha particle irradiation [J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 2002, **99**: 219-222.
- 13 Frankenberg-Schwager M, Garg I, Fran-Kenberg D, *et al.* Mutagenicity of low-filtered 30 kVp X-rays, mammography X-rays and conventional X-rays in cultured mammalian cells [J]. *International Journal of Radiation Biology*, 2002, **78**: 781-789.

The building and validation of a novel α -irradiation equipment used for cultured cell study

JI Weixing TIAN Wenqian YIN Xiaoming YANG Hongying WANG Jingdong

(School of Radiation Medicine and Protection, Medical College of Soochow University /

Collaborative Innovation Center of Radiation Medicine of Jiangsu Higher Education Institutions, Suzhou 215123, China)

ABSTRACT The aim is to build a user-friendly α -irradiation equipment used for cultured cell study, and to validate its dosimetry and biological efficiency as well. The equipment is composed of α -particle source (^{241}Am), a holder for ^{241}Am , a holder plate for coverslips on which cells grow, and other essential parts. The theoretical average α -particle traversal per cell was calculated based on ideal assumptions. The Geant4 software package was used for modeling and simulating particle traversal. And the dose rate distribution in cells on coverslip was calculated and plotted *versus* the distance from the center of coverslip. Moreover, the induction of 53BP1 foci, a surrogate marker of DNA double strand breaks and colony formation in WS1 normal human skin fibroblasts irradiated with the α -irradiation equipment were determined. The results showed the disconformity of α -irradiation dose on the coverslip, with the farther the distance from the center of the coverslip, the lower the dose rate. The relative biological efficiency of α -irradiation (RBE) was 1.71 at a SF of 0.5. In conclusion, we have built a user-friendly α -irradiation equipment with a good automation system for cultured cell study, providing better accuracy of exposure time and dose.

KEYWORDS α -irradiation equipment, ^{241}Am source, Dose rate, 53BP1 foci, Colony formation

CLC Q691.5, TL75+2.3