DOI:10.16016/j.1000-5404.1989.02.007

军事医学

医用辐射场质量评估的实验研究

翟建才 (物理教研室)
杨冬林 董 燕 (防原教研室)

提 要 辐射场的质量直接影响医学应用辐照工作的质量。本报告提出可用来测定和监督实用场的质量的一组实验参数和将Fricke剂量计用于测定吸收剂量的相对测量方法。据此对某医用强γ场全区拟点状源工作区及标准水箱内微区拟平行宽束工作区的实测和评估的效果较好。

关键词 γ线；放射监测；评估研究

放射源及其运行装置所在空间，具有有意义的辐射效应区域构成辐射场。无论是在理论上，还是在实际应用中，人们都十分关注医用强γ场的质量控制问题[1][2][3][4][5][6][7]。本文探讨了有助于提高质量控制的几项实验及理论措施，并可用于实用辐射场的质量评估。

原 理 和 设 计

因放射源设置等问题会造成辐照场工作参数的不一致[1][2][10]。我们根据柱坐标系三个坐标，等间距设置一系列实测点，用各组照射量率或吸收剂量率实测数据的平均值或加权平均值的相对误差命名一组参数。它们是：

一、周向不对称率 δ

与放射源等高面上的近源区各点的照射量率可能会明显偏离距离平方反比的理论公式[4][8]。我们把辐射场的工作区域或待评估区域，选定源等高面，以源的几何中心为圆心，以指定的距离为半径所作的圆周，并在其上等分周角设测试点，用选定诸点的照射量率的平均值 $\bar{X}$ 的相对误差来评价，称之为周向不对称率 δ。

二、径向归一指数 Gr

在距离源的距离大于源的线度5～10倍以上的区域常经验性地直接引用距离平方反比关系[7]。这对于复杂的未知辐射场，特别对临界近区，常会有风险。我们将与放射源等高面上以源的几何中心为始点，任意选定方向的一条射线上，每隔一定间距设一测试点，将各点的照射量率 $\dot{X}i$ 与该点到始点的距离 Li 的平方乘积的平均值的相对误差作为评价与平方反比关系的偏离程度的指标，称之为径向归一指数 Gr。

三、轴向归一指数 Gz

在与放射源垂直几何轴线平行的圆柱面上同一条母线上各点的照射量率也并非总能不加验证地直接采用平方反比公式推而知之。特别在近地部位或受照物支持面附近，会由于散射等附加效应造成举足轻重的改变[1][3]。我们用 $\dot{X}j(Zj^2+r_0^2)$ 的实测平均值的相对误差 Gz 来作为第三个指标，称为轴向归一指数。$\dot{X}j$ 为各点的照射量率测量值，r_0 与母线与源的垂直轴线之间的距离，Zj 为各点到源等高面的距离。

Gr 和 Gz 是照射量率加权平均值的相对误差，若用 Kerma 值或吸收剂量率代替照射量率，将会得到相应的参数组。为了处理数据的方便和简化工作步骤，对 δ、Gr 和 G 的实测点应考虑辐射场的特点恰当处理。

由于对医用辐射场的评估一般并不是根据辐照对象的吸收剂量(率)的实测值进行的，可能最终会使工作质量降低和评估疏漏[1][3]。我们通过做比较实验曲线的方法，把 Fricke 剂量计应用于吸收剂量的相对测量。最后对不同的测试对象进行实测、评估，以检验所设计的评估参数和方法的有效性。

实 验 和 方 法

一、辐射场的质量初步评估

本工作根据测试场的使用要求，将一半径为120 cm的圆周等分设置12个 δ 的测试点，Gr 和 Gz 测试点间间隔分别为10 cm和5 cm。使用英国 NE 型医学放射治疗级的次级标准X,γ射线照射量计(经省计量院标定，与中国计量院基准做过比对)测照射量(率)。为进一步考查所设计的评估参数确定的辐照场均匀度分级的可靠性，我们用中国计量科学院电离辐射处提供的带有刻度及定位装置的有机玻璃标准水箱(300 × 300 × 300)及 Fricke 剂量计相对测量

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

方法对分别以空气和水为介质的水箱域内9个测试点(图1)测量了吸收剂量率.

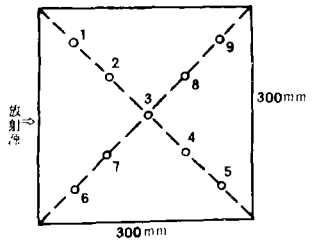


图 1 标准水箱测试点布局示意图

二、*Fricke* 剂量计相对测量应用

用作测试的试剂溶液,按 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2\cdot 6H_2O$ 和NaCl(分析纯)各1mmol,0.4mol的 H_2SO_4,加双蒸水至1000ml配制,经小剂量射线予照射处理促其老变、稳定后,分装在液体闪烁计数低钾玻璃测量瓶,封好放暗处备用。照射区满足Ⅰ级均匀度,照射方式为保持位置不变,累积照射时间以达到予设的照射程度。

为得到比较曲线而使用的 Fe^{+3} 溶液是用 $Fe(NH_4)\cdot(SO_4)_2\cdot 12H_2O$ 代替 $Fe(NH_4)_2\cdot(SO_4)_2\cdot 6H_2O$,其它条件与试剂溶液相同而配制的。样品的光密度由Beckmann紫外分光光度计测量。

三。实验动物体腔内的剂量测定

用兔做实验动物,称体重,用排水法测体积,得到兔体活体密度。将兔击昏,置于有机玻璃水箱内固定,沿兔背中直线取等距三点切口定位,垂直插入测量瓶。照射时保持源的中心、水箱中心、兔体中心三点共线等高。为了评价直接引用水模数据或经验公式而不是通过实测所给出的受照动物吸收剂量的偏离,我们将动物－水箱测试系统在空气和水两种介质情况下测得的结果与测试点在辐照场中的位置以及照射条件(累积时间)都相同只是没放兔子时的测量结果进行了比较。

数 据 和 结 果

对某医用γ辐射场的δ、Gr和Gz的实测数据及处理结果分别见表1、表2和表3。在做周向不对称评价中,可以明显看出C1和C7两个偏离点,扣除它们的剩余10个测试点的 $\bar{X}_{10}$ 以及由两点隔离开的各五个点的 $\bar{X}_{2-6}$ 和 $\bar{X}_{8\ 12}$ 与包括全部测试点的 $\bar{X}_{12}$ 所给出的δ差别很大。最大接近20%,最小可控制在1%～3%。对Gr和Gz的评估中,从复盖的线度

表 1 周向参数测量结果

NO	C1	C2	C3	C4	C5	C6
$\dot{X}$	75.64	138.74	133.94	136.21	136.24	133.09
NO	C7	C8	C9	C10	C11	C12
$\dot{X}$	67.33	132.49	130.97	130.93	131.11	130.49

$\bar{X}_{12}=133.10\pm24.31$; $\delta=19.7\%$; $\bar{X}_{10}=133.42\pm2.82$; $\delta=2.1\%$

$\bar{X}_{2-6}=135.64\pm2.22$; $\delta=1.6\%$; $\bar{X}_{8-12}=131.20\pm0.76$; $\delta=0.6\%$

表 2 径向参数测量结果

NO	r1	r2	r3	r4	r5
$\dot{X}i$	501.39	381.38	288.85	232.32	189.31
$Li^2\dot{X}i$	180.50	186.88	184.86	188.88	189.31
NO	r6	r7	r8	r9	r10
$\dot{X}i$	156.73	130.93	113.39	97.93	86.65
$Li^2\dot{X}i$	189.64	188.54	191.63	191.94	194.96

$\overline{Li^2\dot{X}i}=188.64+4.02$; $Gr=2.1\%$

表 3 轴向参数测量结果

NO	Z0	Z1	Z2	Z3	Z4
$\dot{Z}j$	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
$\dot{X}j$	193.89	193.24	191.29	189.85	185.78
$\dot{X}j(1.00+Zj^2)$	193.89	193.72	193.20	194.12	193.21

$\dot{X}j(1.00+Zj^2)-193.63+0.41$; $Gz=0.2\%$

内可以看出,常用的实验动物狗、猴、兔、白鼠等在δ满足要求后都可控制在3%以内。这和文献1的估计十分符合。

根据ICRU规定[1],辐射场辐照均匀度用最大剂量和最小剂量比表示。比值小于1.10为均匀,大于1.30为不均匀。从实测的照射量率极坐标分布(图2)可以直观看出,不经选择均匀区的全辐照场质量是低劣的,基于平方反比公式成立所做的许多推论也是相当危险的。



图 2 等距周向各测点照射量率分布

剂量计试剂溶液,由紫外分光光度计自动描谱,峰位为241.8nm和303.7nm,(图3)与文献符合得很好。选304nm为测量光波。用来获取比较曲线的正铁及亚铁溶液按10%的调整幅度混合,测出的光密度见表4。经线性回归处理后,截矩 $A=-6.8$

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

× 10^{-4}，斜率B=2.48，相关系数r=0.998。剂量计溶液的光密度与吸收剂量之间的对应关系的测量结果见表5。数据经直线回归处理，截矩 A=0.018，斜率 B=3.8× 10^{-3}，相关系数 r=0.9995。

表4 对照溶液光密度与Fe^{3+}含量之间的关系

Fe^{3+}含量(%)	0	10	20	30	40	50
光密度	0.0559±0.0005	0.2981±0.0009	0.5199±0.0011	0.6957±0.0012	0.9157±0.0019	1.1663±0.0032

Fe^{3+}含量(%)	60	70	80	90	100
光密度	1.4252±0.0035	1.6862±0.0041	1.9909±0.0053	2.2741±0.0064	2.5594±0.0068

表5 剂量计溶液光密度与吸收剂量之间的关系

吸收剂量(Gy)	40	80	120	160	200
光密度	0.1637±0.0007	0.3304±0.0008	0.4897±0.0010	0.6196±0.0013	0.7541±0.0016

吸收剂量(Gy)	240	280	320	360	400
光密度	0.9240±0.0021	1.0957±0.0024	1.2534±0.0032	1.3976±0.0033	1.5239±0.0041

标准水箱微区设置的9个测试点分别在空气和水介质中试剂样品光密度的测量结果及实验动物－水箱系统测试与比较的四组样品光密度的测量结果分别列于表6和表7。结果表明，实测结果不能用均匀水模等给出予测值。表6的数据经指数回归的结果列在表的下方。

表6 标准水箱微区测量结果

NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L.D(空气)	1.4504	1.3278	1.1274	0.9587	0.9578	1.4720	1.3344	0.9811	0.9666
L.D(水)	1.3395	0.9771	0.6941	0.5654	0.4085	1.3907	1.0206	0.5415	0.3947
ratio	1.083	1.359	1.624	1.722	2.347	1.058	1.307	1.812	2.449

经指数回归： A=−0.111；B=0.038；r=0.988

表7 四组样品的光密度测量值比较

介质	位置		
	近头部点	中部点	近尾部点
空气中	0.7706±0.0015	0.7800±0.0016	0.7746±0.0015
水中	0.5194±0.0010	0.5108±0.0009	0.5036±0.0009
兔在空气中	0.7396±0.0027	0.6762±0.0025	0.6491±0.0020
兔在水中	0.4947±0.0023	0.4584±0.0019	0.4478±0.0021

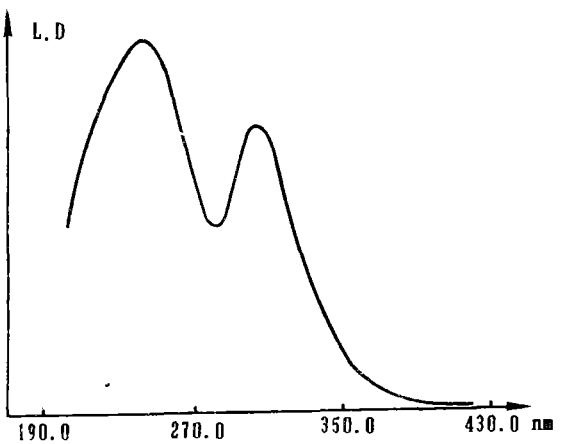


图3 剂量计溶液光密度吸收谱

讨论和建议

一、根据对某辐射场的 δ、Gr 和 Gz 的测定，可以明显看出，要对辐射场的均匀性通过实测来分级。只有在高均匀区才能引用距离平方反比的关系式，否则会使判断性实验和研究失信，使辐照应用失效或失误。根据标准水箱充以均匀介质(空气和水)等厚面上的测试点的平均值经指数曲线回归的结果，相关性很强，表明对符合工作要求的微区可看作是宽束平行照射。

二、多做为吸收剂量绝对测量方法使用

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的 Fricke 化学剂量计，曾被提议可充满模型，直接用来测量整个样品内的平均吸收剂量[8]。我们改用测量瓶封装试剂溶液可以根据不同要求分区定点地测定局部剂量或将各测量点样品混合后直接测定平均吸收剂量。此外，将 Fricke 方法通过做对照曲线的方法不必用消光系数 G 值而得到较为精确的吸收剂量值，而且可以降低对剂量计溶液原材料的要求，简化了试剂的试备，有利于在评估辐射场质量时实地测量吸收剂量。文献给出 Fricke 化学剂量计工作灵敏区为 40 ～ 400Gy，而我们的工作表明：对应于 Fe^{3+} 的浓度变化范围为 6.0×10^{-5}M 至 6.5×10^{-4}M 左右。实验曲线的外推最大可测吸收剂量为 600Gy，似乎工作区扩大了。

三、文献[1]指出，在照射样品周围附加一些散射材料，则可不管样品的尺寸、数量或相对位置，而提供一个初级辐射和散射辐射不变的混合场。这还可以有一个附带的优点，即如果一束射线在其截面上强度不完全相同的话，它能较大地提高射线束的均匀性。通过我们初步的工作结果得到了验证，并被成功地用于测评动物体内吸收剂量的工作中。

四、在对动物－水箱系统测试比较的结果中，看到水箱内微区若充以均匀介质，3 个测试点样品光密度的相对误差限小于 2%；而放在兔体内 2 组的数值相差显著，表明用均匀体模来模拟，或由经验公式将辐射场诸点照射量值换算成吸收剂量，都担有相当大的风险。就我们只对五只实验用兔的活体密度测量结果 1.02 ± 0.06 g·cm^{-3} 来看，仅密度本身不一致性造成的不确定度就大于 5%。因此，我们建议在评估电离辐射的生物效应时，不仅要考虑动物的体重和照射深度，还要考虑个体密度修正等。王月兴等的工作[7]也注意到仅考虑体重和照射深度等因素的不足。

（本文的研究课题是在程天民教授的提议和关怀下进行的，并得到学校首次中青年科研基金资助，谨致谢意。）

参 考 文 献

1. 阿蒂克斯主编．辐射剂量学(第 3 卷)．原子能出版社，1981: 719 ～ 721，725 ～ 726
2. Sinclair W．Absorbed dose in biological speciments irradiated externally with cobalt－60 gamma radiation．Radiation Research 1963; 20: 288
3. Michael H．Dose distribution from a degraded ^{60}Co γ field．Health Physics 1986; 4: 493 ～ 507
4. 李士骏．电离辐射剂量学．原子能出版社，981: 143 ～ 152
5. 佐藤健二．医疗器械及医用材料的射线灭菌消毒．辐射应用 1981; 185 ～ 186
6. Chadwick K．辐射测量与质量控制．辐射应用 1981; 256 ～ 261
7. 王月兴，等．不同方向 ^{60}Co γ 射线照射狗体内平均吸收剂量差异及计算．中华放射医学与防护杂志 1987; 7(6): 403 ～ 406
8. Mathews R．Aqueous chemical dosimetry．J Appl Radiat Isot 1982; 11

（收稿：1988.6.25；修回：1988.9.17）

Experimental Research on Quality Evaluation of the Radiation Fields in Medical Application

Zai jiancai，et al

(*Department of Physics，Third Military Medical College*)

The quality of radiation work in medicine is directly related to the quality of a radiation field．A group of experiment parameters for measuring and evaluating the quality and a method for the ralative measuring application of Fricke dosemeter are reported．The result from a practical radiation field according to the design of Department of Physics as a point－source reacting region and a parallel wide beam reacting region is reported．The results are thought to be satisfactory．

Key words：Gamma rays；Radiation monitoring；Evaluation studies

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net