

固定束质子治疗病人摆位系统的精确性评估: 等中心旋转运动

李新平, 曾宪文, 徐文玲, 李家敏, 吕明明

中图分类号: R815 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2005)03-0170-02

【摘要】 目的 评估固定束质子治疗的病人摆位系统等中心旋转运动的精确性。方法 将 2 mm 直径金属小球固定于床面之上并校准到房间等中心(ISO)。依次选择 11 个角度分别对治疗床进行等中心旋转, 到达设定位置后使用数字影像摆位系统(DIPS)分别测算出小球与房间等中心的位移偏差。在不同时间共重复进行了四次测量, 统计分析四组测量结果。结果 所有数据中, 治疗床在 -110° 时发生位移最大, X、Y、Z 轴方向分别是 $(0.29 \pm 0.05)\text{mm}$ 、 $(0.21 \pm 0.04)\text{mm}$ 和 $(-0.21 \pm 0.04)\text{mm}$, 小球与 ISO 总位移偏差 $(0.41 \pm 0.07)\text{mm}$ (ISD)。治疗床在 30° 时发生位移最小(0° 除外), X、Y、Z 轴方向分别是 $(-0.03 \pm 0.05)\text{mm}$ 、 $(0.05 \pm 0.05)\text{mm}$ 和 $(0.00 \pm 0.00)\text{mm}$, 小球与 ISO 总位移偏差 $(0.05 \pm 0.06)\text{mm}$ 。结论 等中心旋转是实现固定束质子等中心多角度照射的关键运动模式。它是一种复杂的组合运动, 包括治疗床床面的角度旋转运动和治疗床底座的水平轴向运动。由于质子治疗对靶灶精确定位的严格要求, 这种组合运动的精度在质子治疗摆位中就显得格外重要。测量结果数据均小于 0.5 mm, 完全满足质子治疗 PPS 摆位精度的要求。

【关键词】 等中心旋转; 病人摆位系统; 固定束流; 质子治疗

The Accuracy Assessment of PPS in Fixed Beam Proton Therapy: Isocentric Rotation Movement. LI Xin-ping, ZENG Xian-wen, XU Wen-ling, et al. *Shandong Zibo Wanjie Hospital. Zibo 255213 China.*

【Abstract】 Objective To assess the accuracy of isocentric rotation movement of Patient Positioning System (PPS) in fixed beam proton therapy. **Methods** A 2mm-diameter radioopaque sphere was positioned above the couch and was aligned to room isocenter (ISO). 11 PPS angles were selected to make isocentric rotation test respectively. The displacement of the sphere to ISO were measured and calculated by Digital Image Positioning System (DIPS) respectively when PPS reached each designed position. Totally four group measurements were repeated at different time. all data were collected and statistical analysis were performed. **Results** The maximum shifts are $(0.29 \pm 0.05)\text{mm}$, $(0.21 \pm 0.04)\text{mm}$ and $(-0.21 \pm 0.04)\text{mm}$ on X, Y, Z axes at -110° PPS position, the absolute displacement of the sphere to ISO is $(0.41 \pm 0.07)\text{mm}$ (ISD). The minimum shifts are $(-0.03 \pm 0.05)\text{mm}$, $(0.05 \pm 0.05)\text{mm}$ and $(0.00 \pm 0.00)\text{mm}$ on three principle axes at 30° PPS position, the absolute displacement of the sphere to ISO is $(0.05 \pm 0.06)\text{mm}$. **Conclusion** The isocentric rotation movement is the linchpin to realize multi-angle isocentric irradiation in fixed beam proton therapy. It is a complicated combined movement including PPS rotation and PPS translations. Since the high demand in the of precision of patient positioning, the accuracy of this combined movement played important role in proton therapy. In our tests, all shifts are less than 0.5 mm, can reach the requirement of positioning accuracy in proton therapy.

【Key words】 Positioning Accuracy; Isocentric Rotation; Patient Positioning System (PPS); Fixed Horizontal Beam; Proton Therapy

质子治疗是当今最先进的外照射放射治疗手段之一。它比光子治疗有更优越的剂量分布, 能够实现高度适形的精确放疗。因为质子束流的陡峭剂量分布特点, 质子治疗的病人摆位必需保证很高的精确性, 病人摆位系统的机械移动精度必需小于 0.1 mm, 治疗时的绝对摆位精度必需在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内^[1-3]。

我们从比利时 IBA 公司引进的质子治疗系统 (PROTEUS 235) 采用 230 MeV 等时回旋加速器, 包括三个等中心旋转机架和一个水平固定束流治疗系统。第一个等中心旋转机架正在进行最后运行调试, 而固定束流系统已于 2004 年 12 月正式投入临床使用。笔者针对其病人摆位系统等中心旋转运动的摆位精度做测试评估。

1 材料和方法

1.1 一般材料介绍

1.1.1 病人摆位系统 (Patient Positioning System, PPS) 主要由治疗床和计算机控制系统组成。治疗床实际上是一台特制的机器人, 能在计算机控制下精确进行六自由度空间运动, 即空间三个轴的位移 (横向、纵向、垂向) 和空间三个轴的绕轴旋转 (旋转、倾斜、翻滚)。

1.1.2 数字影像摆位系统 (Digital Image Positioning System, DIPS) 主要包括双正交 X 光球管 (Varian A277/A278)、数字影像接收板 (Varian Paxscan4030) 及工作站软件 VIVA。①球管 1 安装在治疗头内, X 射线与质子束流中心轴都校准于房间 X 轴; 球管 2 安装在治疗头侧方与球管 1 成 90 度正交, X 射线中心轴校准于房间 Y 轴。X 轴与 Y 轴交点为房间的等中心 (ISO)。②数字影像接收板上固定有两条垂直相交的细金属丝, 金属丝和交叉点已分别校准到房间的坐标轴和等中心上,

因此成像时金属丝交叉点即代表 ISO。③工作站软件 VIVA 是用来实时采集数字成像接收板上的 X 射线图像并可将图像进行编辑、处理和分析。(参见图 1 图 2)。

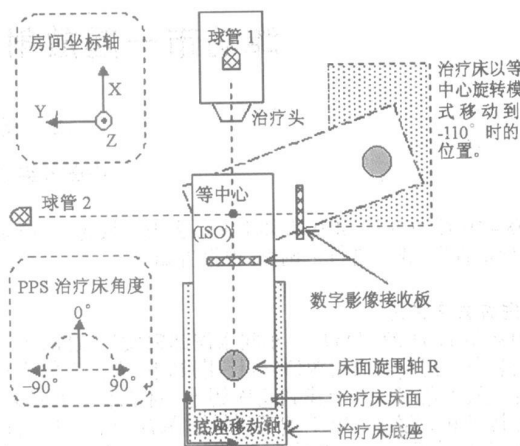


图 1 固定束流治疗室 PPS 俯视平面结构图

1.2 测量方法 ①在 PPS 治疗床 0 度 (初始摆位位置) 将一带杆 2 mm 直径金属小球固定于床面上接近 ISO 处并在激光灯参考下移动治疗床将小球粗略校准到 ISO。②球管 1 和球管 2 分别曝光, 实时采集图像, 利用 VIVA 软件测算出小球中心点到金属丝交叉点 (ISO) 的三维位移差值并输给 PPS 控制系统驱动治疗床自动完成移动校准。③再次分别曝光球管 1 和球管 2, VIVA 进行验证, 确保小球已完全校准到 ISO。否则重复第二步。④在治疗床旋转角度允许范围内 ($-110^\circ \sim 110^\circ$) 依次选择 -110° 、 -90° 、 -60° 、 -45° 、 -30° 、 0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° 、 110° 共 11

个角度分别对治疗床进行等中心旋转运动。当治疗床到达指定位置后,球管 1 和球管 2 依次曝光,VIVA 分别测算出小球中心点到 ISO 的三维位移差值。⑤在不同时间共重复进行了四次上述测量,得到四组数据,统计分析测量结果。

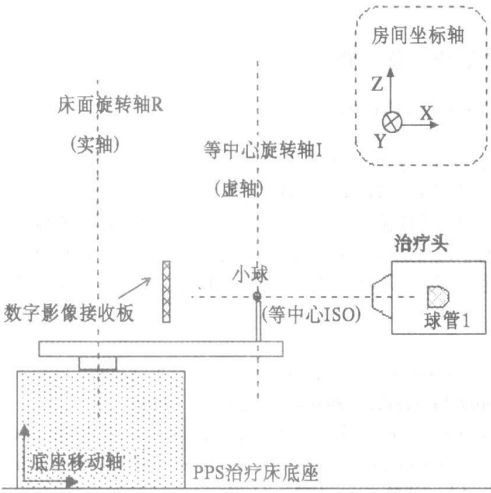


图 2 固定束流治疗室 PPS 侧方剖面结构图

2 结果

详细数据见表 1。治疗床在-110°时发生位移最大,X、Y、Z 轴方向分别是(0.29±0.05)mm、(0.21±0.04)mm 和(-0.21±0.04)mm,综合位移偏差是(0.41±0.07)mm(1SD)。治疗床在 30°时发生位移最小(0°除外),X、Y、Z 轴方向分别是(-0.03±0.05)mm、(0.05±0.05)mm 和(0.00±0.00)mm,综合位移偏差是(0.05±0.06)mm。所有数据均小于 0.5 mm。完全满足质子治疗 PPS 摆位精度的要求。

表 1 固定束流治疗室 PPS 等中心旋转位移偏差(1 个标准差)

PPS 治疗床角度	球管 1 (数字影像接收板 1)		球管 2 (数字影像接收板 2)	总位移偏差(mm) $\sqrt{x^2+y^2+z^2}$
	Y 轴位移(mm)	Z 轴位移 (mm)	X 轴位移 (mm)	
-110	0.21±0.04	-0.21±0.04	0.29±0.05	0.41±0.07
-90	0.11±0.04	-0.11±0.04	0.29±0.05	0.33±0.07
-60	-0.07±0.04	-0.05±0.05	0.24±0.05	0.25±0.08
-45	-0.14±0.05	-0.02±0.04	0.19±0.05	0.23±0.08
-30	-0.21±0.04	-0.02±0.04	0.11±0.00	0.23±0.06
0	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
30	0.05±0.05	0.00±0.00	-0.03±0.05	0.05±0.06
45	0.07±0.04	0.00±0.00	-0.03±0.05	0.07±0.06
60	0.11±0.04	0.02±0.04	-0.03±0.05	0.12±0.07
90	0.21±0.04	0.07±0.04	-0.05±0.05	0.22±0.08
110	0.27±0.00	0.09±0.00	-0.05±0.05	0.29±0.05

注:两个数字影像接收板(球管 1 和球管 2)都能测量到小球在房间 Z 轴(垂直轴)方向的位移,这里采用从球管 1 来的 4 组数据。

3 讨论

为了得到更好的剂量分布,3D 适形放射治疗需要束流能从不同角度照射靶灶,这就要求治疗头能够绕靶灶为中心进行成角度旋转^[4,5]。质子治疗的等中心旋转机架可以实现这种要求,患者固定在治疗床上保持不动,旋转机架载动治疗头绕患者身体长轴做等中心旋转,射束就可以从任意角度对患者体内靶灶进行治疗^[6,7]。世界上第一个等中心旋转机架质子治疗于 1991 年在美国罗玛林达大学医学中心(LLUMC)启用。由于等中心旋转机架造价昂贵,至今世界上绝大多数质子治疗机构仍然只有固定束流^[8]。

固定束流因为治疗头不能运动,为实现多角度等中心照射目的,就要求患者做相对于治疗头的旋转成角运动。即在保持患者体内靶灶等中心(ISO',也是本测量中小球的中心点)与房间等中心(ISO)重合的前提下,PPS 治疗床载动患者做相对于治疗头的旋转成角运动,以保证射束能从不同角度照射体内靶灶。这种运动方式便是等中心旋转运动。这是一种很复杂的

组合运动:PPS 运动的机械旋转轴是床面旋转轴“R”(实轴),而等中心旋转运动模式要求治疗床床面必须绕等中心旋转轴“I”(虚轴,也是房间的 Z 轴)进行角度旋转。因此在床面旋转时治疗床底座也必须配合相应的水平轴向运动,才能保证 ISO' 与 ISO 的重合。从图 1 可以看出,当治疗床以等中心旋转模式移动到-110°位置时,ISO' 与 ISO 仍保持重合,但治疗床床面和治疗床底座的实际位置都已经发生了很大的移动变化。

PPS 的摆位精确性仅靠组合运动的准确实现是远远不够的,还必须考虑到以下情况。负荷不同体重的患者时,治疗床的应力变化也不同。即使是同一患者,当治疗床底座和床面处在不同位置或因摆位校准时带有一定角度(±3°以内)的倾斜(Pitch)和翻转(Roll)时,治疗床的应力变化也都不相同。这种即便细微的应力变化也会对 PPS 各机械部件与运动节点间的几何关系造成影响,从而使 ISO' 位置发生偏差。因此必须要有先进的技术来对这种偏差进行自动探测和校正以保证 PPS 的摆位精度^[9]。这种技术就是几何和弹性补偿校正技术(Geometric and Elastic Error Compensation GEC)。PPS 的研发者美国麻省理工学院、哈佛大学麻省总医院、General Atomics 和 IBA 在这方面有很多专门的系统评估和资料论证^[10-13]。笔者将就这一技术另做专门论述。

当患者平躺时,治疗床的等中心旋转可以用来对一些头部肿瘤进行多野成角度照射,还可以对一些体部(如前列腺)肿瘤进行身体左右两侧的对穿照射^[14]。但更常用的方式是在治疗床前端安装一个治疗椅,使患者可以采用坐姿治疗。这样当治疗床载动治疗椅进行等中心旋转时,治疗头就可以相对于患者身体的长轴进行旋转,对头颈部及一些体部肿瘤的治疗就有更大的灵活性^[3,8,15,16]。

固定束流的主要缺点是治疗时患者体位的限制。因为计划系统使用的图像来源于 CT,CT 扫描时患者是平躺仰卧位。而实际治疗中如果采用仰卧位,则因为射束不能相对于患者身体长轴成角度旋转照射使治疗大受限制。安装治疗椅采用坐姿治疗能有效解决等中心旋转成角度照射的问题,但必须考虑到因患者由仰卧变成坐姿造成的体内脏器移动对治疗定位的影响。因此,一般坐姿治疗多用于对眼部和头颈部这些可以忽略体位变动影响的部位进行质子治疗^[3,8]。

由于固定束流室治疗头不能旋转,因此 PPS 必须做相对于治疗头的等中心旋转运动才能实现质子射线对靶灶的等中心多角度照射,等中心旋转是实现这个目的的关键运动模式。由于质子治疗对靶灶精确定位的严格要求,这种组合运动的精度在质子治疗摆位中就显得尤为重要。文中测量结果数据均小于 0.5 mm,完全满足质子治疗 PPS 摆位精度的要求。当然在我们的实际治疗中,还要利用先进的电子射野成像技术(EPIDs)通过数字病人摆位系统(DIPS)来实现精准摆位的最终校准和验证。

(王付刚、侯尚杰、王红卫及 IBA 的 Rudi Labarbe 先生参加了部份工作,在此表示感谢!)

参考文献:

[1] Yokohama N, Kagiya G, Maruyama I, et al. New patient positioning system for proton therapy combined with CT with a common treatment couch[J]. Nippon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi, 2003, 59(11): 1432-1437.

[2] Jacob Van Dyk. The Modern Technology of Radiation Oncology [M]. Medical Physics Publishing, Madison, WI 1999. 824-867.

[3] Wioletta Wieszczycka, Waldemar H. Scharf. Proton radiotherapy accelerators[M]. World scientific publishing Co. Pte. Ltd. 2001, 204-863.

[4] Donald W. Kufe. Cancer medicine 6[M]. Hamilton, Ont. BC Decker, 2003. 585-588.

[5] Karger CP, Hartmann GH, Heeg P, et al. A method for determining the alignment accuracy of the treatment table axis at an isocentric irradiation facility[J]. Phys Med Biol., 2001, 46(1): 19-26.

[6] A. Molodjontsev, V. Makoveev, V. Minashkin, et al. Dedicated Proton Accelerator Complex for a Comprehensive Oncology centre [M]. Proceedings of EPAC 2000, Vienna, Austria. 2536-8.

[7] L.G. Vorob'ev, M. Pavlovic, et al. Conceptual and Ion-Optical

利用壳状地衣监测陆地环境中¹³⁷Cs 活度浓度的研究杜春光¹, 张 京², 李文红², 徐翠华², 赵 焱¹

中图分类号: R145 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2005)03-0172-02

【摘要】目的 比较壳状地衣与其他环境样品中¹³⁷Cs 活度浓度差异, 分析壳状地衣作为敏感的生物指示剂监测陆地环境中¹³⁷Cs 活度浓度的可行性。方法 运用美国 ORTEC 公司生产的 ADCAM-100 超低本底 γ 谱仪对样品进行¹³⁷Cs 测定, 其探测器为高纯锗同轴探测器。结果 壳状地衣体中¹³⁷Cs 活度浓度值比土壤表层中的¹³⁷Cs 活度浓度值高出一个数量级, 比粮食、蔬菜、水果和蛋奶肉品中¹³⁷Cs 活度浓度值高出三个以上数量级。结论 壳状地衣具有分布广泛、生长周期长、通过其表面积从大气中吸附获取营养物质等特征, 因此, 壳状地衣是监测环境中¹³⁷Cs 核素远距离传输及其活度水平的敏感指示剂。

【关键词】壳状地衣; 敏感指示剂; ¹³⁷Cs 活度浓度

Research on Monitoring Caesium-137 Radiation Level of Land Environment by Crustaceous Lichens. DU Chun-guang, ZHANG Jing, LI Wen-hong, et al. *School of Geography, Beijing Normal University, Beijing, 100875, China.*

【Abstract】objective The activity of caesium-137 (Bq/kg) in the crustaceous lichens and other samples were determined to testify the feasibility, of which crustaceous lichens worked as a sensitive biology monitor to record the caesium-137 (Bq/kg) radiation level of land environment. Methods The measurements were performed by GEM series HPGe (high-purity Germanium) coaxial detector system (ADCAM-100) made by EC & G ORTEC Company in USA. Results It was found that the activity of caesium-137 (Bq/kg) in the crustaceous lichens was one order of magnitude higher than that found in surface soil, and was over three orders of magnitude higher than those found in corn, vegetable, fruit, eggs, milk and meat. Conclusion The crustaceous lichens grow in most places, their growth period is long, and they adsorb the nutrition from the atmosphere by their surface, which prove crustaceous lichens may be one of the most sensitive biological monitors of caesium-137 remote transmission and environmental radiation level.

【Key words】Crustaceous Lichens; Sensitive Monitor; Activity of Caesium-137.

放射性核素¹³⁷Cs 是人工核爆炸和核反应堆发生泄漏后的主要释放物, 其半衰期为 30.17 a, 产生源地主要是北半球中高纬度和南半球的澳大利亚中部地区^[1, 2]。由于¹³⁷Cs 具有较长的半衰期, ¹³⁷Cs 可以通过大气环流做长距离扩散, 并以湿沉降和干沉降方式降落至地表, 然后¹³⁷Cs 迅速而牢固地被生物、土壤细粒和水体所吸附^[3]。由于长期的核试验和人类核活动的影响, 已经形成了全球性的人工核素¹³⁷Cs 的地表污染。王沙陵等 2001 年的研究结果表明, 中国陆地¹³⁷Cs 的 γ 辐射剂量均值在 $(7 \sim 18) \times 10^{-10} \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间, 约占陆地总 γ 辐射剂量率的 1%~3%, 与其他任何一种天然放射性核素的贡献相接近^[4]。因此, 有效监测环境中¹³⁷Cs 的活度浓度, 对于了解因人类核活动

可能造成的环境 γ 辐射水平的附加剂量是必要的。朱昌寿 1994 年研究指出, 由于当前环境介质(土壤与水)与食品中人工放射性核素水平很低, 若无限加大样品采样量、延长测量时间、研制更低本底的测量仪器可以测出更低活度浓度的核素, 但从大范围监测角度要花费大量经费和力量不一定是最可取的方案^[5]。通过实验测量, 分析了在全球陆地广泛分布、易于采集的壳状地衣作为监测环境中¹³⁷Cs 活度浓度敏感监测剂的可行性。

1 实验

利用 1993 年在中国南极长城站地区采集的壳状地衣、枝状地衣、苔藓和表层土壤样品, 共计 7 个南极环境样品, 其样品采集点的地理位置如表 1 所示。所有样品及时在南极长城站实验室 105℃烘干 24 h, 然后研成粉末状, 分别装入聚乙烯袋中密封保存。1994 年又在远离人类工业活动的河北省雾灵山国家级自然保护区裸露的花岗岩山坡、河南省浉川县南村黄河南

基金项目: 科技部 2000 年社会公益研究项目(2000DIB40144)

作者单位: 1 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

作者简介: 杜春光(1978~), 女, 吉林省人, 北京师范大学硕士, 研究方向: 环境放射性监测。

Design of an Isocentric GANTRY for Light Ion Cancer Therapy [R]. Report GSI 98-02, 1998.

[8] Hans Bräuer, Berend J. Smit. Proton therapy and radiosurgery [M]. Berlin, New York: Springer, 2000, 95-96.

[9] Marco A. Meggiolaro, Peter C. L. Jaffe, Steven Dubowsky. Achieving Fine Absolute Positioning Accuracy in Large Powerful Manipulators [M]. ICRA, 1999: 2819-2824.

[10] Meggiolaro, M. A., Dubowsky, S., Mavroidis, C. Error identification and compensation in large manipulators with application in cancer proton therapy [J]. *Sba Controle & Automa*, 2004, 15 (1): 71-77.

[11] Drouet, P., Dubowsky, S., Zegloul, S., et al. Compensation of Geometric and Elastic Errors in Large Manipulators with an Application to a High Accuracy Medical System [J]. *Robotica*, 2002, 20(3): 341-352.

[12] Drouet, P., Dubowsky, S., and Mavroidis, C. Compensation of Geometric and Elastic Deflection Errors in Large Manipulators Based on Experimental Measurements: Application to a High

Accuracy Medical Manipulator [Z]. Proceedings of the Sixth International Symposium on Advances in Robot Kinematics, Strobl, Austria, June 1998, 513-522.

[13] J. Flanz, K. Gall, M. Goitein, et al. Design Approach for a Highly Accurate Patient Positioning System for NPTC [Z]. Proceedings of the PTCOG XXV and Hadrontherapy Symposium, Belgium, 1996, 1-5.

[14] Kerry L. Wright, Dawn Chalaire. New Proton Therapy Center to Deliver Radiation with Precision, Few Side Effects [J]. *Oncolog* 2003, 48(6).

[15] Cirrone G. A. P., Cuttone G., Lojaco, R. A., et al. A 62 MeV proton beam for the treatment of ocular melanoma at Laboratori Nazionali del Sud-INFN (CATANIA) [Z]. Nuclear Science Symposium Conference Record, 2003 IEEE, 5, 3658-3662.

[16] G. Cuttone, G. A. P. Cirrone, N. Romeo, P. A. Lojaco, et al. The CATANA proton therapy beam delivery system [Z]. XXXVI PTCOG MEETING, Catania, Italy, 2002.

(收稿日期: 2005-03-24)