

重离子治癌中的三维剂量成形方式*

李 强 卫增泉

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘 要 介绍了重离子治癌装置 HIMAC 和 HITAG 的三维剂量成形方式;对一种正在设计中的重离子对肿瘤的照射方式进行了分析,旨在为 HIRFL 及 HIRFL-CSR 所提供的离子束设计三维剂量成形方案.

关键词 重离子治癌 三维剂量成形 Bragg 峰 适形照射

分类号 O59

1 引 言

肿瘤放射治疗对癌症部位器官和功能的保留有着重要意义.然而,常规辐射(如 X 射线、 ^{60}Co γ 射线、电子束等)的治疗存在某些固有的不足,这是由于这些辐射并非剂量局域沉积和耐辐射肿瘤的存在而致.重离子放射治疗就克服了上述常规辐射的不足,因而世界上各主要发达国家如美、日、德等对重离子治癌研究都非常重视.重离子应用于放射治疗的优势,主要体现在两个方面^[1]:(1)重离子与物质相互作用的物理学性质,重离子辐射能量局域沉积,沿其径迹的能量沉积出现高剂量的 Bragg 峰,坪区与峰区的传能线密度(LET)显著不同;(2)能量已定的重离子具有确定的射程,在沿其行进的路径上,横向和纵向的位置离散均很小.因而可以通过调节重离子的入射能量,来改变其在组织中的射程,使得重离子的高剂量 Bragg 峰区落在肿瘤所在的部位.另外,重离子作用于生物组织的效应与其它常规辐射生物学效应显著不同,主要为:(1)重离子高的 LET 导致高的相对生物学效应(RBE);(2)氧增比(OER)减小;(3)细胞辐射损伤的修复减小;(4)各周相细胞辐射敏感性差别减小等.

2 三维剂量成形方式

正是由于重离子在放射治疗中的独特优

势,各国对重离子放射治疗都非常重视.尽管美国由于伯克利实验室高能重离子加速器 Bevalac 于 1993 年关闭,使得重离子治癌暂停,但其对先前接受重离子治疗的肿瘤患者后效应的跟踪研究仍在继续^[2].日本 1984 年就提出在日本国立放射医学综合研究所(NIRS)建造一台重离子医用加速器 HIMAC,专门用于重离子治癌及放射医学研究.HIMAC 治疗装置主要包括束流传送及辐照系统、病人定位系统和治疗方案系统,其离子束种类是 $^4\text{He}\sim^{40}\text{Ar}$,束流强度为 $10^7\sim 10^{10}$ pps,最大能量可达 800MeV/u,剂量率控制在 5Gy/min 左右^[3].1994 年 6 月 21 日,HI-MAC 接受了第一批病人的治疗^[4],到 1996 年 10 月,已治疗肿瘤患者 150 例,其中包括头颈部肿瘤、脑瘤、肺癌、肝癌、前列腺癌及宫颈癌,取得了良好的疗效,肿瘤生长抑制率很高.HIMAC 所采用的重离子束三维剂量成形方式,为一种被动方式(Passivemethod).首先由双散射系统形成大且均匀的照射场,最大束斑直径可达 22cm^[3],利用降能装置改变离子在身体组织内的射程,使重离子的 Bragg 峰落在肿瘤所在的部位,并使用射程调制器对 Bragg 峰进行展宽,以适应一定厚度的肿块;通过多叶准直器来限制重离子束的照射野,使照射野与肿瘤某一横断面上的轮廓共形,然后对整个肿瘤进行逐层照射.所有这些动作,都是由事先设计好的计算机程序控制降能装置及多叶准直器来

* 国家科委攀登计划(B)项目,项目编号 950603
1997-04-04 收稿.

完成. 一般说来, 都是由肿瘤的最深层切片向最浅层切片逐层照射. 有时为了节省调节降能装置及多叶准直器的时间, 还使用根据特

定病人肿瘤大小及形状而设计的补偿器. 这种被动的剂量成形方式如图 1 所示.

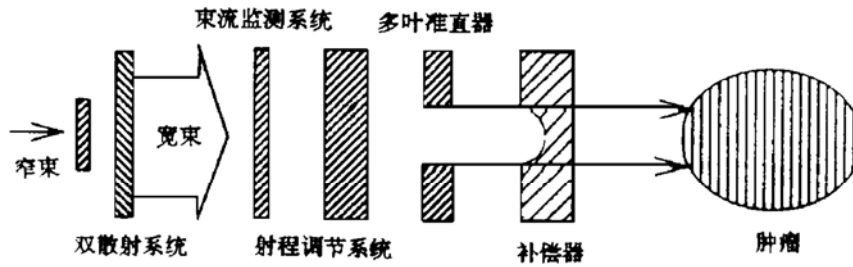


图 1 HIMAC 装置中被动方式的三维剂量成形系统

在欧洲, 重离子治疗装置(HITAG)已在德国 GSI 建成, 它采用了先进的三维光栅磁扫描系统, 达到了重离子辐射场与肿瘤共形放射治疗^[5]. 这种适形治疗技术, 能精确地实现将重离子剂量照射到整个肿瘤体积上, 束流的截面和贯穿深度两者精密地与医生确定的肿瘤体积共形. GSI 目前已完成了先期的放射物理及放射生物学基础研究, 获取了临床治疗中所必须的基础数据和治疗经验^[6]. 计划于 1996 年底接受肿瘤患者进行重离子放射治疗. 欧洲的研究与治癌欧洲联盟(E-ORTC)已向欧共体申请, 要在医院建造一台欧洲轻离子医用加速器(EULIMA), 但至今只进行了概念性的设计, 由于种种原因仍未启动. 意大利 Legnaro 国家实验室也计划建立更大规模的重离子治疗装置, 以便使更多患者有机会在放射物理及放射生物学均具有独特优越性的放射治疗中心接受治疗^[1]. 该实验室在剂量成形的研究中着重开展了一些线扫描和点扫描技术的基础性研究. GSI 采用的光栅磁扫描三维剂量成形系统, 最优化的利用了重带电粒子的物理特性^[5], 它实际上是一种主动方式的三维剂量成形方式, 两组相互垂直的偏转磁铁用来控制束流的横向位移, 通过加速器自身改变束流能量来调节入射离子在病人体内的贯穿深度, 因而这对加速器的性能要求很高. 治疗中, 将肿瘤划分为等间距的片层, 由快变化的偏转磁铁引导束流从最深的片层开始照射, 束流以光栅方

式扫描每一片层, 每一扫描线又被划分为独立的光点, 当束流照射某一光点达到事先计算好的剂量值时, 束流又被引向下一个光点. 为确保照射剂量的准确, 随时监测束流强度及束流位置, 并以束流强度的变化控制光栅扫描的速度. 这种磁扫描方式如同电视机里电子束在荧光屏上的成像原理, 如图 2 所示.

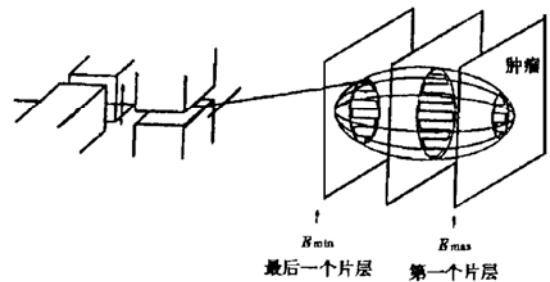


图 2 HITAG 装置中主动方式的三维剂量成形系统

世界上目前已运行的离子束治癌装置(包括质子治癌装置)无不例外地都采用了主动和被动这两种方法, HIMAC 和 HITAG 是被动和主动方式三维剂量成形方法的典型代表. 而这两种剂量成形方式都有其共同的理论基础, 即采用重离子深部剂量分布模型. NIRS 和 GSI 在 1993 年联合建立了计算它们的加速器所能加速能量(100MeV/u ~ 800MeV/u)的离子深部剂量分布模型, 这一模型主要考虑了离子在与组织的相互作用中核反应对深部剂量分布的影响. 正是由于核反应中碎片的产生使得重离子照射野内和照射野的边缘形成不均匀的剂量分布区, 因而深部剂量分布理论模型可有助于近物所开展

的离子束三维剂量成形的研究.

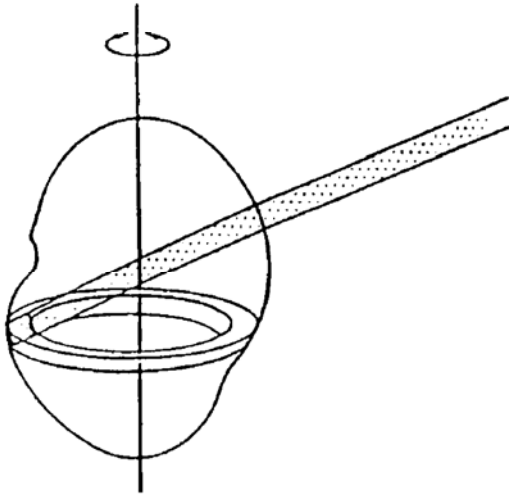


图 3 构思与设计中的调整肿瘤方位的照射方式

可以看出,被动和主动方式的剂量成形方法,都是将束流纵、横两方向扩展,由平面到整体的治疗方式,比较直观,具有较好的可操作性,都可归为对束流调制进行适形照射这一大类.但其最大的缺点是每次照射只能在同一个方向进行,虽然单个 Bragg 峰剂量分布很好,但为进行不同深度的立体治疗,纵向展宽 Bragg 峰后,照射路径中的正常组织受到的剂量经多次叠加,其所受剂量与肿瘤部位的剂量比例也大大提高.深圳 OUR 公司质子治疗项目研讨会上交流的论文^[7]表明,已有一种称为“质子刀”的质子束对肿瘤的适形照射方式在构思与设计之中.这种方式并不对束流进行过多的调制,而是结合对病人各种扫描诊断图像所显示的体内肿瘤的位置,精确地定出体内肿瘤的方向、深度、角度及其形状、位置以后,不用将束流进行扩展,直接将质子束流入射到肿瘤表层,然后将肿瘤体相对束流入射方向进行不断地调整,利用 Bragg 峰作为“刀刃”,一圈一圈围绕肿瘤的表面进行照射.调整过程中,根据肿瘤的深度不断调节 Bragg 峰的深度.一层照射完后,再深一层进行照射,这样一层一层直至将肿瘤彻底照完,如图 3 所示.显然采用重离子束对肿瘤进行照射,可获得较质子更高的焦皮比和更高的治疗增益,并且这种照射方式

对加速器及其所提供的离子束的要求并不高,因而在 HIRFL 及拟建的 HIRFL-CSR 实现重离子治癌中,应着重考虑这种调整肿瘤方位的三维剂量成形方式.通过对肿瘤的旋转与移位,将原来在一个方向正常组织所受的剂量均匀分散到肿瘤周围的各个方向上的组织,这样每个方向上正常组织所受的剂量比较小,而肿瘤处的剂量大大提高,有可能实现只需一次照射治疗,即可杀死癌细胞.

3 结束语

在我国,国家科委 1995 年已将“重离子治癌技术基础研究”列入国家攀登计划(B)项目,兰州重离子研究装置(HIRFL)已具备了开展这一领域工作的初步条件,并且已取得了一些放射物理与放射生物学的基础数据,为以后的临床研究打下了坚实的基础.但对于临床应用,HIRFL 所加速离子的能量显然是低了,只有在拟建的冷却储存环(HIRFL-CSR)建成后,才能满足我国重离子治癌的基本要求.希望国家能在这一有应用前景的领域给予支持,不失时机地开展这项工作,赶上世界水平,为中国人民造福.

参 考 文 献

- 1 卫增泉.核物理动态,1994.11(3):44~49
- 2 Joseph R, Castro et al. Book of Abstracts. 5 th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine, GSI, Darmstadt, Aug. 23~25, 1995, 231
- 3 Kawachi K. J Jpn Soc Ther Radiol Oncol, 1989, 1(1): 19
- 4 Tsujii H. Book of Abstracts. 5th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine, GSI, Darmstadt, Aug. 23~25, 1995, 167
- 5 GSI-Nachrichten4/96, 16
- 6 Kraft-Weyrather W. Book of Abstracts. 5th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine, GSI, Darmstadt, Aug. 23~25, 1995, 145
- 7 宋世鹏. OUR 质子刀治疗方式. 奥沃国际质子治疗项目研讨会材料, 深圳, 1996, 10

Three—dimensional Dose Shaping Method in Radiotherapy with Heavy Ion

LI Qiang WEI Zengquan

(*Institute of Modern Physics ,the Chinese Academy of Sciences , Lanzhou 730000*)

Abstract Three-dimensional dose shaping methods in heavy—ion therapy facilities, HIMAC and HITAG are introduced. A new tumor irradiation pattern with heavy-ion beam which is being designed is analyzed. It aims at choosing suitable three-dimensional dose shaping planning for heavy-ion beam supplied by HIRFL and the proposed HIRFL-CSR.

Key Words heavy ion radiotherapy three dimensional dose shaping Bragg peak conform irradiation

(上接第 250 页)

and Medicine, GSI, Darmstadt, Aug. 23~25, 1995

- 14 Katz R. Track Theories in Radiobiology, Book of Abstracts, Fifth Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine, GSI, Darmstadt, Aug. 23~25, 1995

- 15 Goodhead DT. Physics of Radiation Actions: Microscopic Features that Determine Biological Consequences. Proceeding of Tenth International Congress of Radiation Research, V2, Congress Lectures, Wurzburg, Germany, Aug. 27~Sep. 1, 1995

Progress of Radiation Weighting Factor and Radiation Damage Model of Heavy Ions

ZHANG Chunxiang LIU Xiaowei

(*Department of Physics ,Zhongshan University, Guanzhou 510275*)

Abstract Based on the fifth workshop on heavy charged particles in biology and medicine and the 10 th international congress of radiation research, the biological effects of heavy ions and biophysical models of heavy ions are discussed.

Key Words heavy ion radiation weighting factor biophysical model