

文章编号: 1007-4627(2005)01-0044-03

肿瘤治疗的重离子束物理性质研究*

党秉荣, 李文建, 马秋峰, 李 强, 周光明, 王菊芳, 郝冀芳

(中国科学院近代物理研究所, 甘肃 北京 730000)

摘 要: 重离子在肿瘤治疗方面的优势主要是由于其优越的物理性质, 因此, 研究其与生物体相互作用也就成为肿瘤治疗中的基本课题, 介绍一些研究结果来解决人们关心的问题.

关键词: 重离子束治疗; 物理性质; 肿瘤

中图分类号: TL99 **文献标识码:** A

1 前言

由于重离子束具有优越的剂量分布, 因此, 对集中照射瘤体、保护正常组织十分有利. 重离子束被认为是面向 21 世纪最理想的放疗用射线. 然而重离子在组织中沿射程的核反应减弱了主束, 同时也产生了一些低 Z 的核碎片等其它产物, 对物理学及生物学特性产生了新的影响. 许多实验表明, 不同品质的辐射和不同的剂量在生物体中会产生不同的生物学效应, 因而核碎片产生的生物学效应是不同于主束的. 沿射程产生的核碎片特点是利用重离子束治疗肿瘤和开展其它辐射生物学研究工作的基本物理数据之一. 日本 NIRS 和德国 GSI 在 1993 年联合建立了 100—800 MeV/u 重离子的深度剂量分布计算模型(也称 Bragg 曲线计算模型)^[1]. 这一模型主要考虑了离子射程歧离效应以及离子在与组织相互作用中核反应所致的主束衰减及次级碎片粒子对深部剂量分布的影响. 为此他们进行了大量实验^[2-5]. 他们正是利用了重离子束的深度剂量分布理论指导着放射物理、放射生物学实验、适形治疗的设计及放射治疗等的实践. 而在中能区(能量小于 100 MeV/u)内这方面的工作开展很少, 因此, 本文以中能区重离子在生物等效材料不同深度产生的次级碎片为基础数据, 为浅层重离子治疗等领域解决一些深层次问题, 并结合此研究介绍其它研究结果.

2 离子在生物等效材料中不同角度的核碎片

实验是在 HIRFL 的辐照实验终端上利用 55 MeV/u 的 $^{40}\text{Ar}^{17+}$ 进行的. 离子束经 25 μm 的 Ni 窗(其作用是将真空和大气隔开)、平行板空气电离室(监测束流强度)、约 10 cm 的空气、1.5 mm 有机玻璃和包裹在探测器前的 2 μm 厚的铝箔后被探测器探测, 其中有机玻璃即为模拟的等效生物材料靶, 进入靶的能量约为 53.6 MeV/u. 为了模拟实际用于辐射生物学效应研究的条件, 实验中将探测器系统放置在空气中测量, Phoswich 探测表面离有机玻璃上的束流靶点约为 100 cm. 为了避免光在实验过程中用黑布将探测器系统包裹在里面, 以保护光电倍增管. 采用 GOOSY 获取系统获取实验数据. 利用 CERN 的 Paw 数据处理软件处理实验数据.

5°, 7.5°和 9.8°3 个角度的测量数据的比较表明: 重离子束在生物体中穿行时与生物组织产生了核反应, 这些核反应主要是弹核碎片. 随角度的增大, 产生的碎片种类依次减少; 从另一角度说明碎片也主要集中在较小的立体角范围内. 这些碎片的产生在生物学意义上却有重要的价值, 表明它们减弱了主束, 因而减弱了主束对生物体的剂量贡献. 同时这些碎片也对生物体产生不同的剂量. 辐射生物学效应研究表明, 不同品质的辐射会对生物产生

收稿日期: 2004 - 08 - 31; 修改日期: 2004 - 10 - 26

* 基金项目: 中国科学院“西部之光”基金资助项目(XB040602); 甘肃自然科学基金青年基金资助项目(3ZS041-A25-025); 国家自然科学基金重点资助项目(10335050); 科技部十五重大专项基金资助项目(2003CCB00200)

作者简介: 党秉荣(1965-), 男(汉族), 陕西蒲城人, 博士, 副研究员, 从事重离子辐射生物及应用研究;

E-mail: dangbr@impcas.ac.cn

不同的生物学效应, 因此, 计算重离子束在生物体中的剂量-深度曲线时, 应考虑碎片对它的减弱效应和碎片对其剂量的贡献作用. 另外, 由于这些重离子产生的弹核碎片与主束具有相同的速度, 它们自身产生的剂量-深度曲线的深度将比主束的宽, 这将延伸作用的深度, 从而影响辐射治疗的精度, 这些还有待进一步的研究.

对 5° , 7.5° , 9.8° 三角度依次从小角度到大角度计算碎片总剂量与主束剂量的比值为: 1.1×10^{-6} , 3.45×10^{-8} 和 1.56×10^{-10} .

3 理论计算

由于不同生物组织的成分变化很大, 为此通常选取一种较为简单的介质来等效生物组织, 选取原则是这种介质在生物体内具有普遍性. 而且辐射对它的原始作用(间接作用或直接作用)是引起生物体细胞损伤的主要原因. 为了简化放射物理学、放射生物学以及放射治疗学中的一些理论和计算, 在目前广为开展的研究中, 都是将生物组织等效为水介质. 通过以上讨论可以有充分理由以水介质为基础理论模型, 其计算结果基本上反映了重离子束在生物组织中的行为.

从计算结果(见图 1)看, 核碎片的贡献占的比重不太大, 但其射程远, 这在应用重离子治疗肿瘤

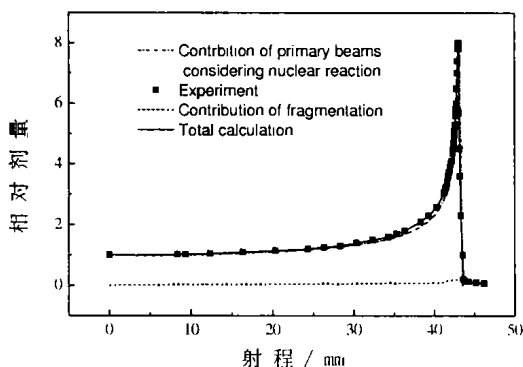


图 1 考虑能量和射程歧离、核反应和碎片的情况下, $135 \text{ MeV/u } ^{12}\text{C}$ 离子在水中的深度剂量曲线, 理论结果与实验结果的比较

参考文献:

[1] Birge A C. Heavy Charged Particle Beams, In: Radiation Dosimetry. New York: Academic Press Inc, 1956, 623.

中是不利的. 所以应在保持高生物学效应的情况下尽量用较轻的离子, 以减少次级碎片的效应.

4 中子防护问题

束流强度由一空气电离室监测, 其收集的电流通过束流积分仪和计数器记录. 探测器用金属 Al 制成 $\phi 20 \text{ mm}$ 、厚度为 5 mm 的圆片, 实验前对其进行称重并用无水乙醇清洗后, 装入清洁的样品袋中. 束流经 $24 \mu\text{m}$ 的 Ni 窗(作用是将束流真空管道与空气隔开, 同时它也成为离子轰击的主要靶)从束流管道引出. 0° 角被生物实验样品占据, 所以实验中 Al 探测器放置在距窗 25 cm 处的其它角度上.

活化样品的测量采用高纯锗探测器, 用带自动解谱程序的 ORTEC7051 多道分析系统测量分析. 测量前, 对系统进行了能量刻度. 对 $1.369 \text{ MeV } \gamma$ 射线的探测效率为 1.85% [6].

同时对系统的稳定性进行了测试, 结果表明系统是稳定的.

由于中子的角分布是前冲的, 因而大角度的中子产物少, 所以在数据处理中采用对大角度的活化片先测量的方法. 这样可以提高实验中小角度的测量计数, 减少统计误差. 通过计算 $75 \text{ MeV/u } ^{16}\text{O}$ 和 ^{12}C 离子在辐照生物实验区 0° 的剂量率分别为 409 和 300 Gy/s ; 而产生的中子剂量率分别为 1.38×10^{-4} 和 0.036 Gy/s . 在主束方向 0° 中子产生的剂量贡献与主束剂量 0° 的比分别为: 3.36×10^{-7} 和 1.2×10^{-4} . 因此可以认为中子对实验样品的影响很小.

5 结论

以上研究成果表明重离子产生的核碎片、中子等在肿瘤治疗中影响很小, 但低 Z 的核碎片具有较长的射程, 因此, 在照射野选择中要注意. 这些研究仅仅是一个基础, 肿瘤治疗重离子束物理性质研究还有许多工作要做.

[2] Tsujii H. Book of Abstracts, 5th Workshop on Heavy Charged Particles in Biology and Medicine. Darmstadt, Germany: GSI,

1995, 167.

[3] Kraft G. Radiobiology of Heavy Charged Particles, 1996, GSI Reprint, 96—60.

[4] Hirao Y I. HIMAC001, Dec. 1992, 1—38.

[5] Kraft G. What Kind of Radiobiology Should Be Done at a Hadron Therapy Center, 1997, GSI Reprint, 9705.

[6] 李桂生, 王 经, 赵彦森等. 核技术, 1993, 16: 547.

Physics Quality of Heavy Ions Beam with Tumor Therapy*

DANG Bing-rong, LI Wen-jian, MA Qiu-feng, LI Qiang, ZHOU Guang-min, WANG Ju-fang, HAO Ji-fang
 (Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Heavy ion therapy has more advantages due to the physics quality of heavy ions. Therefore the investigation on heavy ion actions with biological materials will be a basic task. In this paper, the experimental results show a picture to resolve some problems currently concentrated.

Key words: tumor therapy with heavy ions; physics quality; tumor

(上接第 33 页)

核物质的对称能与中子皮厚度**

沈 刚^{1,2}, 李 俊^{1,2}, Hillhouse G. C.³, 孟 杰^{1,2}

(1 兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 甘肃 兰州 730000;

2 北京大学物理学院, 北京 100871;

3 Department of Physics, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa)

摘 要: 在现有的平均场模型中引入同位旋相关的高阶修正项, 研究了核物质对称能的密度依赖性和²⁰⁸Pb 的中子皮厚度。采用新提出的 PK1 相互作用以及 NL3, S271 和 Z271 相互作用, 得到核物质饱和点对称能的范围为 29—38 MeV 以及相应的²⁰⁸Pb 中子皮厚度为 0.17—0.28 fm。在所有相互作用中, 核物质饱和点的对称能与²⁰⁸Pb 的中子皮厚度近似呈线性关系。

关键词: 相对论平均场理论; 对称能; 中子皮; 核物质

* **Foundation item:** “Western Light” Program of Talent Cultivation of Chinese Academy of Sciences(XB040602); Youth Foundation of Natural Sciences of Gansu Province (3ZS041-A25-025); Key Project of National Natural of Sciences Foundation of China (10335050); National Basic Research Priority Program of the Ministry of Science and Technology of China (2003CCB00200)

** **基金项目:** 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000077407); 国家自然科学基金资助项目(1002522,10221003,10047001)