

医学物理的最新成果——质子疗法*

蒋西虹 编译

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 本文介绍了 ITEP(前苏联理论实验物理所)在医学物理方面的研究及发展情况,主要报道了该所二十多年来使用质子疗法所取得的成果,简述了该所目前对新的治疗诊断仪器[Treatment and Diagnostic Facility (TDF)]的开发工作.

关键词 质子辐照, 癌, 治疗诊断仪器(TDF), 正电子放射断层术.

ITEP 是前苏联一流的物理研究所之一, 该所设有一个医学物理科学技术中心. 60年代中期, 该所就开始研究医学物理和研制与其相关的设备. 1969年后, 质子治疗仪用于临床试验, 取得了很好的效果. 到目前为止, ITEP 已有二十多年的临床研究经验, 是世界上最大的质子辐照治疗中心之一. 现已放射治疗了两千多名患者, 达到了令人满意的效果. 已得到的临床经验证明, 放射治疗仪及质子辐照疗法具有广阔的推广价值和应用前景. 目前, ITEP 和许多医疗中心及工业集团均以质子辐照疗法和正电子放射断层术为基础开发研制新型的治疗诊断仪器(TDF), TDF 的建成将是 ITEP 在医学物理方面的重大贡献.

以及对健康的重要部位附近的病理性组织的治疗, 这些特点更为明显.

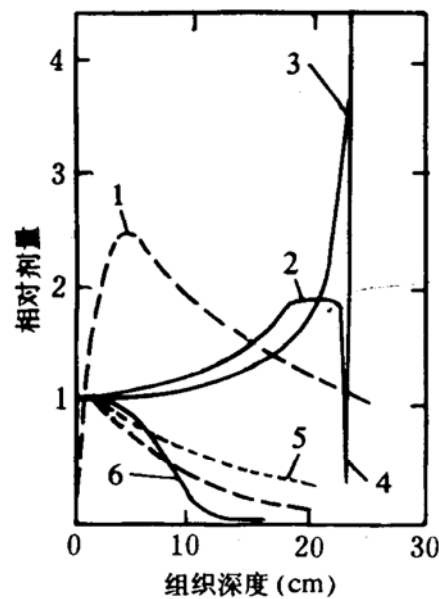


图1 质子和其它辐射的剂量关系比较图. 曲线表示粒子能量, 说明质子束流, 修正的 Bragg 峰曲线表示最佳质子谱的剂量分析

- 1. 22MV X 射线 2. 伸长的质子峰
- 3. 质子 4. 200kV X 射线
- 5. ⁶⁰Coγ 射线 6. 22MeV 电子

1 质子辐照的特点

质子辐照是现代放射疗法中最先进的医疗手段. 和通常的电子、γ 射线放射疗法相比, 它有许多特殊的优点. 质子疗法完全不会损伤照射部位附近的健康组织. 在对发病部位辐照时, 皮肤及正常组织所接受的束流剂量要比照射部位所接受的剂量小得多. 根据质子的能量可适当确定正常组织所能接受的剂量. 因此照射部位两侧及后面的组织完全不会受到辐照影响. 质子辐照的特点就是辐照部位的剂量很高, 而健康组织又不受任何损害, 尤其是对具有空间复杂轮廓部位的辐照,

2 质子辐照的临床效果

人们已经研制了质子加速器及质子束流的产生、输送和形成装置以及专用的质子辐照自动化仪器. 大量的临床经验表明, 这些仪器安全可靠. 许多国家, 如美国和前苏联, 早已

* 本文取自 ITEP 质子疗法的材料. 1993年11月27日收到.

率先成功地使用了这些治疗设备. 目前, 世界上已有许多质子医疗中心, 有一万多病人作了辐照治疗, 并且取得了令人满意的效果.

当代计算机断层术和超声诊断学可以准确无误地确定肿瘤及病理性组织的形状和位置, 质子辐照疗法可完全抑制肿瘤的生长, 对颅内和眼内的肿瘤治疗, 效果特别明显. 质子辐照的成果已经得到了多年来的临床验证, 这里简要介绍以下几种病例的治疗情况.

2.1 质子放射神经外科学

立体触觉质子放射神经外科学用于几种颅内肿瘤的不失血的辐照治疗. 质子放射外科可避免两种危害, 即普通外科带来的危害以及放射引起的并发症和对照射部位附近极其重要的大脑组织的辐照损伤. 治疗仪器可控制剂量场的范围, 精度好于1~2mm.

质子辐照可保证75%患有垂体腺瘤而引起的肢端肥大症患者在临床和生物化学方面达到永久性缓和, 在80~90%的 Kushing 病例中得到了这种治疗效果.

质子疗法是治疗难以接近的抗辐射性肿瘤和根本无法手术的颅内肿瘤[如: 海绵状静脉窦脑膜瘤(meningiomas of cavernous sinus)、松果体肿瘤(tumors of pineal body)、临界大脑结深部的肿瘤(tumors of deep lying subcortical cerebral nodes 等)]的唯一方法. 高剂量的质子辐照可克服小型颅内肿瘤的抗辐射力, 控制肿瘤的发展, 一般可保证肿瘤的坏死和再吸收. 所以质子辐照可以得到神经外科治疗的效果, 不会发生普外科固有的并发症或致死的后果.

质子辐照还可用于不能手术的大脑动静脉动脉瘤(arteriovenous aneurysmas)和动脉窦痿管的治疗, 它可消除病理性的血管分流, 校正大脑血流, 防止危险的颅内出血, 避免因眼眶窝内的疔滞现象而造成的并发症.

2.2 质子治疗前列腺癌

质子加光电子联合辐照疗法与传统的光电子疗法相比, 在治疗前列腺癌方面能获得更好的临床效果. 联合疗法包括用 γ 射线辐

照病变部位和骨盆淋巴结以及用质子局部穿过会阴(transperineal)辐照并使其停留在病变部位. 后者叫作“质子辅助剂”. 这种临床方法对照射部位的总剂量要比普通的高出5~20%. 在关3~6个月的治疗中, 肿瘤的临床消散率高达85~92%, 这比条件性(conditional)放射疗法达到这一指标所用的时间要少2~4倍. 因此减少了治疗失败的风险, 不会发生后期的器官及功能方面的内脏损害, 也不会出现尿道损伤. 根据病人的年龄和身体状况分析, 74%的病人部分或全部地保持着性功能.

质子和光电子联合疗法适合于门诊病人的治疗, 不会影响病人的正常寿命. 根据临床观察, 这种保守的治疗方法一般好于外科和药物疗法, 也容易被病人接受.

2.3 质子治疗眼瘤

质子辐照可治疗眼睑和结膜上的恶性肿瘤(如: 黑色瘤、癌症)和眼内黑色瘤及眼眶肿瘤.

直到前不久, 对大型的眼睑和结膜肿瘤的唯一治疗方法就是做眼眶摘除术. 这不但导致病人的失明而且也损害了病人的外貌. 但用质子辐照, 95%的病人可以保留眼睛.

质子放射疗法治疗 $T_3N_0M_0$ 阶段的眼内黑色瘤得到的显效率为78%, 对于摘除术后又复发的眼眶黑色瘤的病人, 用质子治疗后, 50%的肿瘤可以全部吸收和大量减小, 38%的病人病情稳定. 所以质子疗法是治疗眼瘤能保住眼睛的唯一办法.

2.4 质子治疗乳房瘤

对乳房瘤骨转移的病人, 经传统的治疗方法治疗后, 可用质子辐照垂体和 γ 射线辐照受害骨骼的相接合治疗手段. 这种方法能使90%的病人快速丧失痛觉, 使乳房瘤骨转移受到抑制, 并可出现永久性的病情缓解. 这种治疗方法可以保住病人的生命, 部份病人已经重返工作岗位, 平均寿命长达56个月.

质子治疗乳房瘤一般只需4~6周, 先进行几周的辐照, 然后再进行其他治疗. 通常一周治疗后, 病人就明显好转, 疼痛消失. 对早

期的乳房瘤(波节式)和局部肿瘤转移的部位,可局部加大辐照剂量,范围在20~30%,这种局部控制使有效率高达99%。另外,质子辐照垂体可减少垂体激素作用,并能使激素治疗肿瘤的结果得到改善。质子治疗乳房瘤可以保留器官,避免外貌受损,减少生理性创伤,一般治疗时间为12~14天,97%的病人存活率可达3年。

3 ITEP 的质子治疗设备

ITEP 专门设立了一个质子治疗临床基地,有三间特殊的治疗室。治疗室装备了测量和控制剂量的仪器、辐射场形成设备及专为质子治疗而研制的独特的辐照仪器。质子同步加速器产生的束流可直接传输到治疗室,束流能量限制在70~200MeV 的范围内。第一治疗室用于泌尿系统妇科病(urogynecological)辐照治疗,第二治疗室用于颅内辐照,如垂体腺瘤、动静脉畸形、垂体和各种脑瘤,第三治疗室用于眼瘤及肿瘤的普通辐照。

ITEP 的质子治疗仪每天工作24小时,白天进行辐照治疗,夜间进行生物辐照研究、新剂量的开发、治疗手段的试验和改进以及剂量测定仪器等项研究。ITEP 从物理和技术上负责质子治疗全套设备。ITEP 的放射学家分别来自于前苏联某些一流的临床研究所,包括前苏联医疗科学院总工会癌症研究中心、前苏联医疗科学院 Burdendo 神经外科研究所,前苏联医疗科学院内分泌研究中心、前苏联俄罗斯加盟共和国公共卫生部莫斯科亥姆霍兹眼病研究所。

4 ITEP 对 TDF 的开发规划

目前,ITEP 除了在治疗诊断方面使用质子放射疗法以外,还以质子加速器为基础采用正电子放射断层术 [Positron Emission Tomography (PET)],开发研制新的治疗诊断仪器。

正电子放射断层术是医学诊断学最先

进,最有用的方法之一。它是采用极短寿命放射性核素(USLR)如 ^{11}C 、 ^{12}N 、 ^{18}F 和 ^{15}O 示踪放射药品。一台小型质子加速器就可以产生极短寿命放射性核素,其寿命很短,半衰期为几分钟或数十分钟。在放射性核素产生及病人被诊断的同一位置上就可合成放射药品,用多道放射性探测器、数据收集、处理及显示的计算机系统就可以进行断层诊断。

1989年后,ITEP 与许多研究所、工厂联合研制了该治疗诊断仪器,本所除原有的标准治疗诊断科室外,还专门设立了质子放射治疗部及正电子放射断层部。

质子放射部是按5~8百万人口的地区和2~4百万人口的地区的两种不同方案设计的。质子加速器为质子放射部提供6束能量为50~250MeV 的束流。辐照设备可使6个治疗室同时独立工作。和传统的(γ 射线、电子)辐照相比,各治疗室同时工作可降低放射治疗的成本。该治疗部每天可接诊一百多人患者。

能量为12MeV 的加速器为正电子放射断层部提供极短寿命 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{18}F 核素。为基于极短寿命放射性核素的放射性药品的快速合成和正电子放射断层术提供了自动化放化线路。

目前,ITEP 和它的合作单位正在从技术上和经济上更加完善这项规划方案和草图设计。为质子放射治疗部设计的仪器大楼和为正电子放射断层部服务的仪器加工厂已经开始动工。ITEP 打算用最先进的正电子放射断层术和质子放射治疗技术装备 TDF。TDF 的建成会使 ITEP 在医学物理方面跨上一个新台阶。

目前,ITEP 正在为 TDF 规划积极寻找合作伙伴,参加者可与下面地址联系:
Institute of Theoretical and Experimental Physics, Bolshaya Cheremushkinskaya, 25 Moscow, 117259, Russia.

(下转14页)

斯韦分布

$$N_i = \frac{(2\pi m_i T)^{3/2}}{h^3} g_i V e^{\mu_i/T}$$

$$R_{dp} = \frac{N_d}{N_p} = \frac{g_d}{g_p} \left(\frac{m_d}{m_p}\right)^{3/2} e^{(\mu_d - \mu_p)/T}$$

式中, g_d, g_p 分别为氘核和质子的自旋统计因子, m_d, m_p 为相应质量, 而 μ_d, μ_p 为相应的化学势. $\frac{g_d}{g_p} = \frac{3}{2}, \left(\frac{m_d}{m_p}\right)^{3/2} = 2^{3/2}, \mu_d = \mu_p + \mu_n + E_d^B, \mu_n$ 为中子化学势, E_d^B 为中子和质子结合为氘的结合能. 假如取近似: $\mu_p \sim \mu_n \gg E_d^B$, 则核子化学势近似取为 $\mu_d - \mu_p = \mu$, 所以 $R_{dp} = 3\sqrt{2} e^{\mu/T}$, 而 $-\mu/T = \ln(3\sqrt{2}) - \ln R_{dp} = 1.45 - \ln R_{dp}$, 所以 $S/N = 3.95 - \ln R_{dp}$.

参 考 文 献

- 1 Hahn D, Stocker H. Nucl. Phys., 1988, A476 : 718
- 2 Mekjian M. Nucl. Phys., 1978, A312 : 491
- 3 Iljinov A S. I. N. Mishustin, Nucl. Phys., 1987, A475 : 663
- 4 Jzenberg-Selove F A. Nucl. Phys., 1981, A360 : 1; 1982, A375 : 1; 1983, A392 : 1; 1984, A415 : 1; 1985, 433 : 1
- 5 Randrup J, Koonin S E. Nucl. Phys., 1981 A356 : 223
- 6 Siemens P, Kapusta J I. Phys. Rev. Lett., 1979, 43 : 1486

Multifragmentation of Highly Excited Nucleus

Li Junqing

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

Abstract Multifragmentation in the late stages of intermediate-energy heavy ion collisions can be described with the quantum statistical model. Instable medium fragments undergo decay subsequently, and which would redistribute multifragment yields. The degree of dissociation, which can be measured by ratios of various charged particles emitted, is proposed as a measure of the entropy of the system. From the yields of the decay of partial-instable fragments to extract the temperature of the system is discussed.

Key Words multifragmentation, quantum statistics, decay, entropy.

(上接 64 页)

Latest Achievement in Medical Physics

—— Proton Therapy

Jiang Xihong

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

Abstract The development in the medical physics in the Institute of Theoretical Experimental Physics (ITEP) is introduced. The achievements of over 20 years in proton therapy, which have been obtained in ITEP are mainly reported. The recent research work in ITEP on developing the new Treatment and Diagnostic Facility (TDF) is briefly discussed.

Key Words proton irradiation, cancer, treatment and diagnostic facility, positron emission tomography.