

本文在多目标非支配排序算法 NSGA-II 的基础上进行改进提出了自适应 ANSGA-II, 并将其用到优化 1 张 CT 片剂量分布的 3 个目标函数 5 个变量的例题中, 在算法每一代中充分利用所求变量先验知识进行变量取舍, 试验结果表明此算法和先验知识的利用取得了理想的结果。但实际的逆向放射治疗计划的目标函数形式和剂量计算方法将更精确和复杂, 本文为实际的逆向放射治疗计划提供了优化方法参考。

参 考 文 献

[1] 李国丽. ARTS 系统中放射治疗逆向计划多目标进化算法研

- 究. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 2006.
- [2] 谢涛, 陈火旺, 康立山. 多目标优化的演化算法. 计算机学报, 2003, 26(8): 997-1003.
- [3] Deb K, Pratap K, Meiyarivan T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197.
- [4] Deb K. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. New York: John Wiley & Sons Press, 2001: 210-302.
- [5] 李国丽, 吴宜灿, 宋钢, 等. 放射治疗中逆向计划多目标优化算法研究. 核技术, 2007, 30(3): 222-226.
- [6] 吴宜灿, 李国丽, 陶声祥, 等. 精确放射治疗系统 ARTS 的研究与发展. 中国医学物理学杂志, 2005, 22(6): 683-690.

(收稿日期: 2006-12-05)

剂量计算中解析组织非均匀性修正方法的比较研究

宋钢 林辉 赵攀 吴爱东 李贵 景佳 曹瑞芬 程梦云 黄晨昱 吴宜灿

【摘要】 目的 研究和比较目前放射治疗计划系统中常用的几种组织非均匀性修正方法。方法 通过真实病人算例对不同修正方法的计算精度和计算速度进行对比测试。结果 等效组织空气比修正(ETAR)方法虽然较 Batho 等修正方法考虑的影响因素多, 但 ETAR 方法在大大增加计算时间的基础上, 计算精度并未得到明显的提高。结论 可使用新近开发的混合 Batho 修正方法替代目前计划系统中常用的 ETAR 方法。

【关键词】 放射治疗; 剂量计算; 组织非均匀性修正

Comparison of analytical inhomogeneity correction methods of dose calculation in external photon radiotherapy SONG Gang, LIN Hui, ZHAO Pan, et al. Institute of Plasma Physics of Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

【Abstract】 **Objective** To study and compare several clinical used inhomogeneity correction methods. **Methods** The accuracy and speed of various inhomogeneity correction methods were tested by a clinical patient model. **Results** Although ETAR method considered more factors and consumed more time than Batho method, the accuracy of ETAR did not increase rapidly. **Conclusions** A new developed mixed Batho correction method could be applied in clinic to replace the ETAR method.

【Key words】 Radiotherapy; Dose calculation; Inhomogeneity correction

解析方法是目前临床放射治疗计划系统(TPS)中最常用的剂量计算方法之一, 具有算法简单, 计算速度快的特点。绝大部分解析方法所使用的标准数据库来源于均匀模体或标准水箱的测量结果, 但真实人体组织具有非均匀性。因此, 对根据均匀模体

测量数据所得的剂量计算结果进行组织非均匀性修正, 是剂量计算中一个非常重要的问题, 这方面的工作也一直处于研究阶段^[1]。

组织非均匀性对于剂量分布的影响主要体现在: 改变原射线的强度和与之相联系的散射光子的分布以及改变次级光子通量; 其影响在某些情况下(如肺组织照射)尤其重要, 如被忽略则可能导致 15%~25% 的计算误差^[2]。组织非均匀性修正方法

基金项目: 国家“973”计划项目(2006CB708307), 安徽省自然科学基金项目(070413081)

作者单位: 230031 合肥 中国科学院等离子体物理研究所

主要分为一维和三维两大类:一维方法只考虑主光子传输路径上的非均匀信息,忽略反向、旁向散射对于剂量分布的影响;三维方法考虑光子传输路径以外的非均匀组织对于剂量分布的影响,理论上计算精度较一维方法高,但计算时间较长。目前商用治疗计划系统中常用的修正方法主要有: EPL 修正法 (U-MPlan 系统、Helax TMS 系统、GE Target 系统、CORVUS 系统等), Batho 修正法 (CadPlan 系统、GE Target 系统等) 和 ETAR (CadPlan 系统、GE Target 系统等)^[3,4]。

EPL 修正法由于对模型的过度简化处理,目前的应用范围逐步缩小;组织空气比指数修正法 (Batho 方法) 是一种只考虑主光子传输路径上非均匀信息对于剂量分布影响的一维组织非均匀性修正方法^[5]; ETAR 方法在三维方向上考虑了所求剂量点周围的非均匀组织对于剂量分布的影响,因此被认为是一种修正效果较好的准“三维”的修正方法而在部分商用治疗计划系统中得到应用; EGSnrc 是由 NRC、威斯康星大学和渥太华肿瘤医院合作开发的一套专门应用于临床三维电子束、光子束治疗剂量计算的 Monte Carlo 模拟计算程序,可模拟 1 keV ~ 10 GeV 能量范围内的电子-光子耦合运输过程,是目前国际医学领域应用最广的蒙特卡罗模拟程序之一。

在中国科学院等离子体物理研究所 FDS 团队与国内多家研究单位合作的精确放射治疗计划与质量保证系统 (ARTS: Advanced/Accurate Radiation Therapy System) 项目中^[6], 本文结合真实病例 Monte Carlo 模拟计算结果,从计算精度和速度两个方面对上述组织非均匀性修正方法的性能优劣进行了比较验证研究。

资料与方法

为对上述组织非均匀性修正方法的计算精度和速度进行对比验证,选择典型算例模型见图 1。鼻咽癌真实病例算例(代号 LSM 算例),病人头部 CT 医学影像数据来自于安徽医科大学第一附属医院放疗科,CT 切片序列的基本信息为: DICOM 3.0 格式;窗位 34 H.U.,窗宽 250 H.U.;图像尺寸 22.70 cm × 22.70 cm,相邻像素间距 0.44 mm,切片厚度 0.50 cm,图像分辨率 512 × 512,切片数 18 张。

如图 1 所示,算例使用 CT 片序列的第 9 张 CT 片,采用笛卡尔坐标系,坐标系原点 (0, 0, 0) 选定在 CT 片文件系列中编号为 1 的切片的左上角; X 轴在

CT 片平面上水平向右, Y 轴在 CT 片平面上竖直向下, Z 轴垂直进入页面。假想病灶为大小为 4.0 cm × 4.0 cm × 4.0 cm 的立方体,等中心点的坐标为 (10.25, 15.05 和 4.25 cm)。

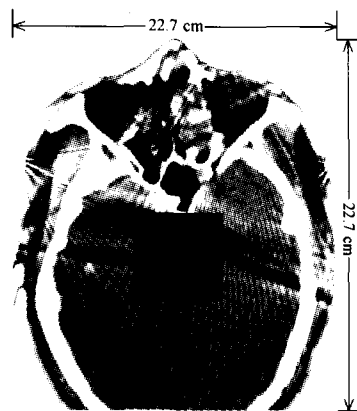


图 1 算例模型示意图

在使用该算例对不同修正方法进行修正效果验证计算时,模拟使用 Varian 23EX 医用直线加速器产生的 6 MV 光子、5.0 cm × 5.0 cm 正方形规则照射野,射线束沿 Y 轴正方向入射,射野中心点取在鼻尖位置 (CT 切片系列中第 9 张切片上),以 EGSnrc 所得计算结果作为参考标准,分别将基于 Generalized Batho 修正和基于 ETAR 修正的剂量计算方法所得的若干深度下的离轴剂量分布结果与 EGSnrc 所得相同位置处的计算结果进行比较,从计算精度与计算速度两个方面对不同组织非均匀性剂量计算方法的优劣进行比较和验证。

结 果

在对 Batho 和 ETAR 两种组织非均匀性修正方法在计算精度和速度方面进行验证的过程中,针对 LSM 真实病例算例所设定的物理参数,分别使用 EGSnrc、基于 Batho 修正的剂量计算方法和基于 ETAR 修正的剂量计算方法分别计算 4 个深度 (Y = 6.0、10.0、15.05 和 20.0 cm) 下的离轴剂量分布曲线;将 Batho 修正和 ETAR 修正所得结果与作为参考标准的 EGSnrc 所得结果的计算精度和速度进行比较和评估。不同深度下的离轴剂量分布计算结果曲线见图 2。

从图 2 中可以看出,在皮肤表面以下较浅深度处 (6.0 cm), Batho 修正和 ETAR 修正所得结果与作为参考标准的 EGSnrc 所得结果相比,均存在较大误差,都没有很好地体现由于鼻咽部非均匀组织所造

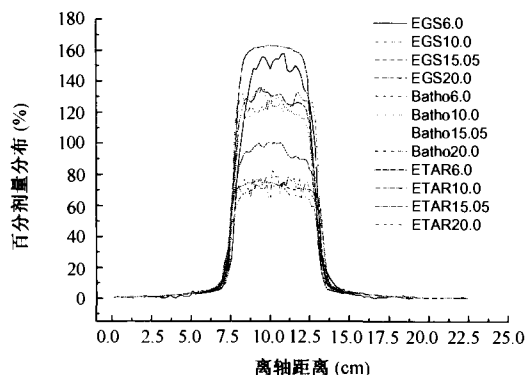


图 2 离轴剂量计算结果对比

成的剂量分布相对于相同照射条件下纯水模中剂量分布的变化;特别是在 6.0 cm 深度处,ETAR 方法所得结果相对于参考标准之间的误差达到 10%,远远超出了剂量计算中 3% 的误差允许范围;在中等深度处(10.0 cm),ETAR 所得结果虽然相对于 Batho 修正计算误差稍小,但仍与 EGSnrc 所得结果相差较大,达到 5% 以上;在较大深度处(15.05 和 20.0 cm),除中心轴附近外,ETAR 方法在中心轴两侧所得结果均相对与 EGSnrc 结果有较大下降现象,误差较大。从计算时间的角度来考虑,基于 Batho 修正的剂量计算方法完成单条离轴曲线所需时间为 0.7 s,完成同样的计算任务,基于 ETAR 方法的剂量计算方法需要 95.2 s。

从上述 4 张图中可以看出,ETAR 方法在运行时间增加了两个量级的情况下,相对于 Batho 修正法来说,在修正效果方面并没有得到明显的提高。

讨 论

ETAR 是一种准三维组织非均匀性修正方法,不仅考虑了剂量计算点所在 CT 层面上的非均匀组织对于计算点剂量值的影响,而且考虑了相邻 CT 层面上的组织非均匀性信息,相对于简单一维修正方法来说,具有很大的进步。但 ETAR 方法没有考虑下列因素对于剂量分布的影响:

(1) 散射体积单元的原射线应作距离平方反比修正;

(2) 达到散射体积单元的原射线应作有效深度的修正;

(3) 散射体积单元到剂量计算点的距离应作组织密度的修正。

从图 2 中可以看出,相对于 Batho 等一维修正方法,ETAR 方法实际修正效果在没有得到明显的提高的同时,计算时间却显著增加了。因此,从计算精度和运行速度的角度来讲,ETAR 方法并不是一种适合于精确放疗剂量计算特别是逆向优化的剂量计算方法,可以使用 FDS 团队自行开发的基于混合 Batho 修正方法的 RBM 剂量计算方法代替^[7]。同时,不同照射条件、不同组织交界面处的组织非均匀性问题的深入研究,是下一步研究工作的重点之一。

参 考 文 献

- [1] 王志远,李树祥,吕庆文,等.一种基于 CT 值进行组织不均匀性剂量校正的快速算法.中国医学物理学杂志,2002,19(2):94-96.
- [2] ICRU. ICRU Report 24. Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or Gamma rays in radiotherapy procedures. Bethesda: ICRU, 1976.
- [3] Engelsman M. Impact of simple tissue inhomogeneity correction algorithms on conformal radiotherapy of lung tumours. Radiotherapy and Oncology, 2001, 60: 299-309.
- [4] Santanam L, He T, Yudelev M, et al. Applicability of CORVUS pencil beam model and scatter dose model for intensity modulated neutron therapy. Phys Med Biol, 2004, 49: 3751-3766.
- [5] Thomas S J. A modified power-law formula for inhomogeneity correction in beams of high-energy X rays. Medical Physics, 1991, 18(4): 719-723.
- [6] 吴宜灿,李国丽,陶声祥,等.精确放射治疗系统 ARTS 的研究与发展.中国医学物理学杂志,2005,22(6):683-690.
- [7] 宋钢,李国丽,吴爱东,等.基于混合 Batho 修正的 RBM 剂量计算方法在仿真头模实验中的剂量学验证.原子核物理评论,2006,23(2):246-249.

(收稿日期:2006-12-05)

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

中 华 放 射 医 学 与 防 护 杂 志

邮发代号:18-93 电话:010-62389620 Email:cjrmp@cjrmp.sina.net

邮编:100088 地址:北京市西城区德胜门外新康街 2 号