·指南·

全身照射技术实践指南

国家癌症中心/国家肿瘤质控中心

通信作者：傅深，泰和诚医疗集团，北京 100020，上海泰和诚肿瘤医院，上海 200240，Email：shen.fu@ccm.cn，李左峰，泰和诚医疗集团，北京 100020，Email：zuofeng.li@concordmedical.com

【摘要】 全身照射（TBI）是一类特殊的放射治疗技术，是指利用钴-60 γ射线或高能X线对全身进行放射治疗，常用于造血干细胞移植（HSCT）前预处理。本指南以国际[国际淋巴瘤放射治疗协作组（ILROG）、美国放射学会（ACR）-美国放射肿瘤学会（ASTRO）、美国医学物理师协会（AAPM）等]TBI技术相关的指南共识作为参考，以国内外TBI技术临床应用发表的文献资料为支撑，结合指南各申请单位已有的知识积累及丰富的临床实践经验编写而成。本指南内容涵盖了开展TBI放疗技术的设备要求、医务人员资质要求和职责范围、临床应用的适应证、TBI技术应用流程及其相关的质量保证和质量控制标准等，旨在为国内各医疗机构开展TBI技术提供参考。

【关键词】 全身照射；　放射疗法；　造血干细胞移植；　实践指南

Practical guideline for total body irradiation

National Cancer Center / National Cancer Quality Control Center

Corresponding authors: Fu Shen, Concord Medical, Beijing 100020, China; Shanghai Concord Cancer Center, Shanghai 200240, China; Email: shen.fu@ccm.cn; Li Zuofeng, Concord Medical, Beijing 100020, China; Shanghai Concord Cancer Center, Shanghai 200240, China; Email: zuofeng.li@concordmedical.com

【 **Abstract** 】 Total body irradiation (TBI) is a special radiotherapy technique, which refers to the use of cobalt-60 gamma rays or high-energy X-rays for whole-body radiotherapy. It is often used for pre-treatment of hematopoietic cell transplantation (HSCT). This practical guideline was formulated based on international guidelines [International Lymphoma Radiation Oncology Group (ILROG), American College of Radiology (ACR)- American Society for Radiation Oncology (ASTRO), American Association of Physicists in Medicine (AAPM), *etc.*] related to TBI technology, domestic and international published literature on the clinical application of TBI technology, combined with the existing knowledge accumulation and clinical practice experience of each applicant. This guideline covers equipment requirements for TBI radiotherapy technology, medical personnel qualification requirements and scope of responsibility, indications for clinical application, TBI technology application process and related quality assurance and quality control standards, aiming to provide references for domestic medical institutions to carry out TBI.

【 **Key words** 】 Whole-body irradiation; Radiotherapy; Hematopoietic stem cell transplantation; Practical guideline

本指南按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

本指南由国家肿瘤质控中心提出。

本指南由国家肿瘤质控中心归口。

引　言

全身照射（total body irradiation，TBI）是一种患者整个身体都要接受照射的放射治疗方法，与大多数其他类型的放射治疗技术不同。目前，由于临床应用TBI精准性受多方面因素的影响，TBI在剂量率、分割剂量、分割方法和规范流程等方面，不同医疗机构使用的方案各不相同，而已有的指南在临床应用、医学物理、技术实施、放疗护理等方面尚未有

DOI：10.3760/cma.j.cn113030-20230602-00152

收稿日期　2023-06-02

引用本文：国家癌症中心/国家肿瘤质控中心. 全身照射技术实践指南[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2024, 33(6): 485-498. DOI: 10.3760/cma.j.cn113030-20230602-00152.

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

一全面的规范。本指南以国际TBI技术相关的指南共识作为参考，以国内外TBI技术临床应用发表的文献资料为支撑，结合课题各申请单位已有的知识积累及丰富的临床实践经验编写而成。本指南内容涵盖了开展TBI放疗技术的设备要求、医务人员资质要求和职责范围、技术临床应用相关的适应证、TBI技术应用流程及其相关的质量保证和质量控制标准等，旨在为国内各医疗机构开展TBI技术提供参考依据。

全身照射技术实践指南

1范围

本指南规定了TBI的放疗技术与设备要求、医务人员与培训要求、临床流程、技术操作流程以及质量控制与管理。

本指南适用于基于直线加速器和钴-60进行全身照射、半身照射等进行放射治疗的医疗机构。

2规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

美国放射学会（American College of Radiology，ACR）-美国放射肿瘤学会（American Society for Radiation Oncology，ASTRO）全身照射指南

国际淋巴瘤放射治疗协作组（International Lymphoma Radiation Oncology Group，ILROG）全身照射指南

美国国立综合癌症网络（National Comperhensive Cancer Network，NCCN）血液肿瘤指南

中国异基因造血干细胞移植治疗血液系统疾病专家共识（Ⅰ）——适应证、预处理方案及供者选择（2014年版）

澳大利亚物理学家和医学工程师学院（Australasian College of Physical Scientists and Engineers in Medicine，ACPSEM）放射肿瘤学专业组（Radiation Oncology Specialty Group，ROSG）全身照射质控指南

GB/T 17857-1999 医用放射学术语（放射治疗、核医学和辐射剂量学设备）

NCC/T-RT 001-2017 放射治疗质量控制基本指南

YY/T 0798-2010 放射治疗计划系统质量保证指南

国际辐射量单位与测量委员会（International Commission on Radiation Units and Measurements，ICRU）83号报告

美国医学物理师协会（American Association of Physicists in Medicine，AAPM）17号报告

3术语和定义

GB/T 17857-1999[1]中界定的以及下列术语和定义[2-3]适用于本文件。

4放疗技术与设备要求

4.1 放疗技术的选择

目前暂无文献支持什么条件下选择什么样的放疗技术，一般是根据各单位制定的治疗方案、可选择的照射设备、治疗室的配置和患者身体情况而定。

4.2 放疗技术

4.2.1 大野静态照射

大治疗野静态照射是TBI的传统照射方法，根据使用的照射设备可以分为以下三种方式：专用大野照射治疗机器[4]；改造后的常规治疗机器[5]；常规治疗机器，分为使用移动治疗床和特制治疗床进行治疗[6]。

4.2.2 动态照射

动态照射技术依据使用的照射机器主要分为以下两种：螺旋断层放射治疗（helical tomotherapy，TOMO）技术；容积弧形调强放射治疗（volumetric modulated arc therapy，VMAT）技术。

4.3 机房需求

选择不同的TBI技术进行治疗，对机房设施的要求不同。

4.3.1 大野静态照射

该治疗技术对于机房的需求主要取决于专用设备本身体积、治疗机的最大射野尺寸、剂量率的选择与源皮距（source to surface distance，SSD）等。而SSD取决于患者的身高和保证照射的足够边缘外扩，边缘外扩一般大于5 cm[7]。

4.3.2 动态照射

动态照射在常规机房中进行，机房大小参照制造商场地要求并遵循国家有关规定。对于医用电子直线加速器（linear accelerator，LINAC）设备而言，要求新建LINAC机房治疗室面积≥45 m^2[8]。

4.4 基本设备要求

进行TBI需要输出稳定的LINAC或钴-60治疗

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

机、机房激光灯系统、患者治疗的固定装置或治疗架、肺和其他危及器官的屏蔽装置、增加表面剂量的散射屏、实时剂量监测系统、验证位置和屏蔽保护的影像装置等。如果治疗采用TOMO或VMAT等动态照射技术，还需要计算机断层扫描（computed tomography，CT）模拟定位机、治疗计划系统（treatment planning system，TPS）等。对于延长SSD的照射，机房天花板要有额外的定位激光灯[9]。

4.5 固定装置要求及选择

根据患者治疗的技术和体位的不同，需要采用不同的固定装置对患者体位进行固定，以确保治疗的重复性、准确性和舒适性。

4.5.1 大野静态照射

侧面照射：一般采用发泡胶或真空垫[10]；

正面/反面（anterior - to - posterior/posterior - to - anterior，AP/PA）照射：站立位和坐立位一般采用座椅、扶手架[10]；仰卧和俯卧位一般采用发泡胶或真空垫、热塑头模、热塑体膜[7]。

4.5.2 动态照射

仰卧位照射：一体板、发泡胶或真空垫、热塑头模、热塑体膜[7]；

AP/PA照射：一体板、发泡胶或真空垫、热塑头模、热塑体膜[7]。

4.6 剂量验证设备

4.6.1 模体

TBI剂量测量和计划验证使用的模体一般需要满足以下要求[5]：材质为水或固体水；模体最小尺寸为30 cm×30 cm×30 cm；如使用塑料模体，需要根据AAPM TG21相对水模体进行校准；如使用小尺寸模体，需对模体的散射进行校准。

4.6.2 剂量计

剂量计需要满足以下要求[5]：剂量计的测量结果与射线能量无关；测试导杆与电缆的影响尽量小；剂量计应依据AAPM TG21在水中进行绝对剂量的标定：如果使用延长SSD照射，需在延长SSD条件下使用单照射野标定；标定模体的尺寸应大于30 cm×30 cm×30 cm；使用大照射野下标定的电离室因子；测量需要对散射剂量进行充分的修正；对于采用挡铅或补偿器的治疗条件，剂量标定需要在添加挡铅或补偿器的条件下进行。

5 医务人员与培训要求

TBI放疗团队的专业人员由放疗医师、医学物理师、放疗技师、放疗护士组成，均需要经过特别培训以确保整套TBI临床流程的安全、有效实施。本指南参考国内外放疗机构实施TBI技术时不同类别人员的参与度，在符合国家对放射医务人员从业的基本要求基础上制定。

放疗医师：在省级三甲及以上医院经过1年以上的放疗医师培训，具有主治医生或以上专业技术职称[8,11]。

医学物理师：中级或以上专业技术职称，或者具有3年及以上医学物理师工作经验[7-8,11]。

放疗技师：具有2年及以上放疗工作经验[7-8,11]。

放疗护士：在肿瘤科领域有1~2年工作经验的注册护士[7]。

培训：团队定期开展技术能力提高培训项目，可参照国外教育和评估项目（Training Education and Accreditation Program，TEAP）或ACPSEM培训项目及ACR继续医学教育项目进行[9]。

医院资质：建议相关TBI治疗保持每年患者量超过20例，保证治疗流程和人员资质的完备。

6 诊疗指南证据类别及指南推荐等级

本指南的证据级别及推荐等级参照2021年中国临床肿瘤学会（Chinese Society of Clinical Oncology，CSCO）指南的证据级别及推荐等级制定（表1、2）。

7 全身照射临床流程

7.1 总流程

7.1.1 概述

TBI是一类特殊的放射治疗技术，是指利用钴-60 γ射线或高能X线对全身、半身进行放射治疗。其在46%~53%行造血干细胞移植（hematopoietic stem cell transplantation，HSCT）的患者中，与化疗药

表1　全身照射诊疗指南证据类别

证据类别	证据水平	证据来源	专家共识度
1A	高	严谨的meta分析、大型随机对照临床研究	一致共识
1B	高	严谨的meta分析、大型随机对照临床研究	基本一致共识，但争议小
2A	稍低	一般质量的meta分析、小型随机对照研究、设计良好的大型回顾性研究、病例对照研究	一致共识
2B	稍低	一般质量的meta分析、小型随机对照研究、设计良好的大型回顾性研究、病例对照研究	基本一致共识，但争议小
3	低	非对照的单臂临床研究、病例报告、专家观点	无共识，且争议大

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

物一同作为HSCT前预处理的常规应用[12-13]。2013年国际血液和骨髓移植研究中心汇总的数据显示，HSCT最常治疗的疾病是多发性骨髓瘤、非霍奇金淋巴瘤、急性髓系白血病（acute myeloid leukemia，AML）、骨髓增生异常综合征/骨髓增生性疾病、霍奇金病、急性淋巴细胞白血病（acute lymphoid leukemia，ALL）以及其他恶性和非恶性疾病[14]。TBI可应用于上述疾病的治疗，是移植前预处理的一种非常重要的手段。

7.1.2 TBI总流程

TBI总流程见图1。

7.2 临床流程

7.2.1 适应证建议（2A）

HSCT适应证见图2[2,15-20]。TBI预处理适应证见图3[7,17,21]。

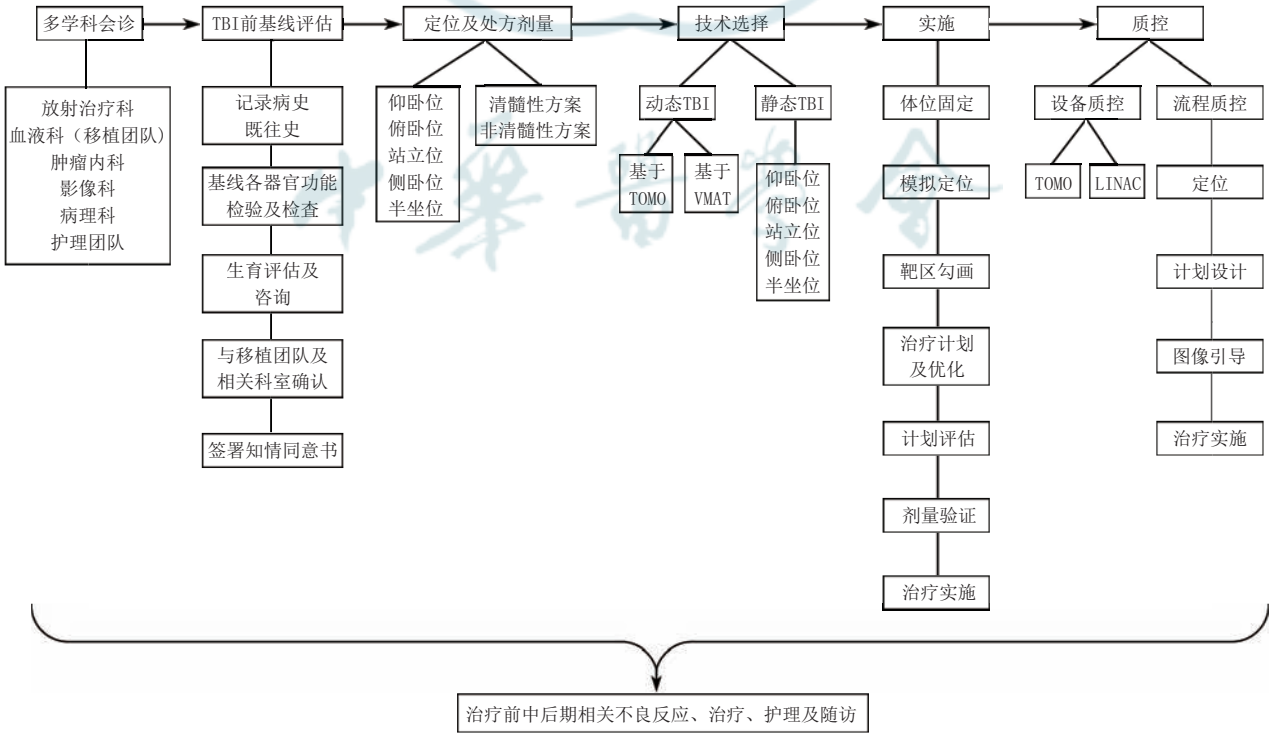
7.2.2 绝对禁忌证及相对禁忌证

下述的禁忌证参考本指南规范性文件中的指南、著作，查找国内外相关文献，结合美国放射治疗肿瘤协作组（Radiation Therapy Oncology Group，RTOG）放射损伤分级标准形成[22-25]。

TBI的绝对禁忌证（2B），满足以下任意一点：美国东部肿瘤协作组（Eastern Cooperative Oncology Group，ECOG）评分标准中≥4分或卡诺夫斯凯计分（Kanofsky performance score，KPS）评分标准中≤

表2　全身照射诊疗指南推荐等级

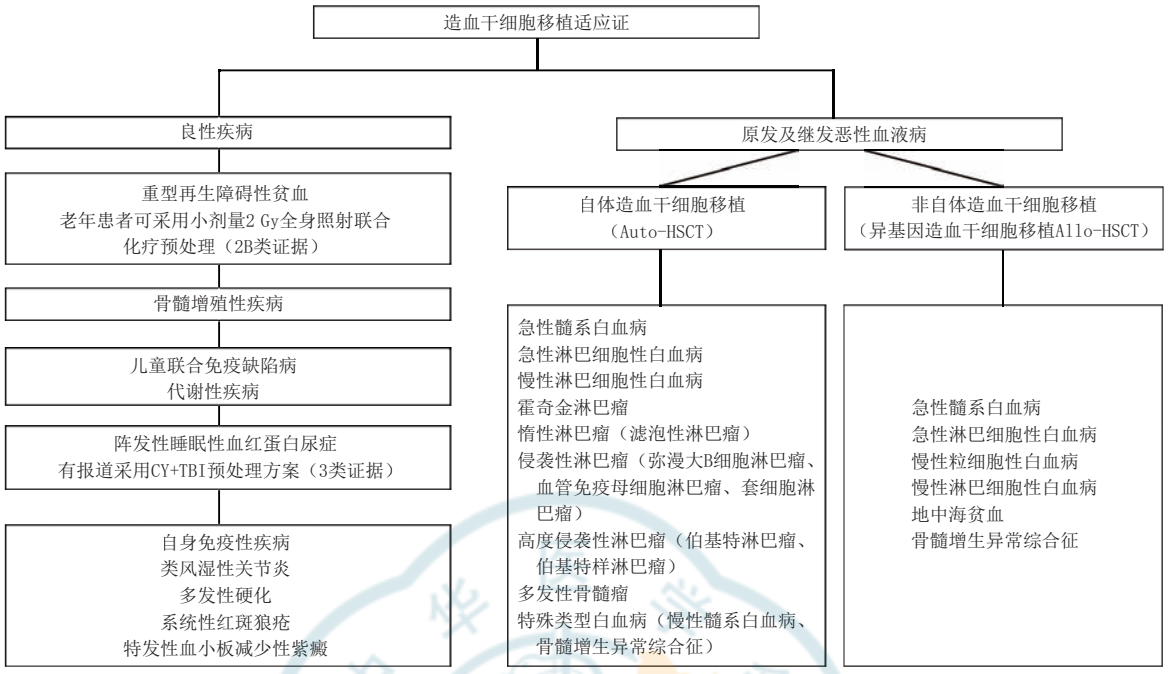
推荐等级	标准
Ⅰ级推荐	1A类证据和部分2A类证据 一般情况下，指南将1A类证据和部分专家共识度高且在中国可及性好的2A类证据作为Ⅰ级推荐。具体特征如下：可及性好的普适性诊治措施（包括适应证明确），肿瘤治疗价值相对稳定，基本为国家医保所收录；Ⅰ级推荐的确定，不因商业医疗保险而改变，主要考虑的因素是患者的明确获益性
Ⅱ级推荐	1B类证据和部分2A类证据 一般情况下，指南将1B类证据和部分专家共识度稍低或在中国可及性不太好的2A类证据作为Ⅱ级推荐。具体特征如下：在国际或国内已有的随机对照多中心研究提供的高级别证据，但是可及性差或效价比低，已超出平民经济承受力的药物作为治疗措施；对于获益明显但价格昂贵的措施，以肿瘤治疗价值为主要考虑因素，也可作为Ⅱ级推荐
Ⅲ级推荐	2B类证据和3类证据 对于正在探索的诊治手段，虽然缺乏强有力的循证医学证据，但是专家组具有一致共识的，可以作为Ⅲ级推荐供医疗人员参考
不推荐/反对	对于已有充分证据证明不能使患者获益的，甚至导致患者伤害的药物或者医疗技术，专家组具有一致共识的，应写明“专家不推荐”或者必要时“反对”；可以是任何类别等级的证据



注：TOMO为螺旋断层放射治疗；VMAT为容积弧形调强放射治疗；LINAC为直线加速器

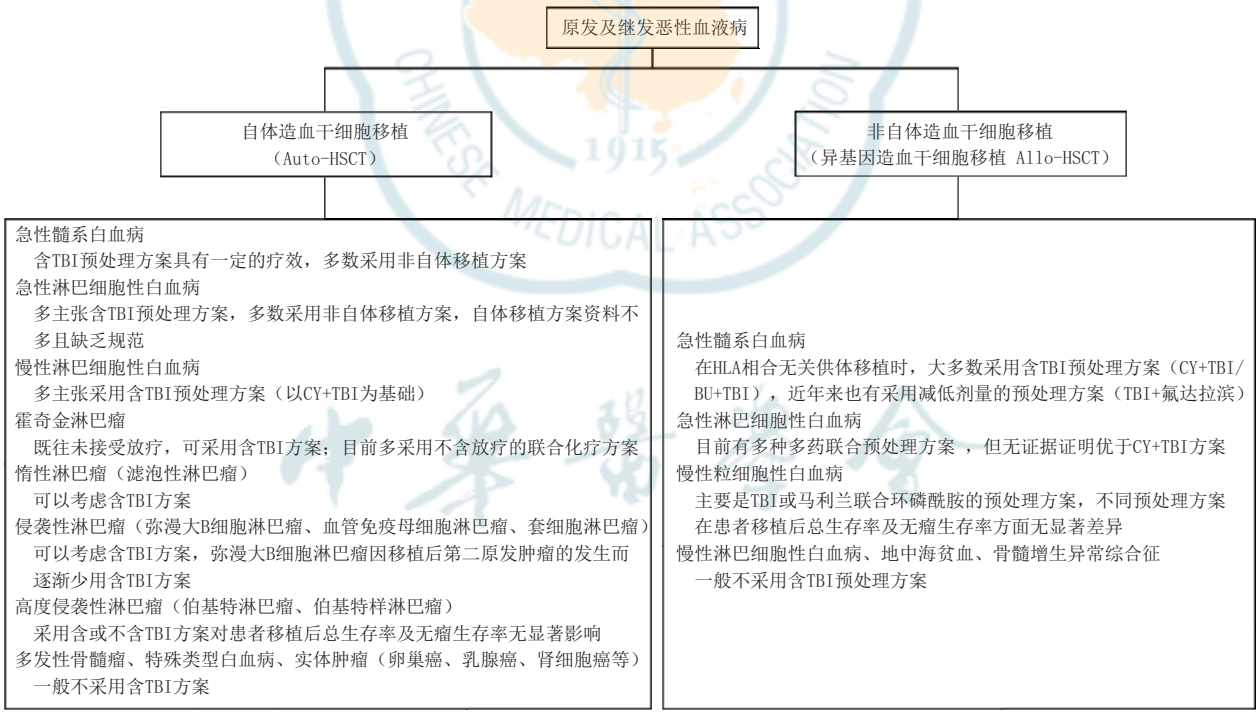
图1　全身照射（TBI）总流程

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究



注：CY为环磷酰胺；TBI为全身照射

图2　造血干细胞移植适应证



注：CY为环磷酰胺；HLA为人类白细胞抗原；BU为白消安

图3　造血干细胞移植全身照射（TBI）预处理适应证

40分；存在基础疾病或既往治疗导致的，常见不良事件评价标准（evaluation criteria for common adverse events，CTCAE）5.0中3-5级的不良事件（血常规除外）；1周内血常规低于正常值下限且伴有相关症状（感染、出血等），尤其是白细胞<1×10^9/L和/或中性粒细胞<0.5×10^9/L和/或血红蛋白<50 g/L和/或血小板<25×10^9/L。

TBI的相对禁忌证（2B），排除绝对禁忌证后，满足以下任意一点：体力状况ECOG评分标准中1~3分，或功能状态KPS评分标准中50~90分；存在基础疾病或既往治疗导致的，常见不良事件评价标准CTCAE 5.0中1-2级的不良反应（除血常规外）；1周

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

内血常规低于正常值下限且不伴有相关症状（感染、出血等），尤其是白细胞<1×10⁹/L和/或中性粒细胞<0.5×10⁹/L和/或血红蛋白<50 g/L和/或血小板<25×10⁹/L。

当血常规存在放疗禁忌且为血液疾病本身导致，尽量满足相关条件后，方可行TBI预处理：

血液科：原则上移植单位与TBI单位需为同一家机构；患者外出行TBI期间所穿衣物及所用物品进行消毒；患者外出行TBI转运车辆进行消毒，确保患者在转运期间的安全，尤其当白细胞<1×10⁹/L和/或中性粒细胞<0.5×10⁹/L和/或血红蛋白<50 g/L和/或血小板<25×10⁹/L时；原则上特殊患者需至少1名血液科医师陪同行TBI（如儿童，ECOG评分≥3分或KPS≤50分的患者等）。

放疗科：详细告知患者及家属可能出现的风险并取得患者及家属的知情同意；定位及治疗前，针对患者停留较久的区域（如定位室、治疗室）及可能用到的物品（如治疗床）进行消毒，消毒方案见“7.2.8其他TBI前注意事项”；针对治疗期间因血常规异常可能导致的晕厥、出血等做好相应应急预案；合理安排定位及治疗时间，尽量缩短患者在血液科外停留时间。

7.2.3 多学科讨论（multi-disciplinary team，MDT）（2B）

移植与TBI预处理在同一家医疗机构为佳。强调患者治疗前中后期放疗科同包括血液科医师在内的多学科团队密切交流的必要性[3,7,21,26]。

7.2.4 临床基线评估（2A）

所有患者在TBI前均应完善基线检查，包括甲状腺、心脏、肺、腹盆部、眼科、生殖系统相关检验及检查。完善基线检查的目的是评估TBI的可行性、明确是否存在放疗禁忌、进行TBI前中后不良反应的管理及随访[3,7,21,26]。

7.2.5 病史及既往史记录（2A）

参照国家癌症中心2017年发布的《放射治疗质量控制基本指南》，需记录的内容如下[3,7,21,26]：诊断及分期；骨髓穿刺或骨髓活检结果（既往及最新的结果，包括免疫学、遗传学及分子生物学结果）；患者一般情况（ECOG评分/KPS评分）；既往治疗过程及方案；最新的疾病治疗情况；近1~2周内的抽血结果及近期的各项影像检查结果（包括甲状腺、心脏、肺、腹盆部、眼科、生殖系统功能的相关检验及检查，用于评估患者基线情况）；既往放射治疗小结及放射治疗计划（应记录患者既往是否接受过任何部位的治疗，如全脑全脊髓；如接受过放疗，应留存既往放射治疗小结及放射治疗计划，包括放射治疗部位及处方剂量、正常组织的剂量、等剂量线等，以评估此次TBI的可行性、正常组织的耐受等）；是否植入过电子医疗设备，是否合并其他疾病。

7.2.6 生育咨询（2A）

如患者的生育能力未被先前的治疗所损害，应向患者推荐生育及遗传咨询[3,7,21,26]。对于已怀孕的女性患者，应考虑是否采取其他治疗。如果患者决定进行异基因造血干细胞移植（allo-hematopoietic cell transplantation，allo-HSCT），则需提前终止妊娠。

7.2.7 知情同意（2A）

TBI是一项具有挑战性的放疗技术。如无密切的医学监护和正确的技术应用，可能会导致患者严重的不良反应，甚至危及生命。

7.2.7.1 主要的早期不良反应（在TBI治疗期间或治疗后不久发生）：发热、头痛、疲劳、食欲不振，皮炎及脱发，口腔干燥、腮腺炎、口腔黏膜炎、食管炎，恶心、呕吐、腹泻。

7.2.7.2 主要的晚期不良反应（在放疗结束后数月或数年逐步显现）：白内障，甲状腺炎、甲状腺功能减退，无症状肺功能改变、间质性肺炎（interstitial pneumonitis，IP）、放射性肺炎、肺病，心脏疾病，肝功能异常、肝静脉闭塞性疾病、肝窦阻塞综合征（sinusoidal obstruction syndrome，SOS），肾功能不全，周围神经病、神经认知功能异常，内分泌失调、生长发育延迟、不孕不育，继发性恶性肿瘤，干燥综合征，骨密度降低，胰岛素抵抗。

TBI常见不良反应推荐以RTOG急晚期不良反应标准进行分级记录。

7.2.8 其他TBI前注意事项

消毒：紫外线消毒40 min，每天2次。此外，机房需采用含氯消毒巾进行擦拭。

TBI相关恶心、呕吐的预防（2A）：TBI属于高度致吐风险治疗方法，预防性药物需在每次放疗前30 min口服，直至放疗结束后1 d[20]。

患者治疗后应进行密切随访，需评估TBI相关的早晚期不良反应，用于症状的及时记录处理及后续的随访，推荐以RTOG急晚期不良反应标准进行分级记录。

7.3 护理流程

包括定位前评估、患者宣教、治疗前评估、不良反应的护理等。

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

8 全身照射技术操作流程

8.1 精度的总体要求

模拟定位要求：全身模拟定位CT一般分为上、下两段，第一段扫描范围从头顶至大腿中段，第二段扫描范围从大腿中段扫描至脚趾[27]，建议扫描层厚3~10 mm[18,28-29]。

计划评估要求：确保剂量均匀度满足在±10%之内[5,7]，或满足$V_{100\%}$=85%[29]。

计划验证要求：参照常规调强放射治疗（intensity modulated radiation therapy，IMRT）或VMAT的验证通过标准。如点剂量偏差为±3%，γ分析（3%/3 mm）通过率大于90%。

机器质控要求：目前主流治疗机器包括医用电子LINAC和TOMO治疗系统。主要参考《医用电子直线加速器质量控制指南》《螺旋断层放疗的日常质量控制与质量保证》和AAPM 148号报告，控制剂量输出量误差≤2%。详细质控数据见9.2.2。

8.2 体位固定的要求及建议

模具选择：建议采用一体板、发泡胶或真空垫、头模、体膜固定[7]。

体位选择：仰卧位、俯卧位相结合、站立位、坐立位和侧躺位等[5]。治疗时需要采用麻醉的患者建议使用仰卧位和俯卧位，患者的双手摆放可以在身体两侧，也可以交叉置于胸前以降低肺的剂量[5]。

8.3 模拟定位的要求及建议

扫描体位：目前的大孔径模拟定位CT的最大扫描长度为160 cm，无法满足TBI患者的一次性全身扫描，比较常用的方法是先以“头进位”扫描头顶至大腿中段，再以“脚进位”扫描大腿中段至脚趾[27]。

扫描厚度：建议扫描层厚≤10 mm[18,28-29]。

全身模拟定位图像的连接：扫描得到的两副模拟定位CT图像，一般将两副CT图像融合至同一坐标系内；或者只扫描获取头顶至大腿中段CT图像，通过在计划系统中复制大腿中段最后一层的方式来延长扫描计划CT图像至患者身高一致[30]。

8.4 靶区勾画处方剂量的要求及建议

8.4.1 TBI靶区勾画的要求及建议

8.4.1.1 靶区勾画（基于TPS）：大体肿瘤体积（gross tumor volume，GTV）、临床靶区（clinical target volume，CTV）、内靶区（internal target volume，ITV）：无需勾画。

计划靶区（planning target volume，PTV）[7]：TPS生成“Body”外轮廓后，内收5 mm。

8.4.1.2 危及器官双侧肺部：非低剂量TBI时勾画[7,21,26]。在肺窗进行勾画（窗宽1300~1700 HU，窗位-800~-600 HU），包含延伸超出肺门区域的小血管，将双肺作为一个整体器官进行评估；确保肋骨覆盖在照射野内。在常规2~4 Gy低剂量TBI照射时，无需进行勾画[17]。

双侧睾丸、胸壁：加量时需勾画。

双侧肾、晶状体、腮腺、甲状腺、肝脏：不常规勾画，临床医师判断如需保护相应器官，则进行勾画。

8.4.2 TBI处方剂量的要求及建议

8.4.2.1 清髓性预处理方案（myeloablative conditioning，MAC）：12~15 Gy，2次/d或3次/d，1.5~2 Gy/次，3~5 d[7]；12 Gy，1次/d，3 Gy/次，4 d[21]；10~16 Gy，3次/d，1.2~1.35 Gy/次，3~5 d[21]；10~16 Gy，2次/d，1.5~2 Gy/次，3~5 d[21]；4 Gy，1次/d，1次，1 d[21]；7.7~8 Gy，1次/d，1次，1 d[2,18]。

8.4.2.2 非清髓性（non-myeloablative conditioning，N-MAC）或降低强度预处理方案（reduced intensity conditioning，RIC）：2~8 Gy，2次/d或3次/d，1.5~2 Gy/次，1~2 d[7]；2~5 Gy，1次/d，1次，1 d[20-21]；对于无法耐受MAC的患者，例如年龄≥55岁、存在基础疾病、既往接受过清髓性放疗、既往接受过高强度治疗的复发难治患者等，考虑进行该方案[7,18,21]。

8.4.2.3 强化预处理方案：12~13.8 Gy，2次/d，3~3.45 Gy/次，2~4 d[18,21]；9 Gy，1次/d或2次/d，2.25~4.5 Gy/次，2 d[18]；对于顽固性白血病患者，该方案可能减少高恶性肿瘤负荷，改善生存[18]。

8.4.2.4 放疗间隔：两次放疗时间的间隔应至少大于4~6 h[21]。

8.4.2.5 局部加量：睾丸如需加量，在分次全身照射（fractionated total body irradiation，fTBI）的第2天或第3天进行[21]。

有中枢神经系统侵犯的患者（成人或儿童），在脑脊髓照射（craniospinal irradiation，CSI）后进行TBI较为常见，预处理方案为[31]：RIC（2 Gy）；MAC，需将总剂量减去CSI剂量。在TBI后进行CSI并不常见，某些情况下可用于防止allo-HSCT后复发[2]。

8.4.2.6 分割模式概述：目前TBI的国内常见预处理方案见附录A。

单次TBI[32]：但采取该方案的机构不多，临床研究结果有限（2B）；

fTBI：较常用[20,22,33-35]，可提高疗效、减少早晚期不良反应、减少总治疗时间。

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

8.4.3 危及器官剂量的要求及建议

肺剂量率<4~6 cGy/min(2B)(ACR-ASTRO[7,36]:很多中心 TBI 剂量率已小于 2 cGy/min,有些只有 1 cGy/min);平均剂量 8~10 Gy[5,7,17,21];总剂量<8~10 Gy(MAC 时)[7];$V_{12\,Gy}$<2%(总剂量 12 Gy,2 Gy/次,6 次照射时)[21]。

双肾、脑平均剂量 11.1~11.8 Gy,双肾 $V_{12\,Gy}$<0%、脑 $V_{12\,Gy}$<5%(总剂量 12 Gy,2 Gy/次,6 次照射时)[21]。

8.5 计划设计方案及剂量限值

大野静态照射:尽可能采用一个大射野,避免多个邻近射野,确保剂量均匀度满足处方要求(如在±10%之内),其余正常组织(双肺、肾、晶体等)得到适当屏蔽以满足临床需求。动态野调强照射:确保 90% 靶区体积满足 100% 的处方剂量。TBI 放疗计划方案与计划评估流程见图 4。

8.5.1 能量选择

TBI 技术能量选择范围参考钴-60 到 25 MV 能量 X 线。

8.5.2 剂量率选择

见 8.4.2 TBI 处方剂量的要求及建议。

8.5.3 大野静态照射

固定单野照射方法:固定单野照射方法是较常用的一种方法。

四野照射法:患者仰、侧卧在床上,采用 AP/PA 照射,见图 5。

前后两野对穿照射法:患者侧卧于床上(见图 5),站立位或半坐立位,采用 AP/PA 照射;儿童患者可在矮床采用躺卧“蛙腿”位。

双侧位照射法:射线分别从身体两侧(右/左、左/右)入射。

剂量计算:根据 AAPM 17 号报告[5],TBI 输出剂量计算如下,见图 6;

绝对剂量标定,标定时使用的最大射野大小和最大模体,标定得到模体深度 d 处的标准剂量;

对测量的绝对剂量进行修正。修正的原则其一保证模体足够大可以接受来自射野的全部剂量,其二是保证可以测量到足够深的剂量;

计算 TBI 输出量(monitor number, MU),见公式(1):

$$MU = \frac{D_p}{OF(d)\cdot k_s\cdot k_d} \quad (1)$$

式中:

D_p——处方剂量(单位:cGy);

OF(d)——标定时所测的深度 d 处单位 MU 的输出剂量(单位:cGy);

k_s——模体垂直射野面积尺寸的散射修正系数,见表 3;

k_d——为模体深度尺寸的散射修正系数,见表 4。

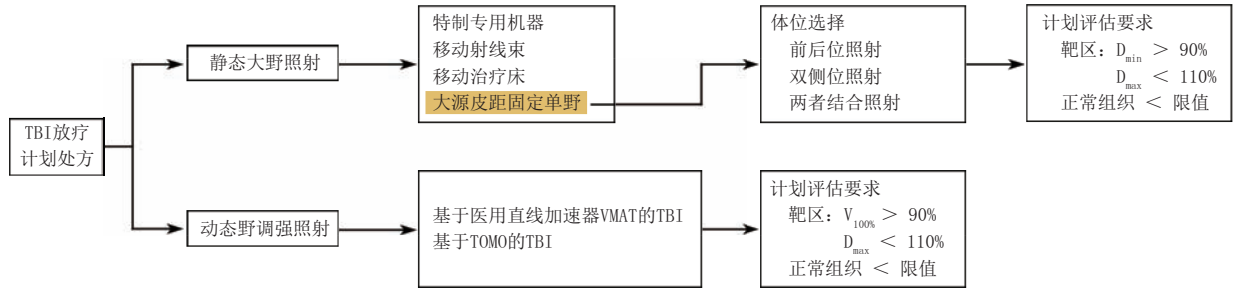
8.5.4 动态调强照射

8.5.4.1 基于 LINAC 的 VMAT 照射可以分为常规 SSD 下的照射和非常规 SSD 下的照射。常规 SSD 下的 VMAT 照射无需特殊设备。计划时,一般会将 PTV 分为几个部分,设置多个等中心点进行 VMAT 计划,等中心实际数量取决于患者的生理解剖结构。非常规 SSD 下的照射一般在 170 cm 以上的延长 SSD 上进行[30],通常会使用多叶准直器运动来屏蔽重点危及器官。在治疗实施前需对束流模型进行验证,以确认其在延长 SSD 下的适用性。

8.5.4.2 基于 TOMO 的照射技术计划优化过程主要分为以下两步:根据靶区与危及器官的几何解剖关系和靶区解剖纵向长度,选择合适的铅门宽度和螺距值,选择计算网格,初步计算计划所需的全部子野;优化靶区和危及器官的权重,不断优化迭代出临床需要的剂量分布。

8.5.5 剂量修正方案

8.5.5.1 组织补偿物:需要提高皮肤剂量时,可在体表贴补偿膜;需要减少皮肤剂量时,可使用补



注:VMAT 为容积弧形调强放射治疗;TOMO 为螺旋断层放射治疗

图 4　全身照射(TBI)放疗计划方案与计划评估流程图

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

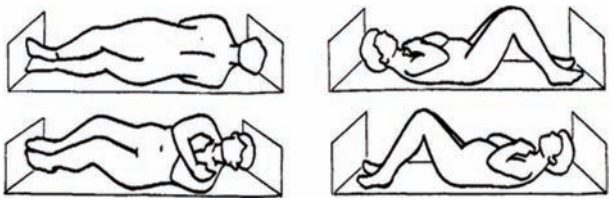


图5　四野照射法患者体位示意图

偿器。

8.5.5.2 非均匀剂量修正：对肺组织的保护，人工计算剂量时，需要根据不同的射野大小进行剂量计算；使用TPS计算时，需要对模拟定位CT扫描的的数据进行相应的修正。

骨组织的修正：低能X线照射时，使用公式(2)。

$$D_{bone} = D_{water}\left(\frac{\overline{u_{en}}}{\rho}\right)^{bone}_{water} \quad (2)$$

式中：

D_{bone}——骨头中的吸收剂量(单位：cGy)；

D_{water}——水中的吸收剂量(单位：cGy)；

$\left(\frac{\overline{u_{en}}}{\rho}\right)^{bone}_{water}$——骨头相对水的平均能量吸收系数。

高能X线照射时，使用公式(3)。

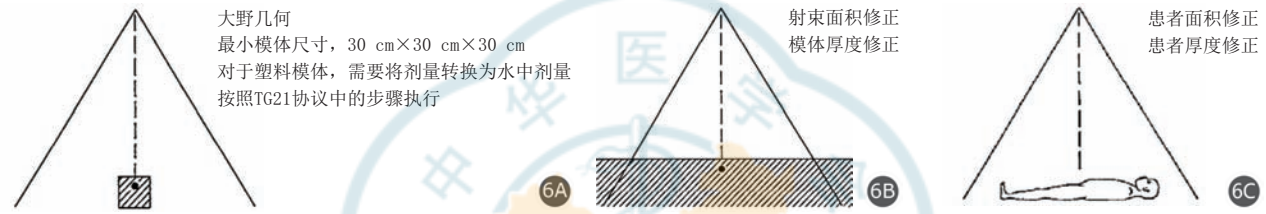


图6　全身照射(TBI)的剂量定标计算示意图　6A：绝对剂量确认；6B：全散射条件修正；6C：患者散射条件修正

表3　模体垂直射野面积尺寸的散射修正系数k_s

等效模体尺寸和深度	等效射野尺寸和能量								
	40 cm×40 cm			50 cm×50 cm			75 cm×75 cm		
	Co-60	6 MV	10 MV	Co-60	6 MV	10 MV	Co-60	6 MV	10 MV
30 cm×30 cm									
0.5 cm	1.008	–	–	1.014	–	–	1.022	–	–
1.5 cm	1.009	1.004	–	1.016	1.012	–	1.026	1.012	–
2.5 cm	1.010	1.005	1.006	1.019	1.013	1.013	1.030	1.014	1.015
5.0 cm	1.013	1.006	1.007	1.025	1.017	1.015	1.040	1.020	1.019
10.0 cm	1.024	1.014	1.011	1.043	1.029	1.021	1.065	1.037	1.024
20.0 cm	1.054	1.035	1.017	1.089	1.059	1.039	1.127	1.063	1.044
30.0 cm	1.087	–	–	1.145	–	–	1.210	–	–
40 cm×40 cm									
0.5 cm	1.000	–	–	1.007	–	–	1.014	–	–
1.5 cm	1.000	1.000	–	1.008	1.008	–	1.017	1.008	–
2.5 cm	1.000	1.000	1.000	1.009	1.009	1.007	1.020	1.010	1.010
5.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.012	1.011	1.008	1.027	1.014	1.011
10.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.019	1.014	1.009	1.040	1.022	1.012
20.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.032	1.023	1.022	1.069	1.028	1.026
30.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.054	–	–	1.113	–	–
50 cm×50 cm									
0.5 cm	1.000	–	–	1.000	–	–	1.008	–	–
1.5 cm	1.000	1.000	–	1.000	1.000	–	1.010	1.000	–
2.5 cm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.011	1.001	1.003
5.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.015	1.003	1.003
10.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.021	1.009	1.003
20.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.035	1.005	1.005
30.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.056	–	–

注：–为无数据

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

表 4　模体深度尺寸的散射修正系数 k_d

距出射体表的距离	等效射野尺寸或模体尺寸[a]和能量											
	30 cm×30 cm			40 cm×40 cm			50 cm×50 cm			75 cm×75 cm		
	Co-60	6 MV	10 MV	Co-60	6 MV	10 MV	Co-60	6 MV	10 MV	Co-60	6 MV	10 MV
0.5 cm	1.070	1.045	1.024	1.077	1.053	1.029	1.080	1.059	1.034	1.088	1.078	1.046
1.5 cm	1.058	1.031	1.020	1.067	1.040	1.026	1.074	1.048	1.030	1.082	1.070	1.042
2.5 cm	1.037	1.019	1.013	1.047	1.028	1.016	1.055	1.036	1.020	1.065	1.057	1.031
5.0 cm	1.020	1.008	1.005	1.028	1.012	1.007	1.036	1.018	1.011	1.048	1.025	1.014
10.0 cm	1.006	1.001	1.000	1.010	1.002	1.001	1.013	1.006	1.004	1.017	1.010	1.007
20.0 cm	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.000	1.000	1.002	1.000	1.000

注：[a]计算时使用等效射野尺寸或等效模体尺寸中更小者

$$D_{bone} = D_{water}\left(\frac{\overline{u_{en}}}{\rho}\right)^{bone}_{water} \cdot \overline{\overline{S^{bone}_{tissue}}} \quad (3)$$

式中：

D_{bone}——骨头中的吸收剂量（单位：cGy）；

D_{water}——水中的吸收剂量（单位：cGy）；

$\left(\frac{\overline{u_{en}}}{\rho}\right)^{bone}_{water}$——骨头相对水的平均能量吸收系数；

$\overline{\overline{S^{bone}_{tissue}}}$——骨头相对软组织的平均阻止本领大小。

8.5.5.3 患者尺寸修正：明确患者的等效三维数据，修正患者侧向和深度方向上各散射条件下的中心轴数据；根据射野大小进行靶区和正常组织的勾画修正；计算治疗时间和机器跳数时，应使用射野大小或患者尺寸中更小者进行计算；由于缺少背散射而出现的剂量不足，可通过使用补偿物和背散射物质提高相关剂量。

8.5.5.4 肺组织的保护：根据非匀质修正后的剂量数据，生成三维组织补偿物；肺部使用均匀厚度屏蔽物；部分治疗时间中对肺部使用挡铅。

8.6 计划评估与审核

8.6.1 计划评估

针对有治疗计划的照射，需要有计划评估标准。

8.6.1.1 靶区均匀度：靶区剂量均匀度要求±10%[5]，最低要求±15%[37]。

8.6.1.2 正常组织剂量限值：此部分见“8.4.3 危及器官剂量的要求及建议”。

8.6.1.3 剂量统计及分析：靶区质量指数（target quality index，TQI）值越高，表明靶区剂量分布越理想，见公式（4）。

$$TQI = \frac{\sum_j \left(\frac{HI_j}{\overline{HI_j}}\right) \cdot IF_j \cdot \left(1 - \frac{|D_{90} - 12|}{12}\right)_j}{\sum_j IF_j} \quad (4)$$

式中：

HI_j——该患者该部位 PTV 的均匀度指数；

$\overline{HI_j}$——所有患者该部位 PTV 均匀度指数的平均值；

D_{90}——靶区 90% 的体积受照射剂量；

IF_j——该 PTV 权重因子。

8.6.1.4 计划质量指数

正常组织中值剂量（D_{50}）：某一正常组织 50% 的体积的剂量值，用 D_{50} 表示；

治疗出束时间（beam on time）：指治疗时机器的实际出束时间，以 s 或 min 为单位；

实际调制因子（actual modulate factor，aMF）[38]：TOMO 和 VMAT 治疗方案都采用 MLC 来控制每个机架角度内的照射野变化，而每一个由 MLC 形成照射面积就是一个子野。经过 TPS 的优化，系统调制出每个子野的实际受照时间，其实际最长子野打开时间与实际子野平均打开时间的比值，就是实际调制因子，见公式（5）。

$$aMF_{实际} = \frac{最长子野打开时间_{实际}}{子野平均打开时间_{实际}} \quad (5)$$

aMF 描述了计划中 MLC 运动的复杂性。aMF 的数值越高，MLC 运动的复杂性就越高，调制的自由度越高，实际治疗时间增加。

正常组织质量指数（normal - tissue quality index，NQI）[38]：用于对正常组织的剂量分布进行评估，NQI 值越低，表明正常组织剂量保护相对越好，见公式（6）。

$$NQI = \frac{\sum_i \left(\frac{D_{50}}{\overline{D_{50}}}\right)_i \cdot IF_i}{\sum_i IF_i} \quad (6)$$

式中：

i——某一正常组织；

D_{50}——患者该正常组织的中值剂量（单位：

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

cGy）；

$\overline{D_{50}}$——所有患者的该正常组织中值剂量的平均值（单位：cGy）；

IF_i——该正常组织的权重因子，其数值由该正常组织的剂量限值的重要性所决定。IF 值越高，组织剂量限值要求更严格，对靶区剂量影响更大。

朱峰等[38]设定双肺、肝脏和大脑组织的 IF 值为 3，其余组织为 1，头颈、胸腹、盆腔以及四肢部位靶区的 IF 值分别为 3、2、1 和 1。

计划质量指数（plan quality index，PQI）：表达为 TQI 和修正后 NQI 的比值，PQI 的值高，表面治疗计划剂量分布越理想，见公式（7）。

$$PQI = \frac{TQI}{1 + k \cdot (NQI - 1)} \tag{7}$$

式中：

TQI——靶区组织质量指数；

k——修正因子（k<1），朱峰等[38]经研究将 k 值设定为 0.369；

NQI——正常组织质量指数。

8.6.2 计划审核

8.6.2.1 计划前核对内容：核实患者资料、既往放疗史、计划申请单、TPS 和 CT 图像的名称及患者身份登记号、图像数量层厚及治疗部位，检查心脏起搏器、伪影，设置激光定位点，确认等中心，导入轮廓等。

8.6.2.2 计划过程中检查内容：检查处方剂量与剂量分次，检查靶区与正常组织，包括零散像素点、勾画密度覆盖区域（铅点/伪影等）、靶区的命名、修正靶区外放。

8.6.2.3 射野设置检查：检查治疗机器的编号、机架、治疗床、准直器、射野能量、移床值（取整）、射野类型、相邻衔接野或重叠界的剂量分布等。

8.6.2.4 计划剂量计算检查：计算网格覆盖全身靶区和正常器官，剂量算法选择正确，计算点放置、深度、不均匀性的准确性。

8.7 计划剂量验证规范及要求

8.7.1 计划剂量验证

预照剂量为正式照射剂量的 1/10，根据预照射结果对正式照射进行调整。采用剂量计（AAPM TG21）、验证模体（AAPM 17 号报告）[5]验证。

8.7.2 实时剂量验证

采用热释光剂量计（thermoluminescence dosimeter，TLD）和多通道半导体剂量计。实时剂量监测点一般放置在生理结构不均匀处，如颈部、胸部、肚脐、臀部、膝盖等[5]，及有低剂量限值的正常组织处，如肺、晶状体、生殖器官等。

8.7.3 验证标准

点剂量偏差为±3%，γ 分析（3%/3 mm）通过率大于 90%。

8.8 放疗计划流程

包括治疗前准备、治疗参数确认、摆位、位置验证、图像引导验证、治疗实施等步骤。

9 全身照射质量控制与管理

9.1 设备质控规范及机械、剂量、影像精度要求

TBI 治疗技术与常规技术不同，通常需要特殊的数据验收方法，参考 AAPM 17 号报告[5]中提出的的建议，治疗技术验收需要采集的数据见下述。

9.1.1 中心轴数据

模体中的剂量转换系数、百分深度剂量、组织-模体转换系数、组织-最大点转换系数。测量模体尺寸有限时，采集的数据需根据模体尺寸进行修正；测量模体深度剂量时，使用圆柱形电离室；测量模体建成区的剂量时，使用平行板电离室。

9.1.2 平方反比测量

在治疗距离下测量所有使用的大照射野输出剂量的平方反比性能；如以上测量结果显示 2% 以上的误差，需要对该距离上的射束性能进行平方反比的修正。

9.1.3 输出因子

测量时需考虑地板和墙壁的散射，避免在空气中测量输出因子；在治疗用照射野的大小下测量输出因子；如果治疗时需使用托架和滤线装置，则测量输出因子时需安装这些装置。

9.1.4 百分深度曲线

百分深度曲线与基准值偏差不应超过 1 mm。

9.1.5 离轴剂量曲线

测量不同深度下的离轴剂量曲线，与基准值偏差不应超过 1%；可通过改良均整器提高射线的平坦度。

9.1.6 衰减后数据

在治疗条件下，测量至少 3 个射野大小的衰减系数；用于治疗时计算的射束系数：射野足够大时，取决于吸收体的大小；吸收体足够大时，取决于射野的大小。

9.2 治疗控制规范及要求

9.2.1 模拟定位机的质控

具体操作方法和精度要求可参考 AAPM

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

TG66报告进行。

9.2.2 治疗机质控

参考国家肿瘤质控中心《医用电子直线加速器质量控制指南》[39]、《螺旋断层放疗的日常质量控制与质量保证》[40]文件。其中《医用电子直线加速器质量控制指南》特殊照射技术年检要求见表5。

表5　《医用电子直线加速器质量控制指南》特殊照射技术年检要求

年检项目	容差
全身照射/全身皮肤电子束照射功能检测	功能正常
全身照射/全身皮肤电子束照射附件检测	功能正常
全身照射/全身皮肤电子束照射输出量校准	≤2%
全身照射/全身皮肤电子束照射能量和离轴剂量曲线稳定性	离轴剂量曲线与基准值偏差不应超过1%，百分深度剂量曲线与基准值偏差不应超过1 mm

9.2.3 剂量监测仪的质控

电离室需要依据AAPM TG21[41]报告在水中进行绝对剂量的标定；用于延长SSD下单野照射计划剂量测定的电离室标定依据参考AAPM 17号报告[5]。

附录A　全身照射的国内常用预处理方案（资料性）

表A.1所示为指南中TBI处方剂量的要求及建议“8.4.2.6分割模式概述”内容中提及的目前TBI的国内常见预处理方案。

表A.1　全身照射（TBI）的国内常用预处理方案

预处理方案	使用剂量	应用时间（d）
清髓性预处理方案		
TBI+Cy		
Cy	120 mg/kg	−6~−5
fTBI	12~14 Gy	−3~−1
改良方案TBI+Cy		
TBI	770 cGy	−6
Cy	3.6 g/m^2	−5~−4
MeCCNU	250 mg/m^2	−3
改良方案Cy+TBI+ATG		
TBI	770 cGy	−6
Cy	3.6 g/m^2	−5~−4
MeCCNU	250 mg/m^2	−3
ATG 或ATG-F	10 mg/kg 40 mg/kg	−5~−2
非清髓性或降低强度预处理方案		
TBI+Cy+ATG		
TBI	单次4 Gy	−5
Cy	120 mg/kg	−4~−3
ATG	需个体化选择	需个体化选择
强化方案		
TBI+Cy+Vp16		
Cy	120 mg/kg	−6~−5
Vp16	30~60 mg/㎡，每12 h 1次	−4
fTBI	12~13.8 Gy	−3~−1
TBI+Cy+TT		
fTBI	13.8 Gy	−9~−6
TT	10 mg/kg	−5~−4
Cy	120 mg/kg	−6~−5

注：回输干细胞第1天定义为“0”，其前用“−”几天表示，其后用“+”几天表示；Cy为环磷酰胺；fTBI为分次全身照射；MeCCNU为甲环亚硝脲；ATG为抗胸腺细胞球蛋白；ATG-F为费森尤斯生产的兔抗淋巴细胞球蛋白；Vp16为依托泊苷；TT为塞替哌

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

执笔人　余奇、张凤娇、高正心（泰和诚医疗集团、上海泰和诚肿瘤医院、上海美中嘉和肿瘤门诊部）

致谢　本指南项目申请单位泰和诚医疗集团及合作单位上海交通大学医学院附属瑞金医院、中日友好医院、武汉大学中南医院、中国医学科学院肿瘤医院、中山大学附属肿瘤医院、山东省肿瘤医院，感谢放疗质控专家委员会委员在指南审定过程中提供的专家意见（名单在下方列出，其中委员排名不分先后）；感谢第一届放疗质控专家委员会委员在指南立项中反馈的专家意见；感谢何海青编辑（《中华放射肿瘤学杂志》编辑部）对指南稿件编排规范给予的专业意见；感谢指南起草小组成员在指南起草过程中付出的努力；感谢放疗质控专家委员会秘书处在指南征集、修订、印刷发布过程中的付出；感谢史晓婷、李想、凌浪花（泰和诚医疗集团医学部）在指南文献查阅方面付出的努力；感谢国家肿瘤质控中心放疗质控指南项目（201905）、上海市黄浦区卫生健康系统科研项目（HLZ202218）提供的支持

本指南主要起草人　傅深、李左峰（泰和诚医疗集团），陈佳艺（上海交通大学医学院附属瑞金医院），朱广迎（中日友好医院），谢丛华（武汉大学中南医院），戴建荣（中国医学科学院肿瘤医院），邓小武（中山大学附属肿瘤医院），尹勇（山东省肿瘤医院）

本指南审定人　王平（天津市肿瘤医院）、王军（河北省肿瘤医院）、王奋（海南省人民医院）、王晖（湖南省肿瘤医院）、王小虎（中国科学院近代物理研究所/兰州重离子医院）、王若峥（新疆医科大学附属肿瘤医院）、王俊杰（北京大学第三医院）、王绿化（中国医学科学院肿瘤医院深圳医院）、卢冰（贵州医科大学附属医院/贵州省肿瘤医院）、申良方（中南大学湘雅医院）、白彦灵（哈尔滨医科大学附属肿瘤医院）、曲宝林（中国人民解放军总医院第一医学中心）、朱小东（广西医科大学附属肿瘤医院）、刘士新（吉林省肿瘤医院）、刘孟忠（中山大学附属肿瘤医院）、李光（中国医科大学附属第一医院）、李红卫（山西省肿瘤医院）、李金高（江西省肿瘤医院）、李宝生（山东省肿瘤医院）、李晔雄（中国医学科学院肿瘤医院）、杨怡萍（陕西省肿瘤医院）、吴永忠（重庆市肿瘤医院）、吴君心（福建省肿瘤医院）、邱杰（北京协和医院）、何侠（江苏省肿瘤医院）、张福泉（北京协和医院）、陈凡[青海大学附属（肿瘤）医院]、陈传本（福建省肿瘤

中华医学会杂志社 Chinese Medical Association Publishing House　版权所有　违者必究

医院）、陈晓钟[中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）]、郁志龙（内蒙古医科大学附属医院）、易俊林（中国医学科学院肿瘤医院）、金晶（中国医学科学院肿瘤医院深圳医院/中国医学科学院肿瘤医院）、郎锦义（四川省肿瘤医院•电子科技大学医学院附属肿瘤医院）、赵仁（宁夏医科大学肿瘤医院）、胡伟刚（复旦大学附属肿瘤医院）、胡德胜（湖北省肿瘤医院）、柏森（四川大学华西医院）、袁智勇（天津市肿瘤医院）、倪昕晔（常州市第二人民医院）、鄂明艳（哈尔滨医科大学附属肿瘤医院）、章真（复旦大学附属肿瘤医院）、葛红（河南省肿瘤医院）、魏世鸿（甘肃省肿瘤医院）

参 考 文 献

[1] 全国医用电器标准化技术委员会.医用放射学术语(放射治疗、核医学和辐射剂量学设备): GB/T17857-1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
Electrical Equipment In Medical Practice. Medical radiology—terminology (equipment for radiotherapy, nuclear medicine and radiation dosimetry): GB/T17857-1999[S]. Beijing: Standards Press of China, 1999.

[2] 贺鹏程, 张梅. 造血干细胞移植规范化应用新进展[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2013.
He PC, Zhang M. New Progress in Standardized Application of Hematopoietic Stem Cell Transplantation [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2013.

[3] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 中国原子能出版社, 1999.
Hu YM. Radiation Oncology Physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999.

[4] Thomas ED, Storb R, Buckner CD. Total-body irradiation in preparation for marrow engraftment[J]. Transplant Proc, 1976,8(4):591-593.

[5] Dyk JV, Galvin JM, Glasgow GP, et al. AAPM report No. 17: the physical aspects of total and half body photon irradiation[R/OL]. (2015-12-01) [2023-02-02]. https://documents. pub/document/aapm-report-no-17-the-physical-aspects-of.html?page=1.

[6] Rosenberg, I, Podgorsak EB. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students[J]. British Journal of Cancer, 2008, 98(5):1020-1020.

[7] Wolden SL, Rabinovitch RA, Bittner NH, et al. American College of Radiology (ACR) and American Society for Radiation Oncology (ASTRO) practice guideline for the performance of total body irradiation (TBI) [J]. Am J Clin Oncol, 2013, 36(1): 97-101. DOI: 10.1097/COC. 0b013e31826e0528.

[8] 国家肿瘤诊疗质控中心放疗质控专家委员会, 赫捷, 王绿化, 等. 放射治疗质量控制基本指南[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(4): 335-342. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1004-4221.2018.04.001.
Committee of Quality Control in Radiotherapy, He J, Wang LH, et al. Basic guidelines of quality control for radiotherapy[J]. Chin J Radiat Oncol, 2018, 27(4): 335-342. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.04.001.

[9] Nelligan R, Bailey M, Tran T, et al. ACPSEM ROSG TBI working group recommendations for quality assurance in total body irradiation[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2015,38(2):205-215. DOI: 10.1007/s13246-015-0344-7.

[10] Leung PM, Rider WD, Webb HP, et al. Cobalt-60 therapy unit for large field irradiation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1981, 7(6): 705-712. DOI: 10.1016/0360-3016(81)90461-2.

[11] 中华人民共和国卫生部. 放射诊疗管理规定:卫生部令第46号[A/OL].(2006-03-01)[2023-02-02]. http://www.nhc.gov. cn/wjw/c100022/202201/fd58562f5ee6406a8788287a7f65fbab.shtml.
Ministry of Health of the People's Republic of China. Regulations for the administration of radiological diagnosis and treatment: Order No. 46 of the Ministry of Health[A/OL]. (2006-03-01) [2023-02-02].. http://www.nhc.gov.cn/wjw/c100022/202201/fd58562f5ee6406a8788287a7f65fbab.shtml.

[12] Giebel S, Miszczyk L, Slosarek K, et al. Extreme heterogeneity of myeloablative total body irradiation techniques in clinical practice: a survey of the Acute Leukemia Working Party of the European Group for Blood and Marrow Transplantation[J]. Cancer, 2014, 120(17): 2760-2765. DOI: 10.1002/cncr.28768.

[13] Niederwieser D, Baldomero H, Szer J, et al. Hematopoietic stem cell transplantation activity worldwide in 2012 and a SWOT analysis of the worldwide network for blood and marrow transplantation group including the global survey [J]. Bone Marrow Transplant, 2016, 51(6): 778-785. DOI: 10.1038/bmt.2016.18.

[14] D'Souza A, Fretham C, Lee SJ, et al. Current use of and trends in hematopoietic cell transplantation in the United States[J]. Biol Blood Marrow Transplant, 2020, 26(8): e177-e182. DOI: 10.1016/j.bbmt.2020.04.013.

[15] NCCN. Guidelines for acute myeloid leukemia: Version 1, 2022[R/OL]. (2021-12-02) [2023-02-02]. http://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/aml.pdf.

[16] NCCN. Guidelines for acute lymphoblastic leukemia: Version 1, 2022[R/OL]. (2022-04-04) [2023-02-02]. http://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/all.pdf.

[17] Trifiletti DM, Zaorsky NG. Absolute Clinical Radiation Oncology Review[M]. Cham: Springer, 2019.

[18] Zhang XH, Chen J, Han MZ, et al. The consensus from the Chinese Society of Hematology on indications, conditioning regimens and donor selection for allogeneic hematopoietic stem cell transplantation: 2021 update[J]. J Hematol Oncol, 2021, 14(1): 145. DOI: 10.1186/s13045-021-01159-2.

[19] 吕海容. 自体和同种异体造血干细胞移植的适应证:美国血液和骨髓移植指南介绍[J]. 实用器官移植电子杂志, 2015, 3(6): 321. DOI: 10.3969/j. issn. 2095-5332. 2015.06.001.
Lyu HR. Indications for autologous and allogeneic hematopoietic cell transplantation: an introduction to guidelines from the American society for blood and marrow transplantation[J]. PracticalJournal of Organ Transplantation (Electronic Version), 2015, 3(6): 321. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2015.06.001.

[20] 中华医学会血液学分会干细胞应用学组. 中国异基因造血干细胞移植治疗血液系统疾病专家共识(I)——适应证、预处理方案及供者选择(2014年版)[J]. 中华血液学杂志, 2014, 35(8): 775-780. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0253-2727.2014.08.029.
Chinese Society of Hematology, Chinese Medical Association. The consensus of allogeneic hematopoietic transplantation for hematological diseases in China(2014)—indication, conditioning regimen and donor selection [J]. Chin J Hematol, 2014, 35(8): 775-780. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2727.2014.08.029.

[21] Wong J, Filippi AR, Dabaja BS, et al. Total body irradiation:

中華醫學會雜誌社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究

guidelines from the International Lymphoma Radiation Oncology Group (ILROG) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2018,101(3):521-529. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2018.04.071.

[22] 中国抗癌协会肿瘤临床化疗专业委员会, 中国抗癌协会肿瘤支持治疗专业委员会. 肿瘤化疗导致的中性粒细胞减少诊治专家共识(2019 年版)[J]. 中国肿瘤临床,2019,46(17): 876-882. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8179.2019.17.913.
The Society of Chemotherapy, Chinese Anti-Cancer Association; Committee of Neoplastic Supportive-care (CONS) China Anti-Cancer Association. Consensus on the clinical diagnosis, treatment, and prevention of chemotherapy-in-duced neutropenia in China (2019 edition) [J]. Chin J Clin Oncol, 2019, 46(17): 876-882. DOI: 10.3969/j.issn.1000-8179.2019.17.913.

[23] 中国临床肿瘤学会指南工作委员会. 肿瘤放化疗相关中性粒细胞减少症规范化管理指南[J]. 中华肿瘤杂志,2017, 39(11): 868-878. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0253-3766. 2017.11.011.
Chinese Society of Clinical Oncology Guidance Working Committee. Guidelines for standardized management of neutropenia induced by chemotherapy and radiotherapy [J].Chin J Oncol,2017,39(11):868-878. DOI: 10.3760/cma. j.issn.0253-3766.2017.11.011.

[24] 中国临床肿瘤学会(CSCO)抗白血病联盟, 中国临床肿瘤学会(CSCO)抗淋巴瘤联盟. 急性白血病化疗所致血小板减少症诊疗中国专家共识[J]. 白血病・淋巴瘤,2019,28(4): 193-197.DOI:10.3760/cma.j.issn.1009_9921.2019.04.001.
Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO) Anti-Leukemia Alliance, Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO) Anti-Lymphoma Alliance. Chinese expert consensus on the diagnosis and treatment of chemotherapy-induced thrombocytopenia with acute leukemia[J]. Journal of Leukemia & Lymphoma, 2019, 28(4): 193-197. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 1009_9921. 2019.04.001.

[25] Kaufman RM, Djulbegovic B, Gernsheimer T, et al. Platelet transfusion: a clinical practice guideline from the AABB [J]. Ann Intern Med, 2015,162(3):205-213. DOI: 10.7326/M14-1589.

[26] American College of Radiology. ACR practice guideline for radiation oncology[EB/OL] (2023) [2023-02-02]. https://www. acr. org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/RadOnc.pdf.

[27] Teruel JR, Taneja S, Galavis PE, et al. Automatic treatment planning for VMAT-based total body irradiation using Eclipse scripting[J]. J Appl Clin Med Phys, 2021, 22(3): 119-130. DOI: 10.1002/acm2.13189.

[28] Wills C, Cherian S, Yousef J , et al. Total body irradiation: a practical review[J]. Applied Radiation Oncology, 2016, 2(2):11-17. DOI: 10.37549/ARO1097.

[29] Mancosu P, Navarria P, Castagna L, et al. Anatomy driven optimization strategy for total marrow irradiation with a volumetric modulated arc therapy technique[J]. J Appl Clin Med Phys,2012,13(1):3653.DOI:10.1120/jacmp.v13i1.3653.

[30] Pierce G, Balogh A, Frederick R, et al. Extended SSD VMAT treatment for total body irradiation[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019,20(1):200-211. DOI: 10.1002/acm2.12519.

[31] Hiniker SM, Agarwal R, Modlin LA, et al. Survival and neurocognitive outcomes after cranial or craniospinal irradiation plus total-body irradiation before stem cell transplantation in pediatric leukemia patients with central nervous system involvement[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys,2014,89(1):67-74.DOI:10.1016/j.ijrobp.2014.01.056.

[32] Kelsey CR, Horwitz ME, Chino JP, et al. Severe pulmonary toxicity after myeloablative conditioning using total body irradiation: an assessment of risk factors[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 81(3): 812-818. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.06.058.

[33] Belkacemi Y, Labopin M, Sebastian G, et al. Standard versus single dose-daily fractionated total body irradiation schedules prior to allotransplant for acute leukemia: The sarasin study from the Acute Leukemia Working Party of the European Society for Blood and Marrow Transplantation (EBMT) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2017, 99(2): S177-S178. DOI: 10.1016/j. ijrobp. 2017.06.446.

[34] Luger SM, Ringdén O, Zhang MJ, et al. Similar outcomes using myeloablative vs reduced-intensity allogeneic transplant preparative regimens for AML or MDS[J]. Bone Marrow Transplant, 2012, 47(2): 203-211. DOI: 10.1038/bmt.2011.69.

[35] Straathof KC, Rao K, Eyrich M, et al. Haemopoietic stem-cell transplantation with antibody-based minimal-intensity conditioning: a phase 1/2 study[J]. Lancet, 2009, 374(9693): 912-920. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)60945-4.

[36] Kim DY, Kim IH, Yoon SS, et al. Effect of dose rate on pulmonary toxicity in patients with hematolymphoid malignancies undergoing total body irradiation[J]. Radiat Oncol, 2018,13(1):180.DOI:10.1186/s13014-018-1116-9.

[37] Ozsahin M, Pène F, Touboul E, et al. Total-body irradiation before bone marrow transplantation. Results of two randomized instantaneous dose rates in 157 patients[J]. Cancer, 1992, 69(11): 2853-2865. DOI: 10.1002/1097-0142(19920601)69: 11< 2853:: aid-cncr2820691135> 3.0.co;2-2.

[38] 朱峰, 楼晓, 常冬姝, 等. 基于螺旋断层放射治疗技术的全骨髓照射治疗计划设计质量评估方法研究[J]. 中国医学装备 , 2018, 15(12): 48-52. DOI: 10.3969/J. ISSN. 1672-8270.2018.12.012.
Zhu F, Lou X, Chang DS, et al. A preliminary study for the quality assessment method of treatment plan design of total marrow irradiation based on tomotherapy technique [J]. China Medical Equipment, 2018, 15(12): 48-52. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2018.12.012.

[39] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心. 医用电子直线加速器质量控制指南[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2020, 29(4): 241-258.DOI:10.3760/cma.j.cn113030-20200212-00001.
National Cancer Center/ National Cancer Quality Control Center. Quality control guidelines for medical electronic linear accelerators[J]. Chin J Radiat Oncol, 2020, 29(4): 241-258.DOI:10.3760/cma.j.cn113030-20200212-00001.

[40] 文婷, 黎静, 张晋建, 等. 螺旋断层放疗的日常质量控制与质量保证[J]. 中国医疗设备,2013,(7):50-52. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2013.07.018.
Wen T, Li J, Zhang JJ, et al. Quality control and quality assurance of helical tomotherapy[J]. China Medical Devices, 2013, (7): 50-52. DOI: 10.3969/j. issn. 1674-1633. 2013.07.018.

[41] Paul JM, Koch RF, Philip PC. AAPM task group 21 protocol: dosimetric evaluation[J]. Med Phys, 1985, 12(4): 424-430. DOI: 10.1118/1.595704.

中華醫學會雜誌社 Chinese Medical Association Publishing House 版权所有 违者必究