

# sIMRT放疗技术在临床中的应用

熊 靛<sup>1</sup>, 肖泽民<sup>1\*</sup>, 田 伟<sup>2</sup>, 郭 靖<sup>1</sup>

<sup>1</sup>吉首大学医学院, 湖南 吉首

<sup>2</sup>中南大学湘雅医学院附属常德医院, 湖南 常德

收稿日期: 2023年12月17日; 录用日期: 2024年1月11日; 发布日期: 2024年1月17日

## 摘 要

简化调强(Simplified Intensity Modulated Radiation Therapy, sIMRT)技术是在调强放疗技术基础上提出的一种放疗技术, 其与三维适形放疗(3D imensional Conformal Radiation Therapy, 3DCRT)相比, 有着更好的适形度及均匀度。与调强放疗(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT)相比, 减少了总治疗时间, 减轻了患者的经济负担, 降低了机器损耗, 具有其独特优势。本文综述基于简化调强技术与三维适形放疗、调强放疗等技术的剂量学以及控费降耗方面的对比, 旨在证实sIMRT具备简易可行、性价比高和时效性好、在现行医保支付模式下具有一定优势等特点, 为其在临床应用中提供选择依据。

## 关键词

简化调强放疗, 适形调强放疗, 三维适形放疗, 临床应用

# The Clinical Application of sIMRT Radiotherapy Technology

Liang Xiong<sup>1</sup>, Zemin Xiao<sup>1\*</sup>, Wei Tian<sup>2</sup>, Jing Guo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Medicine, Jishou University, Jishou Hunan

<sup>2</sup>Changde Hospital, Xiangya School of Medicine, Central South University, Changde Hunan

Received: Dec. 17<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 11<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Simplified intensity modulated radiation therapy (sIMRT) is a radiotherapy technique proposed on the basis of intensity modulated radiotherapy (IMRT). Compared with 3D imensional Conformal Radiation Therapy (3DCRT), it has better conformance and uniformity. Compared with inten-

\*通讯作者。

city-modulated radiation therapy (IMRT), it reduces the total treatment time, the economic burden of the patients, the loss of the machine, with its unique advantage. Based on the comparison of dosimetry and cost reduction of simplified intensity modulation technology with 3D conformal radiotherapy, intensity modulation radiotherapy and other technologies, this paper aims to prove that sIMRT is simple and feasible, cost-effective and time-efficient, and has certain advantages under the current medical insurance payment mode, so as to provide a selection basis for its clinical application.

## Keywords

sIMRT, IMRT, 3DCRT, Clinical Application

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着现代计算机技术和医学影像技术的融合发展, 肿瘤放射治疗进入了一个全新的时代, 在放疗技术层面, 肿瘤放疗技术的一次飞跃是 3DCRT 的提出, 它标志着放疗进入了精准放疗时代, 极大程度地降低肿瘤局部复发率及放疗并发症发生的几率[1]。而基于三维适形放疗技术发展的 IMRT 不仅有着更好的靶区的适形度, 同时对于靶区周围危及器官的保护具有更好的优势[2]。其被称为是放射肿瘤史上的一次变革, 毫无疑问, 该技术已在世界范围内不断推广和流行, IMRT 将占据本世纪初期放疗技术的主流地位[3] [4]。sIMRT 是在调强放疗技术基础上由我国中国医学科学院肿瘤医院提出的一种实用性很强的放疗技术, 其与 IMRT 相比, 其减少了患者的经济负担, 降低了机器损耗, 有自己的特点和适用范围[5]。

## 2. sIMRT 的提出背景及定义

放射治疗是通过不同能量的射线照射肿瘤, 以抑制和杀灭癌细胞为目的的一种治疗方法, 是现在主要的肿瘤治疗手段之一。在现行的放疗技术中, 三维适形放射治疗技术利用多叶光栅或适形挡铅技术, 将照射野的形状由既往普通放疗的方形或者矩形调整为肿瘤的形状, 在人体内的立体三维空间上, 照射的高剂量区与肿瘤实际形状一致[6]。它的优点在于靶区的适合度较常规治疗大有提高, 从而能够在正常组织受到允许剂量照射的前提下, 提高肿瘤的照射剂量, 达到保护肿瘤周围正常组织的目的, 降低了放疗并发症的发生几率, 肿瘤的控制率也得到了进一步提高。同时单次剂量的提高减少了总治疗时间。然而三维适形放疗的剂量均匀度欠佳是在临床应用中限制其应用的主要原因, 由于剂量分布原因, 靶区优势相对不明显[7]。

而调强放射治疗技术的提出是肿瘤放疗治疗史上的一个巨大突破, 是当前最先进的放疗技术之一。其把一束射线分解为几百束细小的射线, 并且分别调节每一束射线的强度, 以一种在时间和空间上复杂变化的形式进行照射。各个照射野内不同点的束流强度调节达到了剂量分布于靶体积的立体适形, 从而做到均匀的高剂量照射, 而正常组织受到最大限度的保护[8]。IMRT 技术在治疗过程中, 加速器治疗机可以多角度旋转, 对于肿瘤靶点的作用更加精确。相较 3DCRT, IMRT 可以调节射束强度, 在三维层面上使肿瘤可以接受高剂量照射, 从而有效地提高了放疗精确度, 减少了放疗并发症[9] [10] [11]。强大的

计算机程序是促使调强放射治疗技术得以实现的最重要的技术突破[12],其不仅可以利用逆向计划从正面计算靶区剂量分布参数,也可以借助逆向算法来审核及验证靶区剂量,从而确保了射野分布可以处于最佳状态[13]。相对于三维适形放疗,IMRT在剂量分布均匀度与适形度、危及器官受照射剂量减低方面均有更好的优势[8]。但不可避免,计划治疗的复杂性显著增加使总治疗时间延长,而治疗时间的延长中可能会引起病人治疗体位的改变以及治疗剂量投照的不确定性增加。在治疗过程中,准直器的反射可能会使病人的全身和正常组织受照量增加,从而引发放疗副反应[14][15]。另外,长时间放射治疗过程中,肿瘤细胞对放射线的致死损伤修复能力增加,从而使肿瘤细胞的生物效应下降[16]。除此之外,因常规静态调强子野数目多,面积小,每个子野的机器跳数少,所以治疗计划执行的结果与治疗系统的计算结果可能会有偏差[17]。所以,调强放疗分次治疗的总时间延长可能会对治疗结果产生很大的影响。

基于三维适形放疗的剂量均匀度欠佳及基于调强放疗复杂性衍生出的缺陷,国内外有不少关于调强放疗简化的研究,提出了很多简化调强的方案,包括直接子野优化技术,限制每个子野的强度分级数目,限制每个主射野的最大子野数目,限制最小机器跳数等方法来简化调强计划[18]。中国医学科学院肿瘤医院戴建荣教授等在国内外相关研究的基础上提出了一种新的简化调强技术,是指射野总数 $\leq 5$ 、单个射野子野数 $\leq 5$ 、子野面积 $\geq 10\text{ cm}^2$ 、单子野照射机器跳数 $\geq 10\text{ MU}$ 的一种调强放疗技术。它综合了三维适形放疗及调强放疗的优点,在计划设计和治疗实施环节与IMRT相同,所以对比三维适形放疗简化调强放疗技术有更好的剂量分布均匀度与适形度。其计划验证按照3DCRT标准执行。所以它的子野面积和机器跳数值已接近3DCRT的相应值,这有效的减少了总治疗时间。其在临床中已经广泛应用于多个癌种,包括肺癌、食道癌、直肠癌、乳腺癌、脑膜瘤等全身各部位的肿瘤的放射治疗。它在射野方向的选择包括:对于靶区形状相对比较规则如直肠癌、食道癌等肿瘤,其有较固定的射野方向,直肠癌的射野方向为 $265^\circ$ 、 $315^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、和 $95^\circ$ ,食道癌的射野方向为 $210^\circ$ 、 $310^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $50^\circ$ 和 $150^\circ$ 。在实际临床应用中,如果病变略偏向一侧,可以稍微调整射野方向。但是肺癌由于靶区形状的特点,所以它的射野方向选择比较复杂,而根据在横截面上沿靶区的长轴和短轴都要有射野通过且射野尽量集中在患侧的原则,为了达到不使靶区欠量的目的,所以一定要有射野略偏向健侧。而计划结果可以用截面剂量图及DVH图进行评价,进一步调整优化条件,直至满足临床的需要[5][19]。

随着简化调强放疗技术在临床中应用的增多,其临床价值逐渐显现。许多研究都表明了简化调强方案可以满足临床需求,也可以达到减少医疗费用、仪器损耗的目的。

### 3. sIMRT 的临床应用

#### 3.1. 头颈部肿瘤

sIMRT技术广泛应用于多个癌种,在头颈部肿瘤中主要应用于鼻咽癌、脑转移瘤等。对于鼻咽癌患者来说,目前的首选治疗手段是放射治疗[20]。鼻咽癌因病灶多紧邻周围器官或组织,所以目前IMRT是鼻咽癌放疗的主要手段之一。李凯旋[21]的研究表明,在一些复杂的鼻咽癌病例中,IMRT与sIMRT两种治疗计划均可达到临床要求,但sIMRT剂量均匀度上略差于IMRT。总体上来看,两种计划对OAR的保护能力基本相当。而sIMRT相对IMRT可以显著减少子野数,从而减少治疗时间,减轻了患者治疗过程中的不适感,又增加了医院加速器的使用效率,以及减少患者分次内位移,提高了治疗剂量的分布精度和疗效。此外,sIMRT计划的机器跳数比IMRT减少,可以减少非靶区的漏射剂量。而相关研究表明,患者非靶区的漏射和散射剂量与所用的机器跳数成正比,而非靶区的漏射和散射剂量与放疗后二重癌的发生具有一定的相关性[22]。

在脑转移瘤的患者中,刘健庭[23]的研究比较了在10例肺癌脑转移患者中分别采用3DCRT、IMRT

和 sIMRT 技术, 结果显示均匀指数 IMRT 最优, sIMRT 与 3DCRT 无差异。在适形指数中, sIMRT 逊于 IMRT 而强于 3DCRT。但在危及器官保护方面, 他认为 sIMRT 计划由于子野数目少且子野面积较大, 可能会导致靶区内小体积危及器官的保护能力逊于 IMRT。在总的治疗时间上, 虽然 sIMRT 一程时间比 3DCRT 长, 但 3DCRT 二程治疗会占用较多时间, 总体评价上 sIMRT 治疗时间占优。此外, 在血液肿瘤的颅内脊髓照射治疗中, 有研究[24]表明, sIMRT 技术较 3DCRT 明显减少专科医师的计划时间及总治疗时间, 在短期随访中, 不良反应并无明显差异。

### 3.2. 胸部肿瘤

在临床应用中, sIMRT 在胸部肿瘤中的应用最为广泛, 包括食管癌、肺癌、乳腺癌等。食管癌最常见的治疗方法目前依旧以手术为主的肿瘤综合治疗, 然而手术治疗具有一定局限性, 其只适应于癌症早期且可以耐受手术的患者; 对于晚期食管癌患者或者年龄大合并其他心脑血管疾病患者来说, 手术治疗甚至可能会有生命危险。所以, 相对于手术治疗, 放疗在食管癌患者中适用更加广泛[25] [26]。在食管癌放疗患者中, 由于靶区与危及器官紧密相邻, 从而靶区的不规则性、需要对周围正常组织器官剂量严格限制等因素对放疗技术要求较高, 因此在放疗方式的选择中有许多不同的意见[27]。傅博[28]、高博[29]的研究表明在胸中段食管癌患者中, sIMRT 能够有效地缩短治疗时间, 从而减少机器损耗。在剂量学比较中, 靶区适形度  $IMRT > sIMRT > 3DCRT$ ; 危及器官: 双肺及脊髓, 最大剂量差异不大。心脏, IMRT 组和 sIMRT 组心脏  $D_{mean}$  显著低于 3DCRT 组。机器跳数  $sIMRT > 3DCRT > IMRT$ ; 子野个数 sIMRT 约为 IMRT 的 1/2; 在后期实际临床疗效及不良反应对比中, IMRT、sIMRT、3DCRT 的放疗后不良反应(包括骨髓抑制、放射性肺炎、放射性食管炎和肺纤维化发生率)及疗效比较均无统计学差异, 这可能提示了 3 种放疗方法在胸中段食管癌放疗中疗效相当, 安全性尚可。但其存在样本量较小的影响。

对于乳腺癌患者来说, 放疗是能够有效减少复发风险, 改善了乳腺癌患者的生存预期。因此放疗被认为是乳腺癌的主要治疗方式之一[30]。IMRT 在临床上的应用广泛。宋瑞鲜[31]的研究发现在乳腺癌患者中, 两种放射治疗计划的  $V_{95}$ 、 $V_{100}$ 、 $V_{105}$ 、 $D_{mean}$ 、HI、CI、危及器官剂量比较, 无明显差异。机器跳数 sIMRT 明显小于 IMRT; 治疗时间 sIMRT 约为 IMRT 的 2/3, 其结果表明 sIMRT 技术可达到与 IMRT 相同的靶区剂量分布以及危及器官保护效果, 并且可以降低机器跳数, 缩短治疗时间。

肺癌是应用 sIMRT 最常见的胸部肿瘤。目前肺癌的发病率及死亡率在全球及中国均位于癌症首位[32]。对于局晚期及晚期肺癌患者来说大部分在发现时已经无法进行手术根治, 对于部分年龄较大或者合并心脑血管疾病患者来说, 手术治疗是无法耐受的。根据 CSCO 指南推荐, 这部分患者常用且行之有效的治疗手段之一就是放疗[33]。刘旭红[34]的研究表明证明了, 采用 sIMRT 可以解决 IMRT 中的许多弊端, 包括器官运动过大引起的剂量误差、治疗时间过长、剂量不确定性等问题。此外, 治疗时间的减少, 人力物力的节约, 不仅提高了工作效率, 为更多患者提供了治疗机会, 还给患者减少了医疗经济负担。

### 3.3. 腹盆部肿瘤

在腹部肿瘤中, 黄祥[35]通过对 sIMRT 在原发性肝癌放疗中剂量学研究结果发现, sIMRT 相对于常规调强放疗技术(cIMRT)具有及时利用率更高、正常肝组织的受照体积与剂量均偏小等优势。

sIMRT 技术也广泛应用于盆腔肿瘤, 其比较常见的是宫颈癌和直肠癌。直肠癌是常见的消化道恶性肿瘤, 近年来相关研究表明放疗作为手术的辅助手段可以降低局部复发率, 而在无法手术的患者中, 放疗也占据着重要地位[36]。刘可佳[37]在直肠癌术后患者中, 对比了 3DCRT、sIMRT 和 IMRT 放疗 3 种方案的剂量学数据, 结果与既往研究有类似的结论, IMRT 在对保护危及器官或组织, 提高靶区适形度的效果是最好的, 而 sIMRT 适形度虽然稍差于 IMRT, 但两者差异无统计学意义, 但其适形度明显优于

3DCRT, 所以综合考虑, sIMRT 具有更高的性价比。

对于中晚期宫颈癌患者来说, 同步放化疗与腔内放疗联合治疗是其主要治疗方式[38], 宫颈癌在放疗过程中因为其解剖特点, 盆腔周围具有多个器官, 包括直肠、膀胱、子宫等, 且正常组织或器官对照射剂量的耐受十分有限。在常规放疗与简化调强放疗的患者中, 张楠[39]的研究表明, 在宫颈癌 IIB~IVA 期采用简化调强或普通调强放疗联合腔内治疗及同步化疗治疗方案的患者中, 简化调强组有更高的临床总有效率, 且在放疗后不良反应方面, 放射性膀胱炎、放射性直肠炎的发生率均低于调强放疗组, 从而在临床的使用中更加安全。而对于 sIMRT 与 IMRT 的比较, 刘霄[40]的研究表明, 两组的近期总有效率无明显差异。且在放化疗不良反应方面, 两组均无统计学差异, 但 I~II 级胃肠道反应两组简化调强组发生率高于调强放疗组, 但均可耐受。这表明了 sIMRT 近期效果与 IMRT 基本相当。在考虑经济价值的前提下, 可以优先选择 sIMRT。

### 3.4. sIMRT 联合其他治疗手段

肿瘤治疗的正在经历从传统治疗模式向综合治疗模式的发展, sIMRT 技术联合其他治疗手段的应用也逐渐广泛。在食管癌联合治疗的相关研究中, 苏培英[41]的研究表明在老龄中晚期食管鳞癌患者中, 替吉奥同步 sIMRT 在近期疗效、淋巴结缓解率及 1 年生存率方面均有较好的表现, 且患者对于毒副反应可以耐受。另外, 对于老龄中晚期食管鳞癌患者来说, sIMRT 节省了治疗的实施时间, 对局部控制率也有一定提高。但其研究对远期疗效及反应尚并未分析, 所以其仍需进一步随访及大规模的病例研究来验证相关结果。

此外, 在胡洪林[42]的研究中, 肺癌患者使用 sIMRT 联合使用吉非替尼疗效较好, 且两组患者治疗后发生不良反应的几率比较无显著差异, 说明吉非替尼联合 sIMRT 并没有明显增加不良反应的发生率。此外, 联合使用组的患者的 PFS 和 OS 均有延长, 证明 sIMRT 联合 TKI 治疗也有较好的疗效。

而朱川[43]等的研究得到了以下结论: 在 sIMRT 联合肝动脉化疗栓塞术(TACE)治疗原发性肝癌的患者中, sIMRT 相对于 IMRT 可以获得近似疗效和预后, 于治疗中和治疗后未增加毒副反应, 还有减少发生放射性肝损伤的趋势, 可作为 PHC 调强放疗计划设计的常规替代方式。

张培良[44]的研究在术后复发的直肠癌患者中使用 sIMRT 联合卡培他滨同步化疗, 研究结果表明其具有肯定的临床疗效, 虽然入组患者急性放射性膀胱炎发生为 100%, 但考虑其与 CTV 中包含膀胱后 1/4 原因相关, 但患者放疗后不良反应绝大多数为 1~2 级, 均可耐受, 可以顺利完成治疗, 而 sIMRT 的使用明显缩短了患者的治疗时间, 从而也提高了患者的生活质量。

sIMRT 联合化疗、靶向治疗和手术等其他肿瘤治疗手段可见于诸多文献报道, 其研究结论表明 sIMRT 具有节省治疗时间, 提高患者生活质量的作用, 并且毒性副作用相对可以耐受, 具有一定的研究及推广价值。

## 4. 简化调强放疗的费用效益

恶性肿瘤的治疗在近年来有了巨大发展, 临床工作中已广泛采取规范化、个体化的综合治疗方案, 但从某种程度上来说, 也增加了肿瘤治疗费用。相关研究[45]显示, 在美国, 1/3~2/3 的患者在肿瘤治疗期间不得不请假或辞职, 一半以上的患者因肿瘤治疗而负债, 甚至有 4% 的患者不得不申请破产, 这表明了肿瘤治疗会给患者带来了巨大的经济负担。而经济负担的增加更加容易引发焦虑、抑郁等不良情绪, 可能会影响到用药剂量、用药时间, 甚至有部分患者不得不放弃肿瘤治疗, 这很有可能会影响患者的生活质量及临床预后[46]。在国际上, 医疗支出总支出 40% 以上的家庭称之为“灾难性支出家庭”, 易导致“因病致贫、因病返贫”[47]。而有相关研究表明, 在癌症患者中, 住院时间越长, 医疗费用越高[48]。

所以减少癌症患者的医疗费用, 避免因病致贫、因病返贫而放弃治疗, 导致患者过早死亡成为了一个急需解决的问题。而 sIMRT 技术因为计划相对 IMRT 技术较简单, 且减少了子野数, 可以有效地缩短治疗时间, 从而减少肿瘤患者的住院天数, 减轻经济负担。在现在的中国, DRG 和 DIP 是医保支付方式改革的重要工具[49]。DRG 及 DIP 均采用预付费的原理设计, 医保机构向医疗服务提供方是按照预先商定的每个疾病(组)的付费标准来结清费用[50]。这两种支付模式的应用都是将患者疾病作为相应的标准, 将患者住院天数、治疗手段与严重程度等数据综合考虑, 对住院费用标准化给付的一项支付手段。将支付结余作为医院的利润。而超出的部分则由医院自行支付[51]。在 DIP 或 DRG 付费模式下, 医院必须要通过加强医院内部预算控制及成本控制及优化财务制度设计、科学合理使用医疗经费等来达到可持续发展。而 sIMRT 相对于常规 IMRT 来说, 较明显减少了放疗射野数, 而肿瘤放疗费用与射野数正相关, 机器跳数的减少也降低了仪器损耗, 而总治疗时间的缩短可以有效加快病人周转及减少平均住院天数。所以 sIMRT 技术在控制医疗成本的增加同时减少了医疗经费, 在现行医保支付模式下, 它具有优化医疗资源配置的目的, 而医院也可以通过 sIMRT 技术优化成本结构, 从而提高医院的综合竞争能力。

## 5. 小结与展望

目前, 随着各类放射治疗技术不断发展推广以及各种新技术的提出, 在临床治疗中可用放疗技术选择较多, 须充分考虑患者经济负担及生活质量, 保证疗效和预后的前提下, 针对不同情况的患者选择放疗技术。因此, 简化调强的提出是综合多因素考虑后的结果。sIMRT 相对于 3DCRT 技术有着更好的剂量分布均匀度与适形度, 又克服了 IMRT 技术的在治疗时间以及计划复杂性的不足, 其具有应用较广泛、性价比高并且简便实用、时效性好的优点。在放疗工作量大或人力物力稀缺的基层医院局域独特的推广价值。在现行医保支付模式下, 它可以控制医疗成本及减少医疗费用, 从而优化医疗资源配置。sIMRT 将两种技术的优点相结合, 其提出的初衷是给予高质量肿瘤治疗的同时减少医疗费用。而它的提出在精准放疗技术飞速发展的时代, 不仅仅是一种新的放疗技术, 也代表了一种新的理念。个体化精准放疗是大势所趋, 而放疗技术无论发展到何种先进、复杂的层面, 如何简化操作, 减轻医师工作负担, 如何改善治疗环境, 增加病人的舒适度, 一直以来都是临床放疗技术所需要解决的难题。放疗技术的关键在于复杂的技术简单化, 在保证临床质量与安全相当的前提下, 放疗技术的简化应用均有着广泛的应用空间。基于 sIMRT 的提出理念, 今后可在其他放疗技术中探索简化方案, 以期减少患者负担, 提高生活质量。

## 基金项目

湖南省科技厅项目《湖南省肿瘤精准放疗临床医疗技术示范基地》, 立项编号 2020SK4021; 湖南省卫健委项目: 简化调强放疗技术在基层医院中的应用推广; 立项编号: 202218015821; 常德市科技局项目: 胸部肿瘤的简化调强放疗技术在基层医院的应用; 立项编号: 2017S025。

## 参考文献

- [1] 刘永超, 梁春梅, 丁国伟. 肿瘤精确放疗技术在临床治疗中的发展及应用研究进展[J]. 吉林医学, 2019, 40(11): 2642-2643.
- [2] 刘孝花. 肿瘤放疗技术研究进展[J]. 中国医疗器械信息, 2020, 26(11): 33-34. <https://doi.org/10.15971/j.cnki.cmdi.2020.11.015>
- [3] 张斯渊, 董信春, 韩松辰, 等. 精准医疗: 中晚期食管癌放疗技术进展浅谈[J]. 实用肿瘤杂志, 2021, 36(4): 368-374. <https://doi.org/10.13267/j.cnki.syzlzz.2021.076>
- [4] 刘国才, 顾冬冬, 刘骁, 等. 用于肿瘤调强放射治疗影像分析与转换的深度学习[J]. 中国生物医学工程学报, 2022, 41(2): 224-237.
- [5] 耿辉, 戴建荣, 李晔雄, 等. 一种简单调强放疗技术应用的初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006(5): 411-415.

- [6] Shen, W.B., Gao, H.M., Zhu, S.C., *et al.* (2016) Radiation Dose to the Lymph Drainage Area in Esophageal Cancer with Involved-Field Irradiation. *Oncology Letters*, **11**, 849-855. <https://doi.org/10.3892/ol.2015.3952>
- [7] 田静, 韩丹, 周涛. 肿瘤放射治疗技术的发展及应用研究[J]. 中国医刊, 2022, 57(10): 1064-1067.
- [8] Tao, Y., Auperin, A., Blanchard, P., *et al.* (2020) Concurrent Cisplatin and Dose Escalation with Intensity-Modulated Radiotherapy (IMRT) versus Conventional Radiotherapy for Locally Advanced Head and Neck Squamous Cell Carcinomas (HNSCC): GORTEC 2004-01 Randomized Phase III Trial. *Radiotherapy and Oncology*, **150**, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.05.021>
- [9] 秦庆亮. 放疗技术进展与观念更新[J]. 中国现代医药杂志, 2023, 25(10): 1-8.
- [10] 石朝利, 李颖. 调强放疗与三维适形放疗同步化疗治疗宫颈癌的效果比较[J]. 中国实用医刊, 2022, 49(14): 66-70.
- [11] 熊中奎, 郎娟, 王思本. 放射性肺损伤的影响因素的研究进展[J]. 中国医药导报, 2021, 18(21): 42-45.
- [12] 蔡凯, 黄贵华. 基于生命/影像组学的精准组学放射治疗研究进展[J]. 医学信息, 2020, 33(14): 27-30+35.
- [13] 冯斌, 郭栓栓, 姜仁伟, 等. 等效均匀剂量方法结合旋转容积调强技术在鼻咽癌放疗计划设计中的应用[J]. 广东医学, 2018, 39(3): 430-433. <https://doi.org/10.13820/j.cnki.gdyx.2018.03.021>
- [14] 李高峰, 章硕, 颜新建. 常规放疗与三维适形放疗治疗原发性巨大肝癌的疗效对比及对血清肿瘤标志物的影响[J]. 癌症进展, 2018, 16(10): 1250-1253+1291.
- [15] 陈立明, 张博, 杨涛, 等. 肝癌 VMAT 放疗中两种体位固定方式摆位误差分析[J]. 医学综述, 2018, 24(19): 3933-3936.
- [16] 梁丽冰. 探讨早期乳腺癌保乳术后不同放疗方式的疗效及危及器官受照射体积[J]. 中国继续医学教育, 2018, 10(7): 71-73.
- [17] 孙长江, 李军, 张西志, 等. 基于肝癌的 VMAT 与 IMRT 放疗计划的剂量学对比研究[J]. 肿瘤基础与临床, 2015, 28(5): 421-424.
- [18] Charles, P.H., Cranmer-Sargison, G., Thwaites, D.I., *et al.* (2014) A Practical and Theoretical Definition of Very Small Field Size for Radiotherapy Output Factor Measurements. *Medical Physics*, **41**, Article ID: 041707. <https://doi.org/10.1118/1.4868461>
- [19] 戴建荣. 调强放疗技术的优化设计及简化应用[Z]. 北京: 中国医学科学院肿瘤医院, 2010-04-28.
- [20] 王剑. 鼻咽癌放射治疗后吞咽困难及张口受限的系统康复治疗疗效分析[J]. 中国医刊, 2018, 53(8): 921-923.
- [21] 李凯旋, 王佳舟, 姜睿, 等. 简化调强技术在鼻咽癌外照射中应用的剂量学研究[J]. 中国癌症杂志, 2015, 25(12): 978-982.
- [22] Abo-Madyan, Y., Aziz, H.M., Aly, M.M., *et al.* (2014) Second Cancer Risk after 3D-CRT, IMRT and VMAT for Breast Cancer. *Radiotherapy and Oncology*, **110**, 471-476. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2013.12.002>
- [23] 刘建庭, 王晋雨, 郭瑞嵩, 等. 简化调强技术在脑转移瘤外照射中应用的剂量学研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(6): 5244-5248+5264.
- [24] Takahashi, I., Kashiwado, K., Saito, A., *et al.* (2016) A Simplified 3-Isocenter Intensity Modulated Radiation Therapy for Craniospinal Irradiation to Minimize Planning and Treatment Time. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, **96**, e494. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2016.06.1869>
- [25] 王贵齐, 魏文强. 上消化道癌筛查和早诊早治项目的新转变: 机会性筛查[J]. 中华预防医学杂志, 2019(11): 1084-1087.
- [26] Ajani, J.A., D'Amico, T.A., Bentrem, D.J., *et al.* (2023) Esophageal and Esophagogastric Junction Cancers, Version 2.2023, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network: JNCCN*, **21**, 393-422. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2023.0019>
- [27] Betancourt-Cuellar, S.L., Benveniste, M.F.K., Palacio, D.P., *et al.* (2021) Esophageal Cancer: Tumor-Node-Meta Stasis Staging. *Radiologic Clinics of North America*, **59**, 219-229. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2020.11.008>
- [28] 傅博, 吴建语, 沈佳鹏, 等. IMRT、sIMRT 及 3DCRT 在胸中段食管癌放疗中的应用比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(10): 1208-1212.
- [29] 高博, 刘建华, 陈爱辉. 胸段食管癌应用调强适形放疗与简化调强适形放疗的剂量学对比[J]. 系统医学, 2020, 5(15): 26-28. <https://doi.org/10.19368/j.cnki.2096-1782.2020.15.026>
- [30] Franco, P., De Felice, F., Jagsi, R., *et al.* (2023) Breast Cancer Radiation Therapy: A Bibliometric Analysis of the Scientific Literature. *Clinical and Translational Radiation Oncology*, **39**, Article ID: 100556. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2022.11.015>

- [31] 宋瑞鲜, 李华峰, 殷俊, 等. 简化调强放射治疗在乳腺癌保乳术后的应用价值[J]. 医疗装备, 2022, 35(9): 23-26.
- [32] Cao, W., Chen, H.-D., Yu, Y.-W., et al. (2021) Changing Profiles of Cancer Burden World Wide and in China: A Secondary Analysis of the Global Cancer Statistics 2020. *Chinese Medical Journal*, **134**, 783-791. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000001474>
- [33] Huang, J., Liu, T., Qian, B.B., et al. (2023) Research on Segmentation Technology in Lung Cancer Radiotherapy Based on Deep Learning. *Current Medical Imaging*, **19**, 1231-1244.
- [34] 刘旭红, 陈晓, 崔建国, 等. 简化调强放疗技术(sIMRT)在非小细胞肺癌(NSCLC)中的应用[J]. 医疗装备, 2014, 27(11): 41-42.
- [35] 黄祥. 简化调强技术与容积调强弧形放疗计划在原发性肝癌中剂量学研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [36] Zhang, S., Wang, Q.X., Zhou, C.J., et al. (2019) Colorectal Cancer, Radiotherapy and Gut Microbiota. *Chinese Journal of Cancer Research*, **31**, 212-222. <https://doi.org/10.21147/j.issn.1000-9604.2019.01.16>
- [37] 刘可佳. 直肠癌术后盆腔三维适形放疗、简化调强技术和适形调强放疗的三维剂量学比较分析[J]. 中国当代医药, 2015, 22(14): 60-62.
- [38] Wang, L., Alexander, S., Mason, S., et al. (2022) Carpe Diem: Making the Most of Plan-of-the-Day for Cervical Cancer Radiation Therapy. *Practical Radiation Oncology*, **13**, 132-147.
- [39] 张楠. 简化调强放疗联合腔内治疗及同步化疗治疗 IIB~IVA 期宫颈癌效果及毒副反应[J]. 中国实用医药, 2016, 11(23): 177-178. <https://doi.org/10.14163/j.cnki.11-5547/r.2016.23.127>
- [40] 刘霄, 袁越, 杨妹, 等. 简化调强放疗联合腔内后装治疗同步化疗治疗 IIB~IVA 期宫颈癌的近期疗效[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(10): 2710-2712.
- [41] 苏培英. 替吉奥同期简单调强放疗对高龄中晚期食管鳞癌治疗的临床观察[D]: [硕士学位论文]. 济南: 泰山医学院, 2015.
- [42] 胡洪林. 吉非替尼联合简化调强放疗技术治疗非小细胞肺癌临床研究[J]. 中国药业, 2017, 26(9): 38-40.
- [43] 朱川, 熊德明, 李湘宜, 等. 简化调强放疗联合肝动脉化疗栓塞治疗原发性肝癌的临床研究[J]. 重庆医学, 2015, 44(12): 1626-1628+1632.
- [44] 张培良, 张佃富. 简化调强放疗同步卡培他滨治疗直肠癌术后复发临床观察[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2012, 19(14): 1103-1105. <https://doi.org/10.16073/j.cnki.cjcp.2012.14.018>
- [45] Zeybek, B., Webster, E., Pogolian, N., et al. (2021) Financial Toxicity in Patients with Gynecologic Malignancies: A Cross Sectional Study. *Journal of Gynecologic Oncology*, **32**, e87.
- [46] Thom, B. and Benedict, C. (2019) The Impact of Financial Toxicity on Psychological Well-Being, Coping Self-Efficacy, and Cost-Coping Behaviors in Young Adults with Cancer. *Journal of Adolescent and Young Adult Oncology*, **8**, 236-242. <https://doi.org/10.1089/jayao.2018.0143>
- [47] Lee, M. and Yoon, K. (2019) Catastrophic Health Expenditures and Its Inequality in Households with Cancer Patients: A Panel Study. *Processes*, **7**, Article No. 39. <https://doi.org/10.3390/pr7010039>
- [48] 钟志刚, 刘潇霞, 乔良, 等. 2018-2020 年四川省不同经济区七类癌症患者住院费用及影响因素分析[J]. 现代预防医学, 2023, 50(8): 1436-1440+1488. <https://doi.org/10.20043/j.cnki.MPM.202211378>
- [49] 詹汉强, 魏鑫然. 基于 DRG/DIP 支付背景下病种分值付费的研究[J]. 医学信息, 2023, 36(15): 100-103.
- [50] 傅卫, 江芹, 于丽华, 等. DRG 与 DIP 比较及对医疗机构的影响分析[J]. 中国卫生经济, 2020, 39(12): 13-16.
- [51] 于志堂. DRG/DIP 支付方式下医院成本管理的探讨[J]. 财会学习, 2023(22): 119-121.