

放射治疗在现代医学中的应用:从肿瘤到非肿瘤疾病

罗 然 李光俊 柏 森

(四川大学华西医院放射物理技术中心 610041)

放射治疗作为现代医学的重要组成部分,已有逾百年历史。尽管在当代临床实践中,放疗主要与肿瘤治疗密切相关,但从历史发展来看,放射治疗最早即被应用于多种良性疾病的治疗。自1898年起就有关于使用放射治疗慢性湿疹和银屑病的记载。1905年,宾夕法尼亚大学 Musser 和 Edsall 报道低剂量 X 射线对 4 例大叶性肺炎具有治疗作用,并推测其机制与促进细胞代谢及加速疾病恢复有关。在之后的几十年里,良性疾病放疗的适应症被广泛接受。其逐渐被用于瘢痕增生、炎症性疾病、骨关节退行性病变及甲状腺相关眼病等多种非肿瘤疾病,并在临床实践中取得较好疗效。20 世纪 50 年代,因远期不良反应问题受到关注,良性疾病放疗应用一度减少。近年来随着技术进步及安全性研究深入,该领域再次得到发展。由于肿瘤发病率持续上升,放疗资源逐渐集中于恶性肿瘤治疗,良性疾病放疗在部分国家和地区应用有所减少,但在许多综合性医院仍长期作为特定良性病变的治疗手段。

近年来,随着精准放疗技术的快速发展,如调强放疗(IMRT)、容积旋转调强放疗(VMAT)、影像引导放疗(IGRT)及立体定向放射外科(SRS/SBRT)等技术不断成熟,放疗的剂量分布更加精准,对周围正常组织的损伤明显降低,使放射治疗在良性疾病中的应用重新受到关注。现代放疗不仅能够杀灭肿瘤细胞,还可通过抗炎、免疫调节及功能调控等机制影响组织反应,为多种非肿瘤疾病提供新的治疗选择。

目前,放射治疗在三叉神经痛、心律失常、骨关节退行性疾病、瘢痕增生及部分眼科疾病等方面已

显示出一定疗效。然而,临床实践中仍需充分关注其潜在并发症及远期辐射致癌风险,尤其是在长生存人群中的安全性问题。因此,在推广非肿瘤放疗应用的同时,如何在疗效与风险之间取得平衡,成为当前研究的重要方向。本文旨在简要介绍放射治疗的基本原理,重点综述其在非肿瘤疾病中的临床应用及技术发展进展。

一、放射治疗的物理与生物学基础

电离辐射的物理与生物学基础:放射治疗主要利用高能光子(X射线、 γ 射线)或带电粒子(电子、质子、重离子)对组织进行照射,通过能量沉积产生生物学效应。带电粒子与物质相互作用主要包括与核外电子和原子核的散射等过程,其中与核外电子的非弹性散射在常规放疗能量范围内占主导地位,并产生高线性能量转移(LET)。重离子束沿径迹能量沉积集中,在射程末端形成布拉格峰,可提高靶区剂量并减少周围正常组织损伤,但由于设备复杂和成本较高,目前临床应用仍有限。临床常规放疗仍以高能光子束为主,其与物质的相互作用主要包括光电效应、康普顿散射和电子对效应,其中康普顿散射在兆伏级放疗能量范围内占主导,是组织剂量沉积的主要来源。

从生物学角度看,电离辐射通过在组织中沉积能量引起分子损伤,最终影响细胞功能或导致细胞死亡。其作用可分为直接作用和间接作用(图1):前者为辐射直接作用于DNA造成链断裂,后者通过水辐解产生自由基,进一步损伤生物大分子。辐射作用过程一般经历物理、化学和生物三个阶段:物

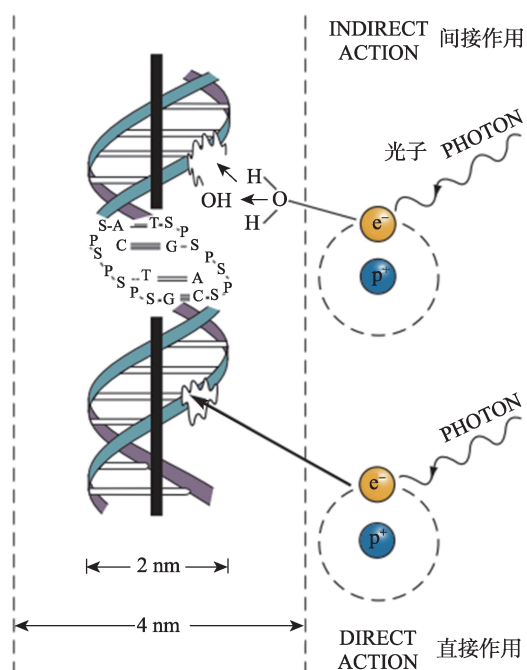


图1 辐射的直接作用和间接作用^[1]

理阶段发生电离和激发,化学阶段产生自由基并与周围分子反应,生物阶段则涉及DNA损伤修复及细胞反应,其中难以修复的损伤可导致细胞死亡。此外,辐射还可调节细胞因子表达并改变细胞微环境,如转化生长因子 β 等参与炎症反应、纤维化及迟发性放射效应的发生,从而影响组织修复与功能改变。

二、放射治疗治疗非肿瘤疾病的依据

尽管放射治疗传统上主要用于恶性肿瘤的局部控制,但大量临床与基础研究表明,电离辐射在低剂量或中等剂量下能够产生一系列独特的生物效应,对多种非肿瘤疾病也具有明确的治疗价值。其作用基础与适应症,与常规的杀灭癌细胞显著不同,更侧重于免疫调节、抗炎、抗纤维化以及功能调控。

首先,低剂量电离辐射具有稳定的抗炎和免疫调节作用。研究表明,0.3~1 Gy的低剂量照射可导

致局部自由基浓度的短暂升高,具体讲电离辐射首先通过水辐解作用,使组织内瞬时产生一定浓度的活性氧和活性氮物种(ROS/RNS)。在低剂量照射下,这些反应性分子的绝对浓度较低且持续时间短,不会造成不可逆的氧化损伤,但会导致细胞内外的氧化还原平衡发生轻度偏移。这种轻微的氧化环境改变了多种氧化还原敏感蛋白的构象与活性,从而抑制与炎症相关的信号传递过程。对巨噬细胞而言,其促炎功能高度依赖于特定的还原环境;当ROS水平适度升高时,促炎信号通路的激活阈值提高,细胞因子合成与释放随之减少。此外低剂量辐射可引起细胞膜脂质分子发生轻微重排,尤其影响膜脂筏(lipid rafts)的空间分布和稳定性。脂筏是多种炎症受体和信号分子聚集的平台,其结构完整性对信号放大至关重要。当膜脂筏结构受到扰动时,跨膜受体的聚集效率下降,导致外界刺激信号在膜上的物理放大过程受限。这种纯粹的结构层面改变并未破坏受体本身,却显著降低了巨噬细胞对炎症刺激的敏感性,从而表现为功能性抑制。尽管这些变化并不涉及温度、压力等宏观物理参数,而是发生在纳米—分子尺度上的物理化学环境改变,但足以对免疫细胞功能产生显著影响。该变化可抑制巨噬细胞、T细胞及内皮细胞释放炎症因子(如TNF- α 、IL-1、IL-6),同时减少黏附分子表达、降低白细胞浸润并改善局部微循环。这些效应使放疗在慢性炎症性或退行性疾病(如足底筋膜炎、网球肘、肩周炎、骨关节炎等)中具有良好的镇痛与抗炎效果。其次,电离辐射可抑制异常增生和纤维组织形成,因而对瘢痕疙瘩、Dupuytren挛缩等纤维化疾病具有独特优势。放疗能够降低成纤维细胞增殖和胶原沉积,从而显著降低术后复发率,这是许多物理或药物治疗难以达到的。

并且,精确的SRS技术提供了针对特定神经或心脏传导结构的功能性调控能力。例如,伽马刀能选择性损伤三叉神经根部缓解神经性疼痛,而心脏电生理放射消融可用于难治性室性心动过速,这些疾病的传统治疗侵入性强且风险较高,放疗提供了

一种安全且有效的替代方案。此外,放疗具有非侵入性、可局部精准定位、治疗周期短、副作用轻、适用于无法手术的患者等特点,在许多国家被广泛用于改善生活质量、降低复发风险或替代部分外科操作^[2]。

综上,放射治疗在非肿瘤疾病中的应用是基于明确的生物学机制和大量临床证据。随着影像引导和剂量学技术的发展,非肿瘤放疗正在成为现代精准医学的重要组成部分,为多种难治性良性疾病提供了安全、有效且微创的治疗选择。下面将介绍放射治疗在部分典型疾病中的应用情况。

三、放射治疗应用于治疗非肿瘤疾病的情况

(1) 慢性疼痛性疾病与骨骼疾病:常见的适应症有:肩周炎、肱骨外上髁炎(网球肘)、膝关节炎、髌关节炎、Dupuytren挛缩、腱鞘炎、筋膜炎等。以膝关节炎为例,它是一种慢性、低度炎症为主的退行性疾病。虽然它不是肿瘤,但其病因中大量研究表明炎症在软骨退变、疼痛产生和关节结构破坏中起核心作用。如指间关节的放疗一般在临床中采用单次0.5~1 Gy,总剂量3~6 Gy的低剂量放射治疗,所有患者均在俯卧位下进行模拟定位,双上肢向前伸展,手掌平放于CT扫描床上,并使用个体化热塑体模作为固定装置,以确保放射治疗体位的重复性(图2)。临床靶体积(CTV)包括疼痛关节及其周围软组织;计划靶体积(PTV)在CTV的基础上各向同性外扩5 mm。它并不会像肿瘤放疗那样杀伤组

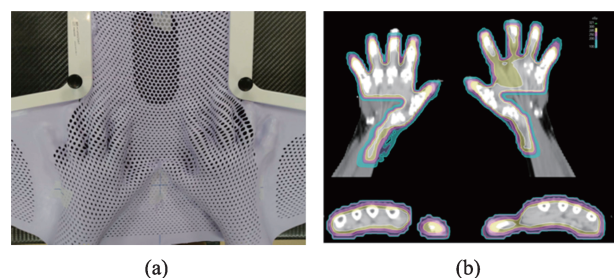


图2 (a)用于CT模拟的热塑膜;(b)双侧拇指及指间关节的放射治疗计划^[3]

织,而是利用低剂量辐射的抗炎效应来调控局部细胞反应,从而达到减轻炎症、缓解疼痛、改善关节功能的目的。此外该治疗使用远低于肿瘤剂量的低剂量,获得生物调节作用的同时,不会对软骨或滑膜造成显著损伤。低剂量放射治疗用于骨关节及软组织炎症总体安全性良好,不良反应以轻度皮肤反应和短暂症状加重为主,严重急慢性毒性罕见,远期致癌风险较低。

(2) 血管增生与瘢痕性疾病:在该方向的应用主要集中于瘢痕疙瘩和血管性瘤状增生上,特别是在治疗瘢痕疙瘩方面有广泛应用(图3)。瘢痕疙瘩的放疗通常在手术切除后24到72小时内进行,使用低中等剂量进行,目的是抑制瘢痕组织的异常增殖,阻断其复发的生物学基础,即预防其复发。放射治疗之所以能够有效预防瘢痕疙瘩的复发,主要是因为它抑制了血管新生和成纤维细胞增殖。低至中等剂量的辐射可抑制瘢痕成纤维细胞的异常增殖,并诱导其发生凋亡,在伤口愈合早期,发育中的内皮血管床具有极高的放射敏感性。局部微血管系统的损伤既是肿瘤放疗后消退的关键因素,也可能促进瘢痕疙瘩的消退。此外,低剂量辐射可抑制成纤维细胞的快速增殖——该细胞正是沉积胶原纤维形成瘢痕疙瘩的主要效应细胞。其作用机制是通过抑制局部肥大细胞释放组胺来实现的,否则组胺会持续刺激成纤维细胞增殖。研究表明,外

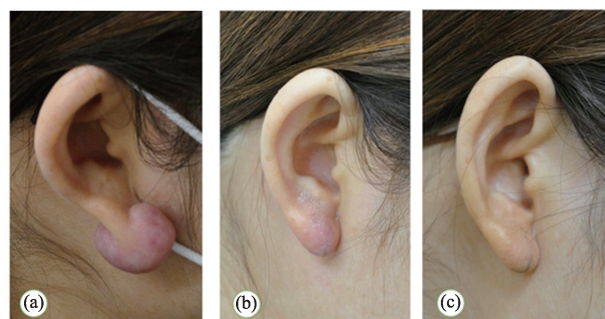


图3 (a)术前外观。(b)放疗后即刻(瘢痕疙瘩切除后给予20Gy、分5次的放射治疗)。放疗在切除术后24小时内开始,未见与治疗相关的并发症。(c)术后一年随访图像。

接受辅助放疗后,未见肿物隆起复发^[4]

照射和近距离放疗的有效率约为85%~90%,安全性较好,无明显急慢性不良反应,少数色素沉着多可在数月内恢复。然而,尽管放疗用于瘢痕疙瘩控制已逾百年,其治疗方案优化研究仍显不足,现有放疗方案的时间-剂量规划存在显著差异。在瘢痕疙瘩放疗中,电子束疗法是最常用技术之一,现行方案为:高复发区域(如前胸壁)采用18Gy/3次分割,低复发区域(如耳垂)采用8Gy/单次分割,其余部位采用15Gy/2次分割。

(3) 功能性疾病:例如三叉神经痛和心律失常等。目前通过伽马刀治疗三叉神经痛的技术已在临床中有所开展,可以通过大单次剂量(70~80Gy)的SRS直接损伤三叉神经根部,该疗法的缓解率可达70%到90%,但存在一定迟发麻木风险。而心律失常则仍处于研究阶段,目前该方向是利用SBRT,以高精度、高剂量的局部放射作用对异常传导组织进行非侵入性电生理消融(图4)。高剂量辐射可在数周至数月内诱导靶向心肌纤维化,使异常折返通路或异位激动灶被生物性隔离,从而阻断病理性电活动;同时,近期研究发现放疗在早期还具有“快速调节效应”,可通过改变离子通道功能、调控钠通道及钙通道表达、改善动作电位传播速度等方式,对心肌电生理特性产生即时或短期改善。此外,放疗还能降低局部炎症反应和自主神经活性,改善心肌微结构和折返基质的稳定性,进一步减少室性心动过速等恶性心律失常的触发概率。通过这些机制,SBRT无需穿刺、导管或麻醉即可实现类似导管消融的效果。目前心律失常放疗仍处于实验研究阶段,一般认为需要对患者进行单次的大剂量放疗



图4 利用SBRT技术进行心脏放疗^[5]

(20~25Gy),用静脉造影增强心脏CT(CCT)扫描以界定心脏亚结构、心肌瘢痕区及室壁变薄区域,也需要考虑到每个人的心脏收缩、呼吸运动、几何形态和解剖结构,该疗法仍存在广阔发展空间。目前相关长期随访数据仍然较少,因而相关毒副反应仍有待进一步研究。

(4) 眼科疾病:常见适应症如:翼状胬肉术后复发预防、葡萄膜炎相关疾病和增殖性疾病(如视网膜血管异常)等。详细来说,低至中等剂量的电离辐射可以抑制炎症细胞(如淋巴细胞、巨噬细胞)向眼内或眼周组织浸润,减少炎症因子释放,从而改善葡萄膜炎、视神经炎等免疫相关疾病;对于翼状胬肉、视网膜血管瘤、毛细血管扩张等疾病,放疗能够抑制异常血管内皮细胞增殖,降低VEGF等血管生长因子表达,从而限制新生血管形成并减少复发;在眼眶假瘤或甲状腺相关眼病中,放疗通过抑制淋巴细胞活化、减轻眼肌与眼眶软组织的水肿和炎症反应,从而改善突眼和复视(图5);而在高眼压或视神经损伤进展较快的患者中,放疗也可通过减少继发性炎症和纤维化来保护视神经结构。在Graves眼病的实际治疗中,一般采用20Gy分10个分次的治疗方案,在照射时可采用双野对穿等中心照射技术覆盖球后区域,通过调整射束角度实现晶状体后方照射平面重合。在应用放射疗法治疗眼部疾病时,往往也会对邻近的正常组织造成一定程度的损伤。不良反应的发生风险与靶组织的辐射敏感性、总照射剂量以及单次照射剂量密切相关。眼部各结构中,晶状体、视网膜和泪腺对放射线尤为敏感,更容易出现损伤。临床上常见的放疗相关眼部并发症包括放射性眼表损伤、放射性白内障、放射性视网膜病变及放射性视神经病变等。

(5) 皮肤与免疫系统疾病:常见适应症如:银屑病(局灶型)、湿疹、瘙痒性皮肤病和顽固性瘙痒症等。低剂量电离辐射能显著抑制皮肤和皮下组织中活化的淋巴细胞、树突状细胞及巨噬细胞,减少它们释放的炎症介质(如TNF- α 、IL-1、IL-6),从而减轻局部炎症反应,适用于湿疹、银屑病、慢性皮炎等

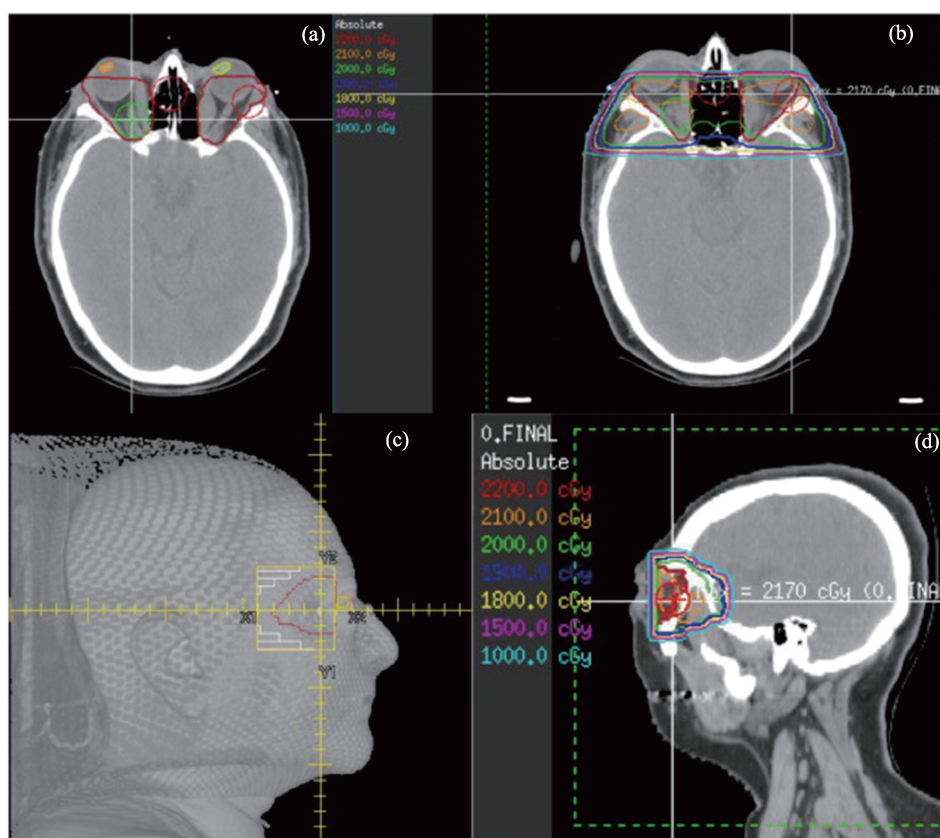


图5 Graves眼病放射治疗计划(a)轴位CT图像,显示临床靶体积(CTV),其中以红色勾画出了眼外肌。(b)轴位CT图像,显示穿过双眼眶的放射剂量分布,同时避开了晶状体和双侧眼眶的前房结构。(c)矢状位图像,显示患者佩戴固定面罩时的皮肤表面渲染图及照射野边界。(d)矢状位CT图像,显示集中于眼眶肌肉的放射剂量分布,并尽量避开眼球前部结构及脑组织^[6]

炎症性皮肤病(图6)。该疗法诱发癌症的风险非常低,如果其他治疗方法未能奏效,并且不进行进一步治疗的后果对患者来说是不可接受的,那么可以考虑采用放疗。

四、放射治疗在各地区非肿瘤疾病治疗中的发展情况

近年来,放射治疗在非肿瘤性疾病中的应用呈现出“在部分地区成熟、在其他地区仍属谨慎接受”的不均衡发展格局。欧洲(尤其德国及部分中欧国家)长期采用低剂量放疗治疗骨关节退行性病变、局部瘢痕、Dupuytren病等疾病,并形成了较为完整的实践指南与临床经验库;德国DEGRO的S2e指南对多种良性适应证、剂量与靶区划定提供了详尽



图6 67岁女性慢性手部湿疹放疗前(a)与放疗后8个月(b)对照:总剂量4Gy,分8次照射,每周两次^[7]

建议,推动了临床规范化^[8]。英国等国家则在近年通过专业学会文件^[9]强调“有条件可采用放疗治疗某些良性疾病”,并建议以证据为导向、对风险(尤其潜在的致癌风险)作严格评估与知情同意程序,这反映出英美卫生体系对放疗非肿瘤应用采取更保守但有序推进的策略。

在中国,非肿瘤放疗正处于“从经验型临床实践向规范化、循证化过渡”的阶段:在某些适应症(如瘢痕疙瘩、功能性神经疾病的伽玛刀治疗)已有较成熟的临床应用与共识^[10],而对于诸如低剂量放疗治疗骨关节炎、心律失常的放射消融等新兴方向,则以单中心队列和早期试验为主,仍需更大样本的前瞻性研究验证。此外,我国已有相关临床试验在注册与进行(包括三叉神经痛等),国内学术期刊与会议上关于非肿瘤放疗的汇报逐年增多,表明研究热度在上升并趋向多学科合作(放疗、骨科、神经外科、心内科等),并且国家与科研基金对心脏放疗等前沿方向给予项目支持,表明政府层面对“放疗跨学科应用”的关注正在上升。总体来说,非肿瘤放疗在全球呈现循证逐步扩展、地区差异明显、规范化推进的发展态势:欧洲以更成熟的临床路径与指南为代表,英美采取审慎纳入与进一步研究的策略,亚洲部分中心开始跟进并开展临床试验。

五、放射治疗应用于非肿瘤疾病治疗面临的挑战

相较于肿瘤放疗,非肿瘤放疗在循证基础、技术规范、风险评估和社会接受度方面仍存在显著不足,构成进一步推广的核心障碍。首先,循证医学证据薄弱是目前最大挑战之一。多数适应证的研究来自回顾性分析、小样本队列或单中心经验,随机对照试验数量有限,且研究间在入选标准、剂量方案、终点设置与随访时间上差异巨大,导致结果可比性和可推广性不足。证据质量的不足直接限制了国际指南的制定,使临床实践依赖经验或地区共识,影响标准化与广泛接受。其次,长期安全性与潜在致癌风险的不确定性也是临床决策中的关键掣肘。尽管多数非肿瘤放疗使用低剂量,现有研究显示其短期毒性极低,但患者往往为长生存人群,理论上的辐射致二次癌或迟发器官损伤风险仍需长期监测。当前长期随访数据有限,尤其缺乏对年轻患者、敏感器官照射情况的明确风险评估,这

使得伦理委员会和保险机构往往持保守态度。

其次,剂量学、分割方案与技术路径缺乏统一标准。以关节炎、瘢痕疙瘩等疾病为例,不同国家和机构使用的总剂量、单次剂量和治疗时程差异较大,部分中心偏向超低剂量、部分则采用传统方案,影响效果比较与推广。此外,许多非肿瘤适应证属于功能性靶区,其病灶通常面积小、运动复杂(如心脏电生理靶点受心动周期与呼吸运动影响),对影像融合、靶区勾画、治疗机精度和实时监控提出更高要求,导致技术难度上升。同时,质量保证与计划可交付性也构成重要阻力。许多功能性治疗(如心律失常 SBRT)需高剂量高梯度照射,计划对 MLC 速度、剂量率调节、TPS 建模精度及端到端测试要求严苛,而多数中心尚未建立针对非肿瘤放疗的专门 QA 流程。这不仅影响治疗安全性,也制约推广速度。

此外,伦理、法律与社会接受度亦不可忽视。对非危及生命疾病使用放疗需充分论证其必要性,临床医生在知情同意中需对长期风险进行充分沟通,而患者及大众对放射性治疗的固有恐惧也影响了临床推广。再加上医保报销体系不完善、跨学科协作不足、专业人才培养有限等现实因素,使得非肿瘤放疗仍处于高潜力但未大规模普及的阶段。

总体来看,要推动非肿瘤放射治疗真正成为规范化、可推广的治疗方式,需从多方面共同努力:通过多中心试验和长期随访提升证据质量;制定统一的剂量、靶区与 QA 标准;加强跨学科协作与专业培训;推动医保政策和公众科普;同时强化伦理与安全监测机制。只有解决这些关键挑战,非肿瘤放疗才能在全球范围内迈向更成熟、安全和广泛应用的阶段。

六、放射治疗治疗非肿瘤疾病发展的前景

非肿瘤性疾病放射治疗正处于快速复兴和技

术变革的关键阶段,未来发展前景十分广阔。第一,循证医学体系的逐步完善将显著推动这一领域走向规范化和国际认可。目前全球多个国家已启动多中心随机对照试验(RCT),涉及关节炎、瘢痕疙瘩、心律失常、动静脉畸形、眼科退行性病变等疾病。随着高质量临床证据的积累,非肿瘤放疗的适应证、剂量方案、靶区定义和疗效终点将日趋清晰,从而推动国际指南与标准化路径的建立。这种从“经验医学”向“循证医学”转变,将是未来10年最重要的驱动力。

第二,放疗技术继续高速发展,将进一步推动功能性靶区治疗成为现实。现代放疗技术如MRI引导放疗(MR-LINAC)、实时跟踪、机器人定位系统、FLASH放疗、质子及重离子治疗等,为非肿瘤适应证的精准治疗提供了强大的技术基础。例如,MR-LINAC可以实时观察关节炎病灶或心脏靶区的运动,提高精度而减少安全边界;FLASH放疗可能在治疗炎性疾病或免疫性疾病中发挥新的作用;而质子/重离子治疗因其布拉格峰特性,可在治疗眼科疾病、心律失常或脊柱疾病时进一步降低正常组织剂量。这些技术的成熟将显著减少长期风险,提高非肿瘤放疗的可接受性。

第三,多学科协作将成为未来模式的核心,推动个体化和精准治疗的发展。非肿瘤患者的治疗往往牵涉皮肤科、骨科、风湿免疫科、心脏电生理、眼科等多个学科,而未来的标准模式将不再是放疗科单独介入,而是建立跨学科功能团队,共同确定适应证、靶区、剂量与随访路径。随着人工智能辅助勾画、放疗风险预测模型和治疗反应监测工具的出现,个体化治疗将成为可能。

第四,健康经济学与医疗政策的变化也可能推动非肿瘤放疗的普及。许多非肿瘤疾病(如膝关节炎、顽固性瘢痕疙瘩等)可通过低剂量放疗有效缓解症状,其成本远低于长期药物治疗或反复手术,未来可能被纳入医保支付体系。随着成功案例增多,公众对放疗危险性的误解将逐渐减少,接受度将进一步提高,尽管如此,仍然需要强调的是

对儿童患者的非恶性疾病和关键部位应用放射治疗应该慎重。

最后,安全性监测体系的建立将推动该领域更成熟、更稳健地发展。未来的国际研究将进一步量化低剂量放疗的致癌风险、器官迟发效应、剂量阈值和不同年龄人群的风险差异。在更明确的风险模型支持下,非肿瘤放疗的伦理争议将显著下降,其应用也将获得更广泛的临床与监管层支持。

参考文献

- [1] HALL E J, GIACCIA A J. Radiobiology for the Radiologist[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 66(627): 10.1016.
- [2] FIONDA B, PAGLIARA M M, DI STEFANI A, et al. Radiotherapy for Benign Conditions: Current Radiobiological and Clinical Evidence[J]. Radioactivity in Life Sciences: 43-57.
- [3] ÁLVAREZ B, MONTERO A, ALONSO R, et al. Low-dose radiation therapy for hand osteoarthritis: shaking hands again?[J]. Clinical and Translational Oncology, 2022, 24(3): 532-539.
- [4] LEE J W, SEOL K H. Adjuvant Radiotherapy after Surgical Excision in Keloids[J]. Medicina, 2021, 57(7): 730.
- [5] LI J, CHEN Q, LI G, et al. Stereotactic arrhythmia radiotherapy: a case study of real-time image-guided noninvasive treatment for ventricular tachycardia[J]. Quant Imaging Med Surg, 2022, 12(4): 2607-2615.
- [6] FIONDA B, PAGLIARA M M, LANCELOTTO V, et al. The Role of Radiotherapy in Orbital Pseudotumor: A Systematic Review of Literature[J]. Ocul Immunol Inflamm, 2022, 30(5): 1162-1167.
- [7] SUMILA M, NOTTER M, ITIN P, et al. Long-term results of radiotherapy in patients with chronic palmo-plantar eczema or psoriasis[J]. Strahlenther Onkol, 2008, 184(4): 218-223.
- [8] NIEWALD M, SEEGENSCHMIEDT M H, MICKE O, et al. Randomized, multicenter trial on the effect of radiation therapy on plantar fasciitis (painful heel spur) comparing a standard dose with a very low dose: mature results after 12 months' follow-up[J]. International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics, 2012, 84(4): e455-e62.
- [9] RADIOLOGISTS R C O. Recommendations for Using Radiotherapy for Benign Disease in the UK[Z]. The Royal College of Radiologists London. 2023.
- [10] 刘育彤, 高学军, 王志国, et al. 瘢痕疙瘩术后联合治疗研究进展[J]. Advances in Clinical Medicine, 2024, 14.