

主编 应微 廖雄飞

实用肿瘤放射治疗 物理技术

SHIYONG ZHONGLIU

FANGSHE ZHILIAO

WULI JISHU

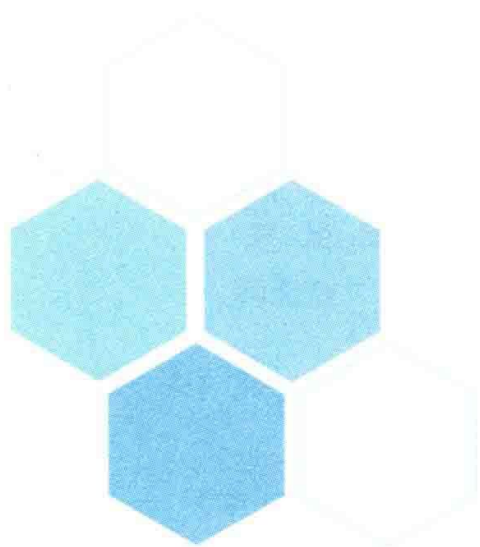


重庆大学出版社



实用肿瘤放射治疗 物理技术

主编 应微 廖雄飞



重庆大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

实用肿瘤放射治疗物理技术/应微, 廖雄飞主编

—重庆: 重庆大学出版社, 2023.12

ISBN 978-7-5689-4289-8

I. ①实… II. ①应… ②廖… III. ①肿瘤—放射治疗学 IV. ①R730.55

中国国家版本馆CIP数据核字 (2023) 第242762号

实用肿瘤放射治疗物理技术

SHIYONG ZHONGLIU FANGSHE ZHILIAO WULI JISHU

主 编: 应 微 廖雄飞

策划编辑: 胡 斌

责任编辑: 胡 斌 版式设计: 胡 斌

责任校对: 关德强 责任印制: 张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人: 陈晓阳

社址: 重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编: 401331

电话: (023) 88617190 88617185 (中小学)

传真: (023) 88617186 88617166

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆愚人科技有限公司印刷

*

开本: 720mm × 1020mm 1/16 印张: 13.25 字数: 225千

2023年12月第1版 2023年12月第1次印刷

印数: 1—1 500

ISBN 978-7-5689-4289-8 定价: 80.00元

本书如有印刷、装订等质量问题, 本社负责调换

版权所有, 请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书, 违者必究

编者名单

主 编：应 微（四川省肿瘤医院）

廖雄飞（四川省肿瘤医院）

副主编：袁 珂（四川省肿瘤医院）

吴师容（四川省肿瘤医院）

陈亚正（四川大学华西第二医院）

鞠忠健（中国人民解放军总医院第一医学中心）

编 委：刘 敏（四川省肿瘤医院）

高绪峰（四川省肿瘤医院）

梁 黎（四川省肿瘤医院）

吴德全（四川省肿瘤医院）

周沫涵（四川省肿瘤医院）

前 言

这是一本关于放射治疗物理技术的专著，旨在帮助放射治疗相关专业物理师、放射治疗技师和相关学生掌握和应用肿瘤放射治疗的基本知识与技术。本书在编写过程中，参考了国内外肿瘤放射治疗权威书籍以及近年来发表的学术论文，并结合了编者多年来在肿瘤放射治疗实践中的经验及研究成果，是多位专家学者集体智慧和努力的结晶。

放射治疗是使用高能射线的电离辐射杀死癌细胞来治疗肿瘤的方法，对癌症等疾病的治疗有着重要的作用。而放射治疗物理技术则是放射治疗实施过程中的关键环节，涉及剂量计算、辐射安全、设备操作等内容。本书力求系统性地介绍放射治疗物理学和技术相关的基本理论、操作技巧和质量控制要求，以期达到学术和实践的有机结合。

本书的主要内容包括放射治疗物理学基础知识、临床放射学与放射治疗计划、剂量计算与优化、放疗设备与技术等。通过对这些内容的系统认识和理解，读者可以逐步了解放射治疗的原理、技术和操作要点，掌握放射治疗的实际操作技能和质量控制方法。

为了让读者更好地理解和应用本书内容，我们在书中加入了大量的案例、示例和实践指导。这些案例和示例来源于真实临床实践，可以帮助读者将理论知识融入实际操作中，从而更好地掌握放射治疗的技术和方法。此外，本书还配有图表、数

据和插图，以便以直观的形式展示放射治疗的各个环节和关键因素，让读者更好地理解和掌握放射治疗的实质和重点。

本书的编写目的是将放射治疗物理技术变得更加易于理解和应用，以提高读者在放射治疗领域的专业水平和实践能力。同时，我们也希望读者能够通过学习和应用本书的知识和技术，为放射治疗的安全、有效进行做出贡献，为患者获得更好的治疗效果和生活质量提供支持。

衷心感谢所有参与本书编写和出版工作的人员，感谢他们的辛勤努力和付出。希望读者能够充分利用本书，深入学习和理解放射治疗物理技术的核心要点，并将所学应用于实践。同时，我们也欢迎读者对本书内容和形式提出宝贵的意见和建议，以便在今后的修订中进一步改进和完善。

衷心希望本书能够成为广大放射治疗相关专业人员学习、研讨和实践的重要参考资料，为促进放射治疗学科的发展和进步做出贡献！

编者

2023年10月

目 录

第一章 放射治疗的基本概念	001
一、什么是放射治疗	001
二、放射治疗的物理原理	009
第二章 放射治疗前科普及宣教	016
一、放射治疗的常见副反应	016
二、放射治疗过程中患者的营养指导	024
三、放射治疗的注意事项及心理指导	027
第三章 头颈部肿瘤的放射治疗	032
一、头颈部肿瘤放射治疗概述	032
二、头颈部肿瘤的体位固定	033
三、头颈部肿瘤的模拟定位	038
四、头颈部肿瘤的体位验证	046
五、头颈部肿瘤的放疗实施	048
六、头颈部肿瘤的放射治疗计划设计与计划评估	051

第四章	胸部肿瘤的放射治疗	058
一、	胸部肿瘤放射治疗概述	058
二、	胸部肿瘤的体位固定	059
三、	胸部肿瘤的模拟定位	063
四、	胸部肿瘤的体位验证	069
五、	胸部肿瘤的放疗实施	071
六、	胸部肿瘤的放射治疗计划设计与计划评估	079
第五章	腹部肿瘤的放射治疗	091
一、	腹部肿瘤放射治疗概述	091
二、	腹部肿瘤的体位固定	091
三、	腹部肿瘤的模拟定位	094
四、	腹部肿瘤的体位验证	097
五、	腹部肿瘤的放疗实施	099
六、	腹部肿瘤的放射治疗计划设计与计划评估	103
第六章	其他部位肿瘤的放射治疗	113
一、	全脑全脊髓放疗	113
二、	全身皮肤电子线照射	128
第七章	放射治疗计划验证	133
一、	放射治疗计划验证的必要性	133
二、	放射治疗计划验证的目的	134
三、	放射治疗计划验证的方法	135
四、	放射治疗计划验证物理设备质量保证	144
第八章	放射治疗常见摆位技术及注意事项	148
一、	放射治疗前的体位验证方法	148
二、	常见放射治疗技术实施过程中注意事项	154

第九章 放射治疗新技术介绍	162
一、空间分割放疗技术	162
二、质子重离子放疗技术	165
三、术中放射治疗技术	170
四、硼中子俘获疗法	178
附 件 2021 版 Timmerman 危及器官限量表	182
后 记	198

第一章

放射治疗的基本概念

一、什么是放射治疗

(一) 定义与历史背景

1. 放射治疗概念

放射治疗，简称“放疗”，是一种使用放射性射线或粒子来治疗癌症等疾病的医疗手段，旨在通过高能射线破坏癌细胞或减少癌细胞的增长，从而抑制肿瘤的发展。

根据治疗方式的不同，放射治疗一般可分为体外照射和体内照射两种。体外照射治疗一般使用加速器从体外向肿瘤发射射线，是最常用的放射治疗形式。而体内照射治疗则是将放射性物质植入到肿瘤或接近肿瘤的位置，从而在局部放射能量，直接杀灭癌细胞。此外，还有一种称为粒子治疗的方法，使用如质子或重离子这样的粒子破坏癌细胞的 DNA 单链或双链，从而达到杀死癌细胞的目的。

尽管放射治疗在许多情况下非常有效，但并不是所有肿瘤通用。放射治疗方案的实施取决于肿瘤的类型、位置、大小以及患者的健康状况。在某些情况下，放射治疗可以与其他治疗方法结合使用，如手术、化疗或免疫疗法，以获得最佳治疗效果。

2. 放射治疗的起源和发展

放射治疗的起源与放射线的发现密切相关。1895年，德国物理学家威廉·康

拉德·伦琴首次发现了 X 射线(图 1.1), 而这一发现不仅开启了放射学的研究, 更为放射治疗的诞生奠定了基石。短短数月后, 放射线的生物效应就被科学家观察到。在伦琴发现 X 射线后不久, 医学界便开始探索放射线在诊断和治疗上的应用。

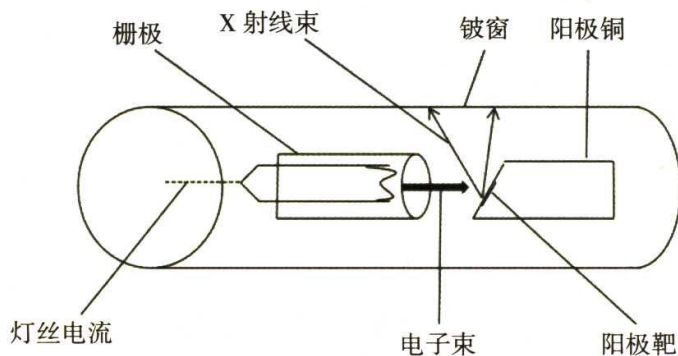


图 1.1 伦琴发现 X 射线

1901 年, 放射治疗正式开始在医学中应用, 最初主要用于治疗皮肤病、浅表肿瘤和炎症。最早的放射治疗设备比较简单, 放射源与患者之间的距离、暴露时间及剂量的控制等均较为粗糙。但即使在这样的条件下, 很多患者经过放射治疗仍然获得了显著的疗效, 使得放射治疗逐渐被接受并得到推广。随着对放射物理学和生物学的深入研究, 科学家们逐渐认识到, 不同类型的放射射线具有不同的生物效应。例如, α 、 β 和 γ 射线都被用于治疗, 但它们在深入组织的能力和生物效应上有所不同。为了更精确地瞄准深部肿瘤并减少对周围正常组织的损害, 放射治疗开始向高能 X 射线和质子治疗转变。

20 世纪中期, 随着直线加速器的发明, 放射治疗进入了一个新的时代。直线加速器能够产生高能量的 X 射线, 使治疗更为快速和精确。此外, 计算机技术的引入使得剂量计划变得更为精细, 这意味着医生可以为每位患者定制治疗计划, 从而最大化治疗效果并减少副作用。到了 20 世纪末和 21 世纪初, 放射治疗经历了多次技术革命。调强放射治疗 (intensity modulated radiation therapy, IMRT) 的发明使得射线能够更精确地瞄准肿瘤, 减少对周围组织的损伤。图像引导放射治疗 (image guided radiation therapy, IGRT) 使得患者每次治疗体位更加精确, 甚至可以观察肿瘤形态变化。立体定向放射治疗 (stereotactic radio-therapy, SRT) 则通过高剂量、精确放疗短时间内消灭肿瘤。质子治疗和重离子治疗作为新兴技术, 因其具有 Bragg 峰特性 (图 1.2) 能够

在特定深度释放能量，从而实现更精确的放疗。不仅是技术和设备的进步，对放射生物学的深入了解也为放射治疗的发展提供了指导。对 DNA 损伤机制的研究使得医生能够更好地理解放射治疗如何杀死癌细胞，同时对正常细胞的损伤机制的认识也有助于减少放射治疗的副作用。

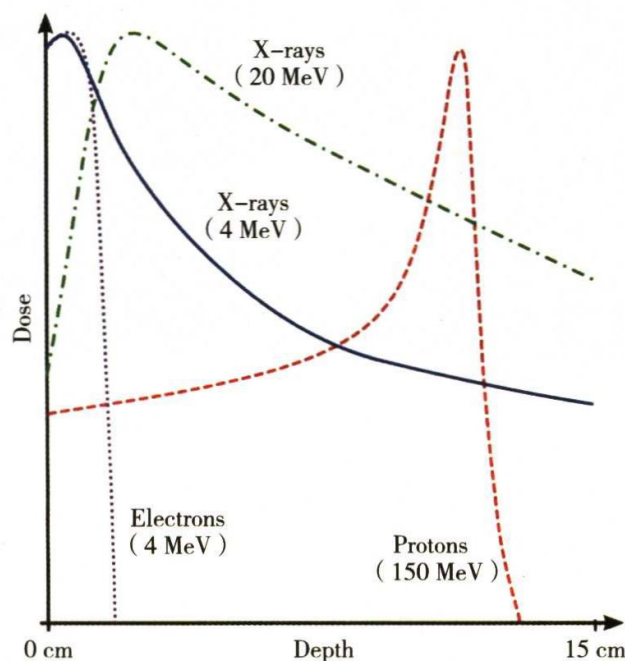


图 1.2 Bragg 峰示意图

总的来说，放射治疗从最初的简单应用，发展到现今的高技术、高精度治疗，不仅是技术进步的体现，更是医学与科技融合的成果。在未来，随着技术的继续进步和对放射生物学的进一步认识，放射治疗有望为更多的癌症患者带来康复的希望。

3. 对比其他治疗方法的优势

放射治疗作为癌症治疗的重要手段，与手术、化疗、免疫疗法和靶向治疗等方法并存。每种治疗方式都有其独特的适应证和优势，而放射治疗在多种情境中展现出了其不可替代的价值。

(1) 定位准确，对周围组织损伤小。与手术相比，放射治疗不需要开刀、无须切除组织，因此无手术并发症和术后恢复期。其独特的物理属性使得射线能够精确地瞄准肿瘤，减少对周围健康组织的损伤。特别是使用现代放疗技术如 IMRT、IGRT、SRT 等，可以实现“雕刻式”放疗，确保高剂量的射线集中

在肿瘤上，从而减少对周边正常组织的照射，如图 1.3 所示。

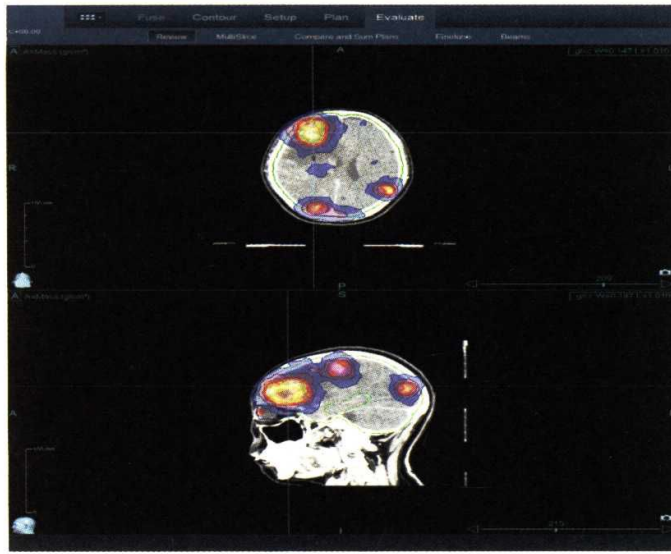


图 1.3 精确瞄准肿瘤示意图

(2) 治疗深部肿瘤的优势。深部肿瘤特别是那些位于脑部、胸腔或腹腔的肿瘤，往往有很高的手术风险。手术由于可能涉及重要的解剖结构，如大血管、神经或其他重要器官，而变得复杂且具有挑战性。手术也可能导致长时间的住院和恢复期，增加患者的痛苦和经济负担。放射治疗作为一种非侵入性治疗方式，在治疗深部肿瘤方面显示出独特的优势。先进的放疗技术，使得高剂量的射线能够精确地定位在肿瘤上，同时保护周围的正常组织。这意味着，即使是在体内难以接近的位置，也能实现有效的治疗。

(3) 减少复发风险。手术后的肿瘤复发是癌症治疗中的一个重要问题。即使在显微镜下，医生也可能难以确定是否完全切除了所有的癌细胞。这些残留的、肉眼不可见的癌细胞可能成为未来复发的源头。放射治疗，特别是术后辅助放疗，有助于消灭这些微小的癌细胞残留。通过对手术区域及其周边进行放疗，可以有效减少局部复发的风险。许多研究已经证明，对某些癌症（如乳腺癌、直肠癌等）进行术后放疗，可以显著降低复发率，并改善整体生存质量。

(4) 与其他治疗方式的结合。放射治疗不仅可以单独使用，还可以与其他治疗方式结合，从而实现更好的治疗效果。当放疗与化疗结合时，某些化疗药物可以充当“放射增敏剂”，增加癌细胞对放射的敏感性。例如，某些化疗药物可以阻止癌细胞修复受到放射损伤的 DNA，从而增强放疗的疗效。此外，随着靶向治疗和免疫疗法的兴起，其与放疗的结合也显示出协同治疗的潜力。

某些靶向药物可以影响癌细胞的信号通路，使其对放射更加敏感。而免疫疗法则可能通过增强体内的免疫反应，增强放疗的抗肿瘤效果。

(5) 放射治疗多为局部治疗。放射治疗是一种局部治疗手段，专注于照射特定的肿瘤部位，从而最大限度地减少对周围正常组织的伤害。这意味着它的副作用主要局限于被照射区域。化疗（化学药物治疗的简称），作为一种全身治疗方式，通过血液传输对整个身体产生影响。这可能导致一系列全身性的副作用，如恶心、呕吐、脱发、肠胃不适和免疫系统抑制。因此，与化疗相比，放疗的全身反应较轻。

(6) 减轻症状，提高生活质量。在许多情况下，放射治疗不仅用于疾病治疗，还可以起到减轻症状的作用，特别是对于那些晚期或无法手术的患者。例如，大的肿瘤可能会压迫周围组织或器官，导致疼痛、出血或呼吸困难。通过放疗，肿瘤可以被缩小或稳定，从而迅速减轻这些症状。这种被称为“姑息治疗”的方法可以显著提高患者的生活质量和舒适度。

(7) 某些癌症首选放疗。对于某些癌症类型，放射治疗不仅是一个有效的治疗选择，而且可能是首选治疗方式。例如，早期前列腺癌的放射治疗与手术的效果相当，但具有更低的并发症风险；喉癌和某些类型的脑瘤也通常首先考虑放射治疗，因为它可以更好地保留功能和提供优质的生活。

(8) 节省时间和成本。放射治疗通常在几周内完成，尤其是当它用作主要治疗方式时。与长期的化疗周期或持续的药物治疗相比，放射治疗不仅可以缩短治疗时间，还可以降低与治疗相关的成本。此外，由于放疗通常在门诊的基础上进行，患者不需要住院，进一步节省了费用，并使患者能够在治疗期间维持正常的生活和工作。

（二）放射治疗的主要适应证

1. 肿瘤类型

(1) 上皮源性肿瘤。上皮源性肿瘤起源于身体的上皮细胞，这是覆盖人的身体内外部的细胞。这类肿瘤通常对放射治疗反应良好，具体包括：

①乳腺癌：乳腺癌是女性最常见的癌症之一。对于早期乳腺癌，放疗通常在乳腺保留手术后作为标准的辅助治疗来降低复发风险。对于局部晚期或复发乳腺癌，放疗可以作为主要治疗方式或与化疗结合使用。

②前列腺癌：对于低风险和中风险的前列腺癌，放射治疗是主要的治疗选择之一，与手术疗效相当。高风险前列腺癌患者可能会接受放疗和长期激素治疗结合的方式。

③肺癌：无论是非小细胞肺癌还是小细胞肺癌，放疗都是关键的治疗组成部分。对于无法手术的局部晚期非小细胞肺癌，放疗可以与化疗结合，提供策略性治疗。而对于小细胞肺癌，放疗常用于辅助治疗。

④食管癌：放射治疗与化疗的结合是食管癌的标准治疗，尤其是对于中晚期疾病患者。此外，对于不能手术的患者或术前治疗，放射治疗也有显著的效果。

⑤皮肤癌：虽然许多皮肤癌，尤其是基底细胞癌和鳞状细胞癌，首选手术治疗，但在某些情况下，如位置特殊或手术困难的病灶，放射治疗是一个有效的替代选择。

(2) 淋巴瘤和白血病。淋巴瘤和白血病起源于血液和免疫系统。尽管二者是全身性疾病，但放疗在某些情况下仍然有效，特别是针对霍奇金淋巴瘤，放射治疗历来是治疗的核心组成部分，尤其是对早期疾病。现代技术，如调强放射治疗，可以更精确地瞄准淋巴结，并减少对周围正常组织的副作用。

(3) 中枢神经系统肿瘤。中枢神经系统肿瘤位于大脑、脑干和脊髓。因这些位置的敏感性和手术的困难性，放射治疗成了关键的治疗手段。

①胶质瘤和星形细胞瘤：最常见的恶性脑瘤。手术可能是初步治疗，但由于这些肿瘤的浸润性，完全切除通常是不可能的。放疗可以帮助控制疾病进展，延长患者生存期。

②脑膜瘤：尽管脑膜瘤多数是良性的，但因其位置特殊可能会导致严重的症状。手术是首选治疗，但放疗可以用于不完全切除的病例或复发病例。

(4) 头颈部肿瘤。头颈部是一个复杂的区域，包括喉、咽、口腔和鼻腔。由于这一区域的复杂性和功能重要性，放射治疗通常是头颈部肿瘤的首选或关键治疗。

①口腔癌：对于中晚期疾病，放疗可以与化疗结合，作为主要治疗。对于手术后的高风险复发病例，放疗可以作为辅助治疗。

②喉癌：早期喉癌可以单独使用放射治疗，避免喉切除术并保留声带功能。

③鼻咽癌：由于其深部位置和邻近的重要结构，手术通常不是首选。放疗，尤其是与化疗的结合，是鼻咽癌的标准治疗方式。

2. 疾病阶段

(1) 早期肿瘤。在癌症的早期阶段，肿瘤尚未深入侵犯或扩散到身体其他部分。在这个阶段，放射治疗可以被视为首选治疗方法，特别是当手术风险较高或患者不愿接受手术时。例如，对于早期前列腺癌患者，放射治疗不仅可以有效控制疾病，而且避免了手术可能带来的并发症，如尿失禁或性功能障碍。同样，早期的喉癌患者可以通过放射治疗保存发音功能，从而维持更好的生活质量。

(2) 局部晚期肿瘤。当肿瘤开始侵犯周围组织或器官，但尚未发生远处转移时，放射治疗在治疗策略中扮演了至关重要的角色。它不仅单独使用，还可以与手术或化疗结合。例如，局部晚期食管癌的患者可以通过放疗和化疗结合来缩小肿瘤，从而使手术成为可能。此外，对于不能手术的患者，放射治疗仍可以提供良好的局部控制，延长生存期并改善生活质量。

(3) 转移性疾病。一旦癌症开始转移到身体其他部分，治疗策略通常集中在控制病情和缓解症状上。放射治疗在此时就扮演了关键角色，尤其是针对特定的症状或困扰患者的特定转移部位。例如，对于导致疼痛的骨转移，短程放射治疗可以迅速减轻症状，提高患者的生活质量。同样，脑转移也可以通过放射治疗来控制，从而减少相关症状如头痛或神经功能障碍。

(4) 复发性疾病。癌症的复发是治疗中的一个挑战。这可能是由于手术未能完全清除肿瘤或微小的癌细胞在原始治疗时未被发现。放射治疗在复发治疗中提供了重要的策略，尤其是当初次治疗未涉及放疗或存在新的可放射病灶时。

(5) 辅助治疗。放射治疗常作为手术后的辅助治疗，以确保消灭所有可能残留的癌细胞并降低复发风险。例如，乳腺癌患者在乳腺保留手术后经常接受放射治疗，以减少癌症在同一部位的复发风险。同样，直肠癌手术后的放射治疗可以帮助降低复发率，并提高长期生存率。

(三) 放射治疗的主要方法

放射治疗的核心目标是使用放射性物质或放射性能量来治疗癌症。为了达到最佳疗效并保护健康组织，已经发展出多种方法。

1. 外照射

外照射也称为远程放射治疗，是最常用的放疗方法之一，如图 1.4 所示。它使用高能 X 射线或电子束来照射肿瘤和部分周围组织。

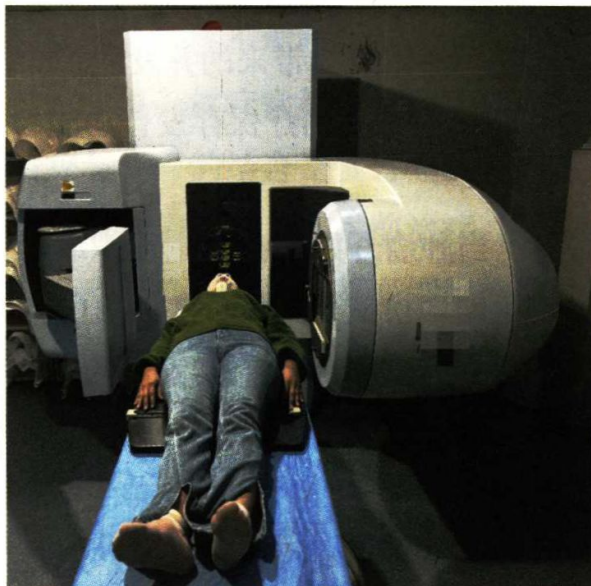


图 1.4 外照射

(1) 技术。在外照射中，放射源位于患者体外。使用线性加速器产生的放射线穿透身体并瞄准肿瘤。为了确保放射线精确瞄准肿瘤并最小化对周围健康组织的伤害，经常使用计算机辅助放射治疗或调强放射治疗等高级技术。

(2) 应用。外照射广泛用于多种类型肿瘤，如乳腺癌、前列腺癌、肺癌等。它可以作为主要治疗、辅助治疗或姑息治疗。

2. 内照射

内照射又称近距离放射治疗或植入治疗，是一种将放射性物质植入肿瘤内或放在靠近肿瘤部位的方法，如图 1.5 所示。

(1) 技术。内照射使用密封的放射性物质，如针、籽或丝。由于放射性物质非常接近或在肿瘤内，它可以提供较高的放射剂量，而对周围组织的影响较小。

(2) 应用。内照射常用于前列腺癌、宫颈癌和食管癌。例如，对于前列腺癌，放射性籽粒可以直接植入到前列腺内，提供持续的放射治疗。