

精准狙击不断移动的肿瘤

Jessica M. Fagerstrom^{1*}, Victoria N. Bry^{1†}, Caroline M. Colbert^{1†} 和 Cheyann Windsor^{2†}

¹华盛顿大学, 放射肿瘤学系 (美国, 华盛顿州, 西雅图)

²西北医学物理学中心 (美国, 华盛顿州, 林伍德)

少年审稿人



ELISA

年龄: 14



TOBY

年龄: 12

癌症 (Cancer)

细胞异常增生并可能扩散的疾病, 会对人体造成损害。肿瘤有良性与恶性之分, 恶性肿瘤即为癌症。

放射线 (Radiation)

能够在空间中传播的能量。当放射线能量足够高时, 会对活细胞造成损伤。

本文将探讨放射线在癌症治疗中的应用。癌症放射疗法通过高能粒子或射线束破坏包括癌细胞在内的生物细胞, 这些放射线由名为“直线加速器”的特殊设备产生, 能精确瞄准患者体内的肿瘤。当肿瘤位于肺部附近时, 会随着患者的呼吸上下移动, 此时要确保放射线准确命中目标就如同在电子游戏中射击移动的靶标。不过, 患者和放疗团队可通过特殊技巧确保放射线精准狙击癌细胞, 同时不误伤健康器官。

什么是癌症?

癌症患者体内存在快速增殖的异常细胞。放射治疗作为抑制癌细胞增殖的重要手段, 其本质是一种以粒子或光形式传播的能量。我们日常接触到的太阳光就是一种放射线, 而 X 射线等更高能量的辐射能穿透人体组织等实体, 可被牙医用于拍摄牙齿影像。癌症治疗使用的辐射能量更强, 虽能有效破坏癌细胞并阻止其生长扩散, 但同样会损伤健康细胞。因此, 科学家必须确保放射线精确瞄准癌细胞, 同时尽可能保护患者的健康细胞与器官 [1]。

放射线从哪里来?

直线加速器 (Linear Accelerator)

一种能产生、塑形并引导放射线束精准照射癌细胞的设备。

图 1

用于癌症放疗的直线加速器照片。

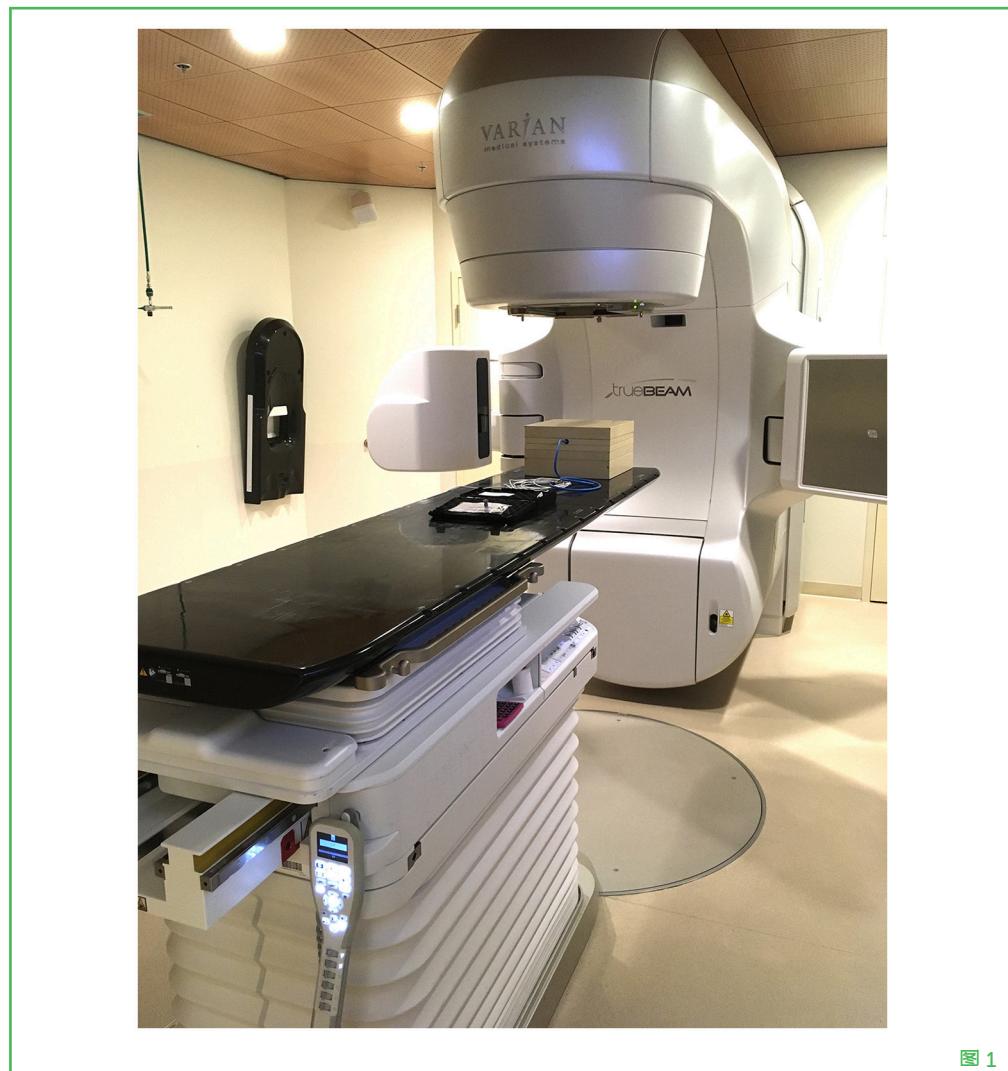


图 1

产生放射线只是直线加速器的多项功能之一: 它还能改变放射线的形状并调整照射方向。我们可以将直线加速器当作手电筒: 科学家启动加速器, 就像打开手电筒; 调整设备部件来改变放射线角度, 就像挥动手电筒改变光束方向; 使用厚金属块遮挡部分放射线并精准塑造射线轮廓, 就像用手指在电筒前产生不同形状的影子。

癌症患者接受放疗时会发生什么？

临床治疗癌症时，医生可采用放射线、化疗药物或手术切除。**放射治疗**是癌症综合治疗的重要手段——以2023年为例，美国约200万新增癌症患者中，近半数接受了放射治疗^[3, 4]。当患者需要放疗时，医疗团队会以严谨安全的操作实施治疗。治疗前，患者需平躺接受CT扫描（三维人体成像），该影像既能精确定位病灶，又是放疗团队设计治疗方案的重要依据，确保在摧毁癌细胞的同时避免误伤健康细胞。

治疗时，患者就像做CT扫描一样平躺。直线加速器发出的放射线经过精密校准，瞄准肿瘤区域。患者体位与放射线角度必须对准，以确保对癌细胞施加足够的辐射剂量，同时有效避开健康细胞与器官。

目标不断移动怎么办？

接受放射治疗时，患者需保持静止不动，以便医疗团队精准定位放射线。但要是肿瘤位于不断运动的部位怎么办呢？比如肺部或周边区域，吸气时肺部扩张充气，呼气时肺部收缩，导致肿瘤靶区持续移动，治疗难度便显著增加。这就像电子游戏中的大炮射击关卡：简单关卡中目标静止不动，进阶关卡里目标开始移动，而最难关卡中移动目标还会接近需要保护的物体。放射治疗正是如此：癌细胞如同移动靶点，高能放射线则像待发射的炮弹。

放疗团队有时会采用名为“**运动管理**”的特殊技术来控制器官移动。以乳腺癌为例：2023年美国新增了约30万病例^[3]。进行乳腺癌放射治疗时，团队常需对整个乳房进行照射，此时必须考虑靶区周边的健康细胞。比如，治疗左侧乳腺癌时，紧邻靶区的心脏就需重点保护。科学家还需考虑呼吸运动导致的目标位移。

我们可采用特殊策略实现精准靶向（乳房）照射，避开保护目标（心脏）：让患者深吸气后屏息约20秒，此时肺部充分扩张，使胸腔与心脏的距离增大（图2）。在屏息时启动直线加速器，利用这一短暂的窗口期使放射线照射乳房并避开心脏。这便是“**深吸气屏息**”技术。在治疗期间，患者深呼吸（“深吸气”），然后屏住呼吸（“屏息”）。

从图2上看，我们可能觉得治疗期间正常呼吸与屏息状态差异不大，但这点微小变化能显著提升治疗安全性，所以这种技术很有价值！

多数人的屏息时间很难超过20秒。由于单次屏息无法完成全部放射剂量的输送，治疗过程中会安排多次屏息：当患者需要换气时，放射线会自动暂停，让其恢复正常呼吸；待患者准备就绪后，再次进行深吸气屏息，随后重新启动放疗。

放射治疗 (Radiation Therapy)

利用高能放射线束摧毁癌细胞的治疗方法。

运动管理 (Motion Management)

放射治疗中确保射线精准命中移动靶区的技术策略。

深吸气屏息 (Deep Inspiration Breath Hold)

放射治疗中的一种呼吸控制方法：患者深吸气后屏住呼吸，在此期间实施照射。

图 2

这是一组乳腺癌患者接受平躺位治疗时的横断面对比图。左图中患者正常呼吸，照射乳房的放射线束与部分心脏区域重叠，存在损伤心脏的风险。右图中患者采取深吸气屏息技术，肺部扩张使乳房远离心脏，此时实施放疗既能精准靶向病灶，又可完全避开心脏（经授权改编自《更安全的放射治疗》，版权归 Vision RT Ltd. 所有，2023）。

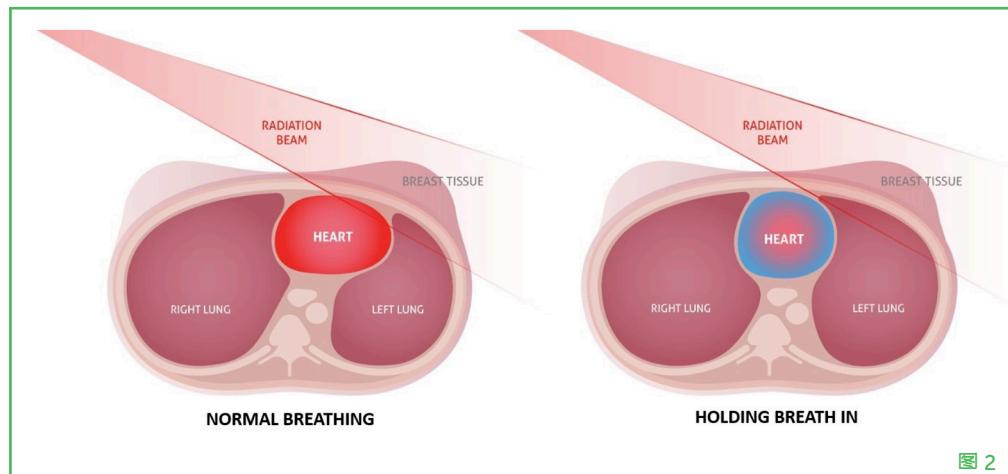


图 2

除乳腺癌外，肺部、肝脏或胰腺的肿瘤也会随呼吸移动。对此，放疗团队可采用类似于乳腺癌治疗的策略，通过精准控制照射时机，在确保命中肿瘤的同时避开健康组织。

总结

放射治疗是对抗癌症的重要武器。实施放疗时，必须确保放射线精准覆盖靶区，同时避开周边健康组织。即使肿瘤位于随呼吸移动的器官附近，运动管理技术也有助于实现这一目标。患者通过“深吸气屏息”等技巧主动配合，既能保障高能射线有效杀灭癌细胞，又能守护健康细胞的安全。

致谢

衷心感谢 IF/THEN 组织。

AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本（alt text）均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性，包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题，请随时联系我们。

参考文献

1. Lim, M. L. F. 2006. *Principles and Practice of Clinical Physics and Dosimetry*. Madison, WI: Advanced Medical Publishing, Inc., 1.
2. Karzmark, C. J., and Morton, R. J. 1998. *A Primer on Theory and Operation of Linear Accelerators in Radiation Therapy*, 2nd ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing, 17.

3. Siegel, R. L., Miller, K. D., Wagle, N. S., and Jemal, A. 2023. Cancer statistics, 2023. *CA Cancer J. Clin.* 73:17–48. doi: 10.3322/caac.21763
4. Baskar, R., Lee, K. A., Yeo, R., and Yeah, K.-W. 2012. Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. *Int. J. Med. Sci.* 9:193–9. doi: 10.7150/ijms.3635

线上发布: 2025 年 12 月 19 日

编辑: Becca Peixotto

科学导师: Beatrice Ugiliweneza 和 Briana Pobiner

引用: Fagerstrom JM, Bry VN, Colbert CM 和 Windsor C (2025) 精准狙击不断移动的肿瘤. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2024.1349460-zh

英文原文: Fagerstrom JM, Bry VN, Colbert CM and Windsor C (2024) Hitting Moving Targets in Cancer Treatment. *Front. Young Minds* 12:1349460. doi: 10.3389/frym.2024.1349460

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

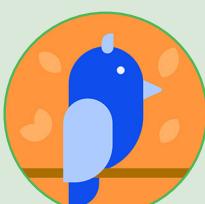
版权 © 2024 © 2025 Fagerstrom, Bry, Colbert 和 Windsor. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有者, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人



ELISA, 年龄: 14

Elisa 是个充满好奇心的女孩, 对科学尤其是健康领域怀有浓厚兴趣。她热衷于科学研究, 期待未来能亲自参与科学探索。凭借批判性思维、对健康科学的热爱以及内在驱动力, 她希望能以参与期刊评审的方式为科学事业贡献自己的力量。



TOBY, 年龄: 12

我爱玩电子游戏, 还养了两只猫。

作者

JESSICA M. FAGERSTROM

Fagerstrom 博士是一位医学物理学家, 专注于将物理学原理应用于医学实践。作为医疗团队的重要成员, 她负责确保患者接受放射治疗的安全性。她拥有威斯康星大学医学物理学博士学位和华盛顿大学科学课程与教学硕士学位, 并已获得美国放射学委员会的专业认证。*jfagerst@uw.edu





VICTORIA N. BRY

Bry 博士是一名医学物理学住院医师 —— 这意味着她已完成本科及研究生学业, 正在癌症中心接受专业培训, 以成为委员会认证的医学物理学家。高中时期她便对物理学产生了浓厚兴趣, 因其能阐释万物运行规律。她持有科罗拉多学院物理学学士学位, 后获得德克萨斯大学圣安东尼奥健康科学中心放射治疗医学物理学博士学位, 其研究目标是提升放射治疗中患者护理的精准度与质量。



CAROLINE M. COLBERT

Colbert 博士是一名医学物理学住院医师 —— 即正在接受专业培训的医学物理学家。早在十年级化学课上初次接触辐射的科学应用时, 她便立志投身于利用辐射技术改善人类健康的事业。她在大学攻读核工程专业, 随后进入研究生院深入学习辐射医学应用, 目前正跟随 Fagerstrom 博士等导师学习安全实施放射治疗的技术。她的目标是通过科学的研究开创下一代靶向癌症疗法。



CHEYANN WINDSOR

Cheyann Windsor 是一名医学物理学住院医师 —— 即正在接受专业培训的医学物理学家。高中时期她便对物理科学充满热情, 因此上大学时选择了物理学专业。大学期间她接触到医学物理这一领域, 先后获得托莱多大学医学物理学的学士与硕士学位。她非常热爱作为专业医疗团队的一员, 在日常临床工作中为患者提供帮助。

[†] 这些作者对本文做出了同等贡献

中文翻译由下列单位提供
Chinese version provided by

