

MRI 肿瘤追踪治疗癌症

在一个真正打破思维局限的项目中，来自加拿大 Cross Cancer Institute 的一个团队整合了磁共振成像的高精度定位与线性粒子加速器的高能量放射，实现超高精度的放射治疗。

作者：JENNIFER HAND

癌症放射治疗靶向定位存在一个相当令人难受的事实，就是在精确靶向定位肿瘤时具有明显的不确定性。恰巧，磁共振成像 (MRI) 可以精确地确定肿瘤在软组织中的位置，可以使用它来提供帮助，但由于这两种技术存在冲突，使得必须完全独立地通过线性粒子加速器 (Linac) 来完成放射治疗。MRI 扫描仪需要接收来自患者的微弱射频 (RF) 信号生成图像。但 Linac 的电气需求会产生极大的 RF 信号，这会干扰到微弱信号的采集过程。另一方面，Linac 产生的电子需要精确地定向到标靶上，产生杀死癌细胞的 X 光，但 MRI 的杂散磁场会使电子发生偏转，削弱 Linac 的功能。

如果可以整合这两种技术，它们将构成一种理想的治疗系统，可以在治疗期间随时查明任何肿瘤；尤其是胸部或腹部内会随呼吸移动

的肿瘤。直到近几年，它还被认为是不可可能的任务。现在，加拿大埃德蒙顿 Cross Cancer Institute 的一个团队证明了它并不是不可实现。

一个接一个的挑战

艾伯塔大学（也位于埃德蒙顿）的 Gino Fallone 教授在 2005 年成立了一个特别工作组来攻克这个问题。自那时起，他和他的团队就已经跨越了一些以前认为不可逾越的障碍。他们在 2008 年完成了概念证明，构建了一个可针对头部完全工作的模型（见图 1）。“很难分析 Linac MR 项目中不同的工程和物理问题”，Fallone 说，“我们不得不考虑 MRI 系统，Linac 设计，两者的最佳组合，以

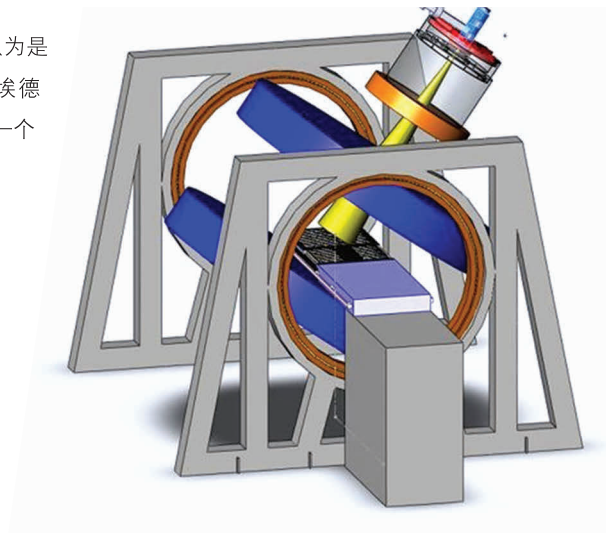


图 1：Linac MR 系统的配置。

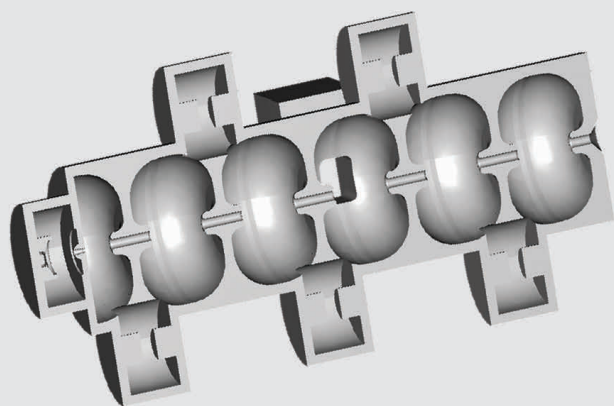
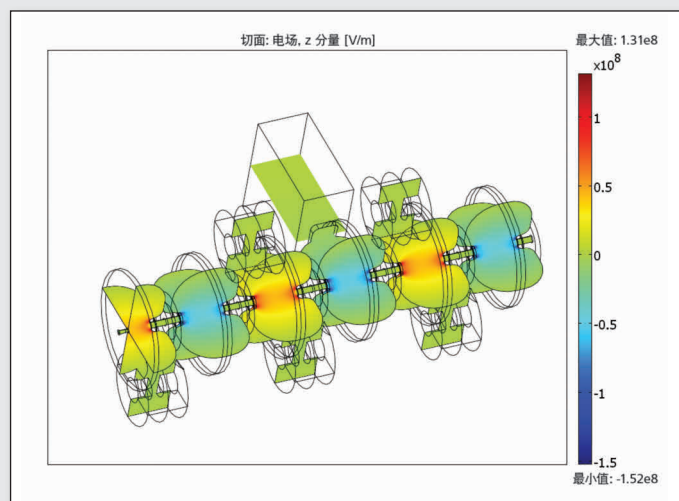


图 2：10 MeV 短波导的 (a) 剖视图和 (b) 电场分布。



及安放新设备的房间等。”

仿真在 MRI 制导放射治疗迈向临床使用的进程中起到了非常重大的作用，团队成员自 2006 年以来一直在使用 COMSOL Multiphysics。

“对于静磁仿真，我们最早期的项目之一是建立一种将 Linac 与 MRI 磁场屏蔽的方法”，团队成员、阿尔伯塔大学副教授 Stephen Steciw 说，“解决了这个问题之后，我们继续研究诸如仿真和优化 MRI 扫描仪结构之类的其他问题，MRI 扫描仪必须加上一个让 X 光束通过的孔。我们以前研究了 Linac 围绕 MRI 旋转时对图像质量的影响，基于此，我们进一步研究了特定角度的场非均匀性，以及规避它们的不同方式。通过验证，我们发现将 Linac 和扫描仪设计为一个整体系统一起移动可以解决这个问题。”

Linac 防护

对于 Linac 的磁场屏蔽，最初的目标是将磁场强度屏蔽至 0.5 高斯，即地球的磁场强度。为了实现这一点，屏蔽墙的钢板最初设置为 5 厘米厚度，长宽各为 200 厘米。从事该项目的医学物理博士研究生 Joel St. Aubin 讲述了这段经历，“使用 COMSOL Multiphysics，我们得以验证 Linac 对于磁场的容纳限度，并将屏蔽半径减至 30 厘米，厚度减至 6 厘米。新屏蔽钢板的重量还不到原始设计的三分之一，从工程设计的角度来说更加具有可行性。这种新的屏蔽措施还能显著降低 MRI 场的非均匀性，使之降至不到原来的三分之一，这对产生无失真的 MRI 图像来说非常重要。”除了 Linac 的被动屏蔽之外，团队还研究了主动屏蔽，进行了反磁场的电磁仿真。

高能量与短波导

“我们希望 Linac MR 生成 10 兆电子伏 (MeV) 的电子束，” Steciw 解释道（见图 2），“在当前的尺度下，这意味着要购买实际上能够产生 22 兆电子伏电子束的设备和 150 厘米长的波导——这对于我们来说太高和太长了。我们估算需要 70 厘米的长度，但通过使用 COMSOL Multiphysics，我们发现可以将波导

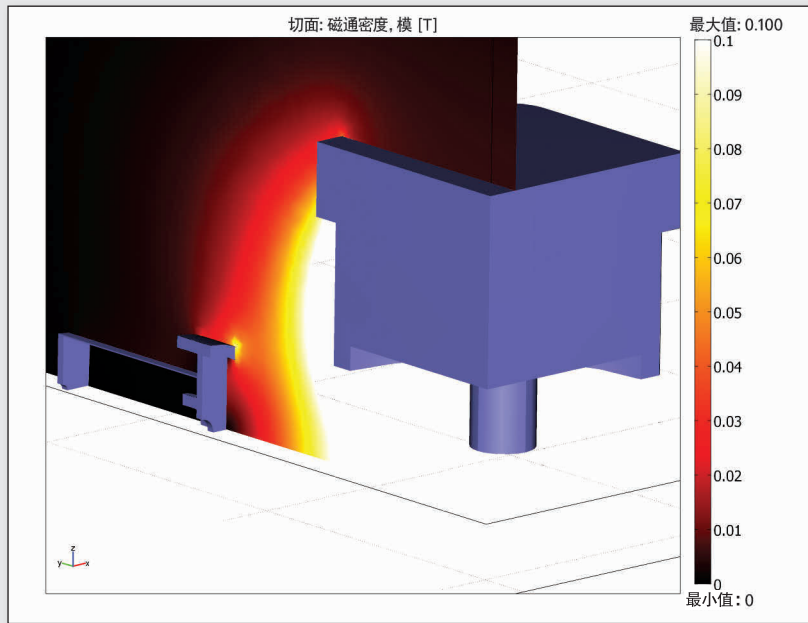


图 3：垂直 Linac MR 方向（磁场线垂直于电子轨迹）的被动屏蔽。

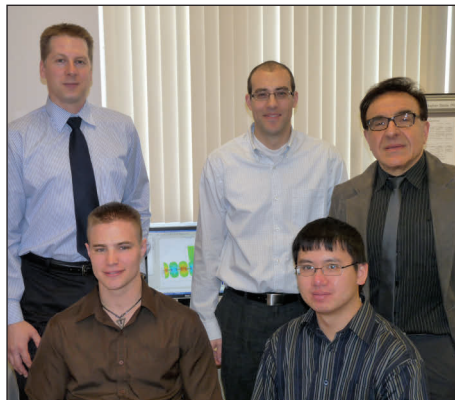
长度降至 30 厘米。现在，我们正在设计新的 S 波段波导。这种长度减小具有重大意义，因为这意味着可以显著减小我们用于摆放 Linac MR

用。

精确靶向定位

该团队使用仿真模型来对该系统的关键组件做工程设计和基础研究，并且该团队正在准备向政府申请批准文件，以便将 Linac MR 作为研究设备用于人类临床试验。

“COMSOL Multiphysics 是一个极其实用且很有帮助的工具，使我们可以完成这项重要的工作，” Fallone 说，“癌症患者目前不得不在肿瘤周围的整个区域承受照射，而且一些内部器官特别难以治疗，因为很难观察到它们。Linac MR 的目标是带来放射治疗的革新。”



后排：Stephen Steciw、Joel St. Aubin 和 Gino Fallone。前排：Devin Baillie 和 Dan Michael Santos。

的房间大小。” COMSOL Multiphysics 也用于确定这个特殊的房间是否需要磁屏蔽（见图 3）。结果显示是需要的，进一步的仿真确定了特殊钢衬板的厚度。首个整体式 Linac MR 正在该房间内建造，预计在 2016 年开放使