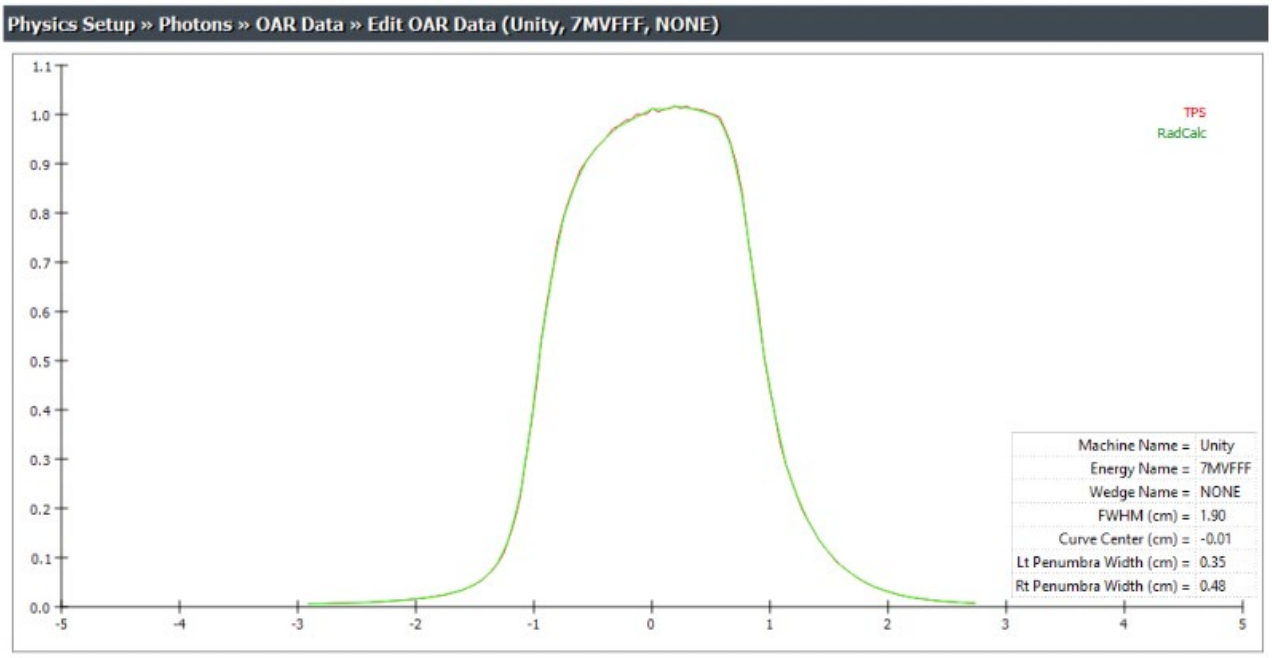
RadCalc 增加 MR-Linacs 支持

RADCALC

本白皮书旨在探讨 RadCalc 增加的支持 MR-Linac 功能。此功能是 RadCalc 基础模块的一部分，在 2019 年 11 月发布的 7.1.4.0 版本中首次采用。

为了验证 RadCalc 对 MR-Linacs 磁场产生的洛伦兹力的处理能力，确认是否提高了准确性和可靠性，研究人员进行了广泛的临床评估。



目录

1.1 引言 _____ 2
1.2 在 RadCalc 基础模块中增加 MR-Linac _____ 3
1.3 临床评估证据 _____ 3
1.3.1 RadCalc MR-Linac 支持文献综述 _____ 4

1.1 引言

随着放射肿瘤学领域的快速发展，在相关软件中支持和集成新的先进治疗技术对于提高治疗质量及确保高效的工作流程至关重要。最近的一项进展是引入磁共振 (MR) 直线加速器 (Linacs)，即将 MRI 成像的精确性与直线加速器的有效性结合起来进行放射治疗。MR-Linac 系统的这种复杂性要求剂量计算工具也随之进行改进，因此，扩展 RadCalc 的功能来适应这些复杂的系统变得至关重要。

MR-Linacs 中的磁场影响剂量计算的精确性和可靠性，而 RadCalc 中增加的 支持 MR-Linacs 功能解决了这一独特挑战。此项增强功能可确保使用 MR-Linac 设计的治疗计划能够得到准确验证。RadCalc 对 MR-Linac 的支持标志着剂量计算工具与放射治疗最新进展在保持一致性方面向前迈出了重要一步。

1.2 在 RadCalc 基础模块中增加 MR-Linac

增加 MR Linac 与增加其他机器一样便捷，但主要区别在于需要指定磁场方向。通过导入实测的剂量分布曲线（Profile），在剂量计算时将磁场的存在考虑在内。RadCalc 基础模块中包含的所有计算方法都可用于 MR Linac，包括 Clarkson 积分模型。此外，IMRT 模块还提供改进的 Clarkson 积分 (MCI)[1] 算法也可以用于 MR Linac。所有计算皆可通过 RadCalc 的导入、导出和报告功能实现自动化。此外，对于 Elekta Unity，RadCalc 还提供计划对比工具，方便进行计划完整性检查。

在数据建模时如果所选能量被标记为使用磁场，RadCalc 会同时使用*横轴（crossplane）*和*纵轴（inplane）*两个方向的离轴剂量分布曲线（Profile）。根据磁场方向，作为 MR-Linac 敏感数据的洛伦兹力的方向也被确定，并通过这些 profile 确定一组单独的边界因子。此外，计算会采用实际未经调整的 profile 数据，而非使用根据 profile 数据确定的校正因子，因此会充分考虑磁场的影响。另一组 profile 数据用作常规的离轴剂量分布曲线数据集。

1.3 临床评估证据

虽然（AAPM 已发布 [2,3] 和目前已例入计划的）标准不断发展，但达到 +/- 5.0% 误差范围仍然是基本标准。一直以来，RadCalc 开发团队都致力于尽量缩窄这些误差，力求在剂量验证中实现更高水平的精度。在 MR-Linac 初始实施阶段，验证中使用了多个模体测试来支持所开发的算法。其中，将包含 7 个射野和 42 个控制点的盆腔计划作为基准测试。

每个射野 CalcPt_1 数据

机架角度	深度 (cm)	等效路径 (cm)	SSD (cm)	OADz (cm)	OADr (cm)	剂量百分偏差 (%)
175	12.90	11.00	125.74	5.04	-0.26	3.5%
30	23.78	11.05	126.57	-1.10	-0.24	7.2%
0	20.51	10.83	128.41	-4.26	-0.24	1.7%
330	21.75	10.58	124.32	-6.39	-0.25	1.5%
240	25.98	18.50	111.04	-2.54	-0.26	0.0%
220	26.90	14.93	109.66	-0.06	-0.26	-1.3%
195	13.18	11.03	124.04	3.02	-0.26	8.4%

	RadCalc (cGy)	RTP 剂量 (cGy)	百分偏差 (%)
CalcPt_1（-4.6、-14.86、130.5）总剂量	**213.22**	**207.60**	**2.7%**

表 1：基准盆腔计划每个射野和总点剂量结果。

1.3.1 RadCalc MR-Linac 支持文献综述

在考虑磁场影响之前，RadCalc 也用于 MR-Linacs 治疗计划的质量控制，因为当时没有商用解决方案。有一项研究采用了一系列测试来集成 RadCalc 和 Elekta Unity 系统进行验证[4]。研究包括测试该软件在一系列治疗计划（包括复杂治疗计划）中准确验证剂量计算的能力。即使不考虑磁场影响，RadCalc 也展现出很高的准确性，而且剂量计算验证结果非常一致。

支持 MR-Linac 的 RadCalc 7.1.4.0 版发布后，RadCalc 在 MR-Linacs 中的临床应用数量激增。更多科研文章（部分概述如下）也随之出现，证实了 RadCalc 作为 MR-Linacs 患者特定质量保证 (PSQA) 工具的可靠性。不过，MR-Linacs 孔径尺寸的特殊约束限制了可获取的扫描数据。因此，RadCalc 提供了预配置的机器模型，这些模型数据来自 Monaco 计划系统（适用于 Elekta Unity）或 ViewRay 的计划系统。

美国华盛顿大学的一份科研文章重点介绍了 RadCalc 在 0.35 T MR-Linac 下使用时的临床认可和评估结果[5]。该研究调查了 0.35 T 磁场对机器跳数计算的影响，发现影响几乎可以忽略不计。RadCalc 7.1.4.0 版已成功用于 ViewRay MRIdian 机型的临床认可，呈现出准确的剂量计算结果。该软件已针对各种几何形状和临床计划进行了测试，结果表明它能在可接受容差范围内工作。

- 简单的几何形状包括简单模体中的各种开野布野。除了单个离轴比较，计算结果与治疗计划系统 (TPS) 值的偏差都在 2% 以内。
- 复杂的几何形状包括在复杂的模体（包括肺模体）中生成多种 MLC 形状。除了远端肺模体内的单个区域，计算结果偏差均在 5% 以内。
- 临床计划包括 25 种不同的患者特定治疗计划，所有结果偏差均在 5% 以内。

这些测试证明了该软件在各种情况下的准确性和可靠性，确保它符合临床标准。

韩国延世大学发表了另一项研究，评估了六种射束建模选项，包括之前讨论过的预配置 Unity 模型[6]。对六种不同的射束模型的评估显示：利用 TPS 平滑计算出的 PDD 以及测量的 Sc、Sp 和 OAR 建立的模型是最佳选项。研究发现，预配置 Unity 模型计算结果一般，主要是因为预配置 Unity 模型中参考剂量没有调整到与医院相匹配的值，因此结果偏差幅度相同。在该研究中，研究人员就前列腺癌、肝癌和乳腺癌患者的 575 个自适应计划对 RadCalc 准确性进行了评估。RadCalc 计算得出的剂量与 Monaco TPS 的剂量进行比较。

方案分布：

- 前列腺癌：15 名患者、360 个计划
- 肝癌：14 名患者、140 个计划
- 乳腺癌：15 名患者、75 个计划

模型 1 结果：

- **前列腺计划**：RadCalc 与 MONACO TPS 之间的平均偏差为 -0.71% (SD 1.0)，表明准确性高。
- **肝脏计划**：平均偏差也不错，为 0.91% (SD 0.9)，总体上在可接受的范围内。
- **乳腺计划**：平均偏差为 3.50% (SD 1.2)，高于前列腺和肝脏计划。

该研究强调了 RadCalc 在计算不同肿瘤部位剂量方面的可靠性，其中前列腺计划的准确性最高。结果强调了在剂量计算中考虑 磁场影响的重要性，尤其是乳腺癌计划。

该研究还调查了基于计算的 PSQA 与基于测量的 PSQA 之间的相关性。基于测量的 PSQA 与 TPS 计算值之间的平均偏差为 **1.66%**，而基于计算的 PSQA 与 TPS 计算值之间的平均偏差为 **-0.46%**，因此平均偏差为 **2.11%±0.80%**。该结果表明 RadCalc 计算值与基于测量的 PSQA 呈现出相似的趋势，也表明使用 RadCalc 计算方式替代测量方式可能是可行的。

这些结果证明了 RadCalc 基于计算的方式用于 PSQA 的潜力，而这可以简化放疗领域中的质量保证流程。研究结果也体现了 RadCalc 在 1.5 T 磁场下计算剂量的准确性，使其成为自适应计划中 PSQA 的重要工具。该研究也强调了在剂量计算中考虑磁场 影响的重要性。

参考文献

1. Bohorquez. *Whitepaper on RadCalc Classic: The Original Comprehensive Secondary Dose Calculation Software for Radiation Therapy*. Lifeline Software Inc. (2024).

2. Kutcher, et. al., Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40, Medical Physics, 21, pp. 581-618, (1994).

3. Stern et. al., AAPM Task Group 114. Verification of monitor unit calculations for non-IMRT clinical radiotherapy: report of AAPM Task Group 114. Med Phys. 2011 Jan;38(1):504-30.

4. Graves SA, Snyder JE, Boczkowski A, St-Aubin J, Wang D, Yaddanapudi S, Hyer DE. Commissioning and performance evaluation of RadCalc for the Elekta unity MRI-linac. J Appl Clin Med Phys. 2019 Dec;20(12):54-62. doi: 10.1002/acm2.12760.

5. Price AT, Knutson NC, Kim T, Green OL. Commissioning a secondary dose calculation software for a 0.35 T MR-linac. J Appl Clin Med Phys. 2022 Mar;23(3):e13452. doi: 10.1002/acm2.13452.

6. Sung, J., Cho, Y., Kim, J. W., & Lee, H. (2024). Dose calculation accuracy of beam models in RadCalc for a 1.5 t MR-Linac. *Cancers*, *16*(3), 526. doi: 10.3390/cancers16030526

备注：并非所有产品或功能在所有市场有售。