

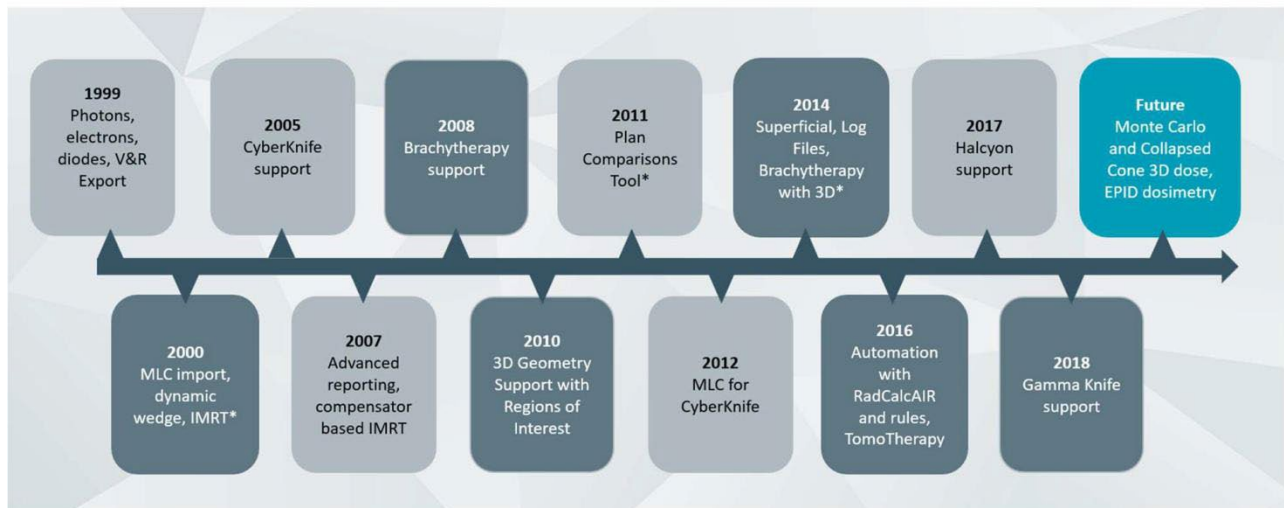


RadCalc 经典版：用于放射治疗的综合二次剂量计算软件

RADCALC

了解 RadCalc 如何凭借其先进的剂量计算和验证工具彻底改变放射治疗。本白皮书探讨了 RadCalc 的发展历程，展示了其强大的功能，例如MU、时间和剂量计算，以及用于近距离放射治疗的独立剂量验证。了解它如何与治疗计划系统无缝集成，提高工作流程效率并减少错误。深入了解其模块化设计，该设计支持多种治疗模式，包括IMRT、TomoTherapy和伽马刀在内。大量临床评估验证了 RadCalc 的准确性和可靠性，使其成为确保患者安全和治疗效果的重要工具。阅读本文您将了解：作为精准放射治疗的质控工具，RadCalc 为什么受到临床医生的如此信赖。

A History of Innovation



* First to market with these products





目录

1.1 介绍	3
1.2 RadCalc的关键特征	3
1.3 支持的治疗方式及相关模块	5
1.4 临床评估证据	6
1.4.1 RadCalc 基础模块, 治疗计划导入/导出模块	6
1.4.2 IMRT模块和对体内热释光剂量计/二极管和电子束放射治疗的额外支持	7
1.4.3 近距离放射治疗模块	8
1.4.4 感兴趣区域模块 (ROI)	8
1.4.5 浅表治疗模块、3D近距离放射治疗和图像分析	10
1.4.6 TomoTherapy模块	11
1.4.7 伽马刀模块	11
1.5 结论	11

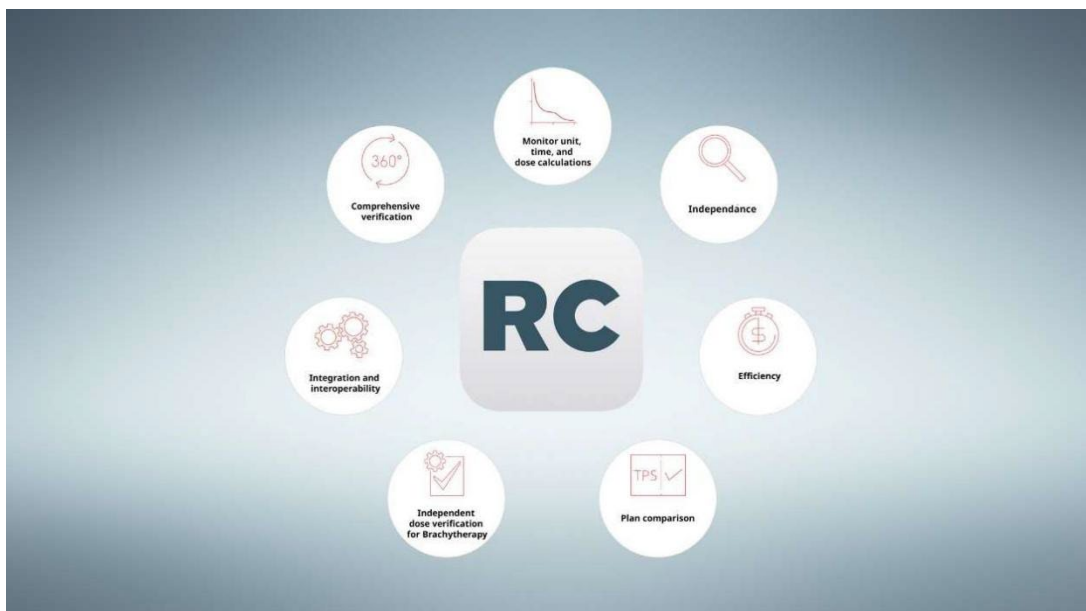
1.1 介绍

RadCalc是一款特意为放射治疗提供二次剂量计算（SDC）的软件。它在验证患者放射治疗剂量方面起着至关重要的作用，从而确保放射治疗的准确性和安全性。RadCalc能够计算监测单位（MU），时间以及实际剂量（以Gray（Gy）或centi-Gray（cGy）为单位），支持光子、浅表放疗、近距离放射治疗和电子线。虽然它不能直接控制放射治疗硬件设备，但RadCalc能与主流的放射治疗计划软件和验证记录系统实现无缝对接。

安全在放射治疗中至关重要。我们应尽可能的保护患者健康组织受到不必要的电离辐射损害，每个测量都必须尽可能准确。不同的质量保证（QA）流程可能会产生不同的结果，因此独立验证计算结果是至关重要的。这正是RadCalc所做的：在一个易于使用的软件平台中独立验证剂量计算。

1.2 RadCalc的核心功能

RadCalc通过提供先进工具实现精确且高效的验证，从而提升临床实践水平。它与治疗计划系统的无缝集成优化了工作流程效率，使临床医生能够专注于患者护理。



图像1 RadCalc核心功能概述

机器跳数(MU)，时间和剂量计算

RadCalc在执行二次剂量计算方面表现卓越，其通过从输入表格或曲线中提取数据，并利用描述这些数据的模型来计算机器跳数（MU）、时间和剂量。这些计算对于验证主要放射治疗计划系统的输出至关重要，从而确保治疗过程的精准度。通过提供这些计算，RadCalc验证了放射治疗的准确性和可靠性，而这对于患者安全至关重要。



独立性

RadCalc提供多重独立性，确保在放射治疗中达到极高程度的精确度和安全性。这种独立性体现在测量数据、定位与通量生成以及计算方法等多个方面。通过执行这些独立计算，RadCalc降低了错误风险，并提升了整体质量保证流程。

高效性

RadCalc 借助 RadCalcAIR 提供自动化数据导入和导出功能，简化了工作流程并减少了手动数据录入的需求。这种自动化操作降低了潜在的错误风险，提高了效率，使临床医生能够将更多精力集中于患者护理而非行政事务。临床工作流程优化的价值体现在减少患者的等待时间以及减少员工在重复性任务上所花费的时间。

计划对比

RadCalc 的一项独特功能是其计划比较能力。该功能允许用户将来自记录与验证（R&V）系统的计划与直接从治疗计划系统（TPS）导出的计划数据进行比较。这种比较对于发现 TPS 中已批准的计划与 R&V 中准备用于治疗计划之间的数据传输错误至关重要。此功能对于识别差异并确保最终治疗计划的准确性与可靠性尤为有用。

近距离放射治疗独立计划验证

RadCalc 为多种近距离放射治疗提供独立的剂量验证与放射源定位，包括高剂量率（HDR）、低剂量率（LDR）以及永久性植入近距离放射治疗。它通过提供三维剂量信息和剂量体积直方图（DVH）实现全面分析提高了对治疗设备的兼容性。该功能确保所有近距离放射治疗方案都经过全面准确的验证，对临床医生的治疗计划准确性实现助力。

集成和协同性

RadCalc 无缝集成到各种治疗计划系统（TPS）中，为剂量验证提供了多功能且全面的解决方案。其协同性确保 RadCalc 能够轻松接收来自不同 TPS 的数据，从而成为所有放射肿瘤科的重要工具。这种无缝集成简化了工作流程，并提升了治疗计划与验证过程的效率。

全面的独立验证设备兼容性

RadCalc 支持包括强度调制放射治疗（IMRT）、TomoTherapy、伽马刀以及近距离放射治疗在内的多种治疗类型和模式，提供全面的剂量验证能力。这种广泛的支持确保所有治疗计划，无论其复杂程度如何，都能得到准确验证。RadCalc 全面的验证能力使其成为确保放射治疗质量和安全性不可或缺的工具。



1.3 支持的治疗方式及相关模块

RadCalc 采用模块化设计，针对放射治疗验证的不同方面提供专门模块：

RadCalc 基础模块 RadCalc 的核心模块，执行所有计算验证，确保放射治疗中的二次剂量检查准确无误。	治疗计划（RTP）导入 该模块可直接从主流治疗计划系统中无缝导入治疗计划，无需手动输入数据，减少潜在错误。	验证和记录导出 RadCalc 可将经过验证的放射治疗计划导出至记录与验证系统，优化工作流程，确保治疗文档的一致性。
IMRT模块 该模块验证强度调制放射治疗（IMRT）计划的剂量计算，确保复杂剂量分布的精准性，提高治疗执行的准确度。	近距离放射治疗模块 RadCalc 执行独立的近距离放射治疗剂量验证计算，支持高剂量率（HDR）、低剂量率（LDR）及永久性植入治疗。该模块提供三维剂量计算和剂量体积直方图分析工具，实现全面验证。	3D几何的感兴趣区域 通过DICOM RT或Pinnacle从计划系统中导入感兴趣区域，该模块计算到计算点的深度和有效深度，提高剂量准确性并确保精确的治疗实施。
浅表治疗模块 RadCalc 允许定义具有各自半价层（HVL）值和特定能量参数的多种能量。每种能量都可以有一组允许的源皮距（SSDs）、限光筒以及测量得到的反向散射因子。	TomoTherapy模块 RadCalc 支持 TomoHelical、TomoDirect 和 TomoEDGE，并能对多个计算点的治疗时间和剂量进行验证。	伽玛刀模模块 RadCalc执行各种伽马刀版本和Leksell GammaPlan (LGP)治疗计划系统的点剂量验证计算。



1.4 临床评估证据

自1999年首次发行以来，RadCalc具有悠久的临床应用历史。最初开发RadCalc是为了满足TG-40⁽¹⁾报告的严格建议，旨在提供全面的二次剂量检查，预期的误差范围优于 $\pm 5.0\%$ 。多年来，RadCalc不断发展，并结合了美国医学物理学家协会（AAPM）的新建议，以提高其准确性和可靠性。

尽管标准不断变化，但在 $\pm 5.0\%$ 误差范围内这一基础标准始终没有改变，从而确保其性能保持一致性。RadCalc的开发团队始终致力于尽可能缩小这一标准，力求在剂量验证中达到极高的精度。这种对准确性的坚持体现在 RadCalc 后续版本的强大临床评估和持续性能提升中。

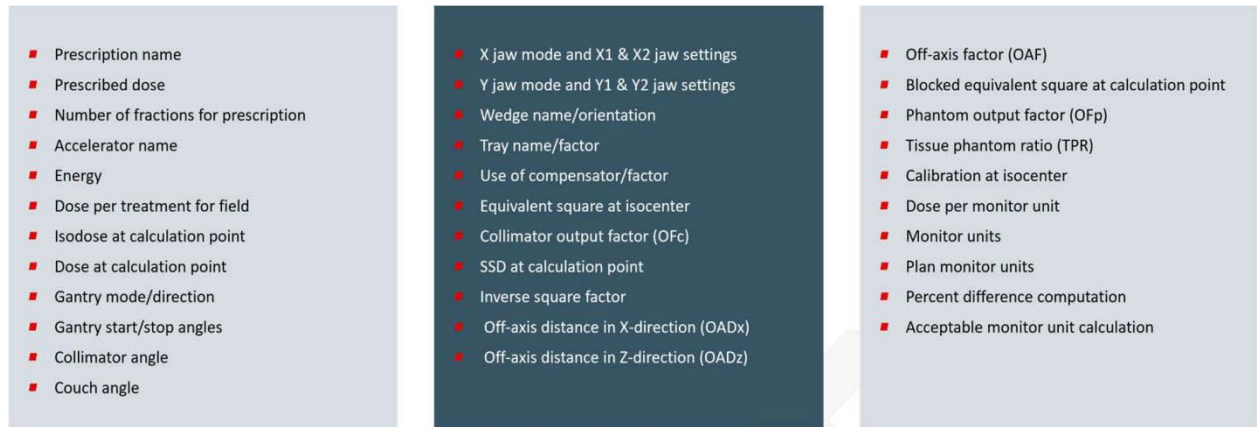
通过整合这些严格的标准并适应新指南，RadCalc 巩固了其在放射治疗领域作为一个值得信赖且可靠工具的美誉，以确保患者获得极为安全且有效的治疗方法。

1.4.1 RadCalc 基础模块，治疗计划（RTP）导入/导出模块

RadCalc起源

1999 年，RadCalc 基础模块、治疗计划（RTP）导入模块以及验证与记录导出模块率先发布，为RadCalc的全面剂量验证能力奠定了基础。RadCalc 基础模块专门设计用于对三维治疗计划系统（TPS）执行二维机器跳数（MU）计算。这些计算的所需准确性设置为 $\pm 3.0\%$ 的可接受标准。该阈值被认为是可以接受的，因为RadCalc的二维计算最初并未像现代TPS执行的三维计算那样全面地考虑患者体内散射线。RadCalc的早期版本将患者模型简化为矩形或方形模体，重点是验证治疗计划系统（TPS）的MU计算，而不是对复杂的患者解剖结构进行建模。这种方法与后来在TG-114⁽²⁾中描述的指南一致。

除了提供二次剂量检查外，治疗计划（RTP）导入和验证与记录(R&V)导出模块通过自动导入33个光子计算的关键参数到R&V，提高了准确性和效率。这种自动化大大降低了人为误差的可能性。导入的参数如下：



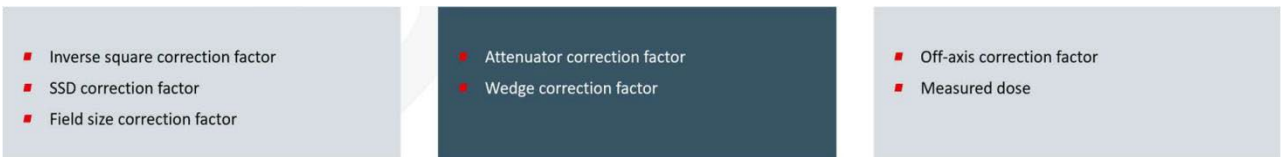
1.4.2 IMRT模块和对体内热释光剂量计/二极管和电子线治疗的额外支持

RadCalc v4.0中提供增强功能

2000 年，仅在一年之后，RadCalc 4.0 版本就进行了重大革新，增加了包括对电子束和热释光剂量计/二极管计算的支持，进一步扩展了RadCalc 基础模块的功能。电子束计算的支持与光子计算的实现方式相似，该计算遵守TG-114号报告和其他相关出版物^(2, 3, 4)中描述的指导原则。这一改进包含了在治疗计划（RTP）模块中自动导入以下11个电子束计算的参数：



RadCalc 4.0 版本中增加的体内热释光剂量计 / 二极管（TLD/Diode）计算引入了两个关键功能。第一个功能是计算束流Dmax深度处的剂量。第二个功能是获取输入的热释光剂量计或二极管读数，并根据射束布置情况，如TG-62中所述（报告87）⁽⁵⁾，应用一系列校正因子，最终得到患者的实际剂量值。为体内热释光剂量计 / 二极管计算的导入增加了七个参数，具体如下：



当电子束模块首次引入时，RadCalc和手动的治疗计划剂量计算结果对比，结果显示是十分准确的。所有结果都在使用热释光剂量计 / 二极管（TLD/Diode）测量进行剂量计算的可接受标准范围内。大多数数值源自数据库中的相关因素，仅在进行离轴、射野大小和源皮距（SSD）校正时需要进行插值修正。

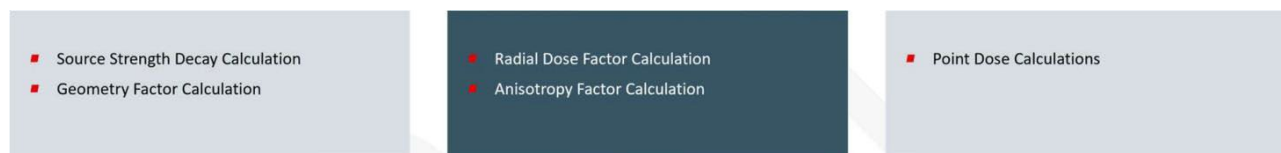
IMRT模块介绍

RadCalc中IMRT模块的引入运用了改进的克拉克森积分（MCI）算法来进行剂量计算。这种算法经过测试并发表于《医学物理学》⁽⁶⁾杂志上，它涉及成千上万次的计算，无法通过手动完成。为了验证 MCI 算法，从治疗计划系统中导出了临床数据并进行计算。在这些计算中，最大的差异出现在许多具有倾斜表面的头颈病例中。产生这种差异的原因是，此时的 RadCalc 仍将患者模型简化，假定在每个射束角度下患者表面都是平坦的，这可能会高估散射的影响，从而导致计算剂量偏高。尽管如此，在临床环境中，这种百分比差异仍被认为是可以接受的，从而对主要治疗计划系统的有效性提供了信心。

1.4.3 近距离放射治疗模块

RadCalc 6.0版本近距离放射治疗模块的引入

2008年，RadCalc 6.0版通过引入了基于AAPM TG-43号协议和相关补充文献(7, 8, 9)的近距离放射治疗模块，这标志着一个重要的里程碑。该模块旨在对同样遵循TG-43协议的治疗计划系统计算出的剂量进行比较。近距离放射治疗模块导入并评估了五个主要参数：



为确保该模块的准确性，使用了Varian BrachyVision和Oncentra近距离放射治疗计划系统的治疗计划进行测试。这些治疗计划要么通过DICOM RT从TPS导出，要么手动输入到RadCalc中。

RadCalc执行的所有计算结果与治疗计划系统相比，差异都5%的可接受标准之内。计算中观察到的较大偏差是由计算点和放射源之间较大的入射角导致的。这些差异对插值方法和入射角的确定更为敏感。同时也考虑了不同TPS使用的插值方法的差异。

1.4.4 感兴趣区域（ROI）模块

6.1 版本中感兴趣区模块的三维几何支持

2010年RadCalc引入了感兴趣区域（ROI）模块，这是将简化的患者模型发展到精细的三维患者模型的演变，使RadCalc能够在外照射放疗中计算射束或控制点的深度和等效路径值，从而计算MU和剂量。这一进化使RadCalc能够为容积调强治疗（VMAT）计算每个控制点的深度值。

使用Varian的RapidArc Planning和Pinnacle的SmartArc工具进行了感兴趣区域计算的测试。



以下表格对 RadCalc 5.2 版本和 6.1 版本在有身体轮廓和无身体轮廓两种情况下的一致性百分比进行了详细对比：

患者编号 #	RadCalc版本5.2 百分比一致性				RadCalc版本6.1 百分比一致性 无身体轮廓				RadCalc版本6.1 百分比一致性 有身体轮廓			
	第一次治疗		后续治疗		第一次治疗		后续治疗		第一次治疗		后续治疗	
	顺时针	逆时针	顺时针	逆时针	顺时针	逆时针	顺时针	逆时针	顺时针	逆时针	顺时针	逆时针
1.	-0.5	-4.9	-7.8	-1.2	0.4	-1.2	-5.4	0.1	-1.2	0.2	-1.8	0.0
2.	IMRT	IMRT	-3.0	-6.4	IMRT	IMRT	-	-4.8	IMRT	IMRT	-	-0.1
3.	-4.0	-7.3	N/A	N/A	-	-6.3	N/A	N/A	-	0.0	N/A	N/A
4.	IMRT	IMRT	-4.3	-7.7	IMRT	IMRT	-	-6.7	IMRT	IMRT	-	-1.0
5.	-7.4	-2.6	N/A	N/A	-6.4	-	N/A	N/A	-0.4	-	N/A	N/A
6.	-0.4	-5.7	N/A	N/A	-	-5.5	N/A	N/A	-	-0.4	N/A	N/A
7.	3D	3D	-3.1	-10.9	3D	3D	-2.3	-5.5	3D	3D	0.5	-3.5
8.	-8.0	-9.0	N/A	N/A	-6.3	-8.2	N/A	N/A	-0.1	-1.5	N/A	N/A
9.	-4.0	-5.1	N/A	N/A	-1.3	-4.2	N/A	N/A	-0.1	0.0	N/A	N/A
10.	-3.2	-5.0	N/A	N/A	-0.5	-3.7	N/A	N/A	0.5	-0.3	N/A	N/A
11.	IMRT	IMRT	-6.6	-3.2	IMRT	IMRT	-4.3	-0.7	IMRT	IMRT	-1.3	-0.4
12.	IMRT	IMRT	-5.9	-5.4	IMRT	IMRT	-4.2	-4.1	IMRT	IMRT	-4.1	-2.0
13.	-6.0	-8.8	N/A	N/A	-3.8	-3.3	N/A	N/A	0.3	1.2	N/A	N/A
14.	-7.6	-4.4	N/A	N/A	-2.2	-1.4	N/A	N/A	-1.1	0.0	N/A	N/A

表 1：凡是标注 N/A 的地方，表示未进行VMAT计算。对使用和不使用感兴趣区域（ROI）模块的数据都进行了检查。这样做是为了记录使用和不使用 ROI 模块之间的差异。这也展示了 6.1 版本所做更改带来的不同，在 6.1 版本中，对使用弧形放疗时多个控制点的计算方式做了一些修正。至于 5.2 版本和 6.1 版本在无身体轮廓情况下的结果，使用的是由治疗计划系统计算得出的平均深度和平均有效深度。

如表 1 所示，在不考虑身体轮廓的情况下，5.2 版本的计算结果与 6.1 版本的计算结果之间的一致性百分比有所提高。对于 6.1 版本中考虑身体轮廓的计算，一致性甚至更好。5.2 版本的平均一致性为 -5.3%；6.1 版本在不考虑身体轮廓时，平均值为 -3.7%，而 6.1 版本在考虑身体轮廓时，平均百分比差异为 -0.7%。在使用患者身体轮廓来计算容积调强弧形放疗（VMAT）治疗的剂量时，剂量计算有了显著的改进。



1.4.5 浅表模块和三维近距离放射治疗和图像分析的支持

RadCalc 基础模块和近距离放射治疗法模块

2014年，RadCalc 6.3 版本引入了多项重大改进，扩展了 RadCalc 基础模块和近距离放射治疗模块的功能。这些改进包括对浅表/正电压计算的支持，近距离治疗计划计算和显示三维剂量的能力以及新的图像分析功能。尽管这些功能可能看起来很复杂，且在文献^(10, 11)中有相关描述，但它们的实现利用了RadCalc内部已有的、经过充分评估的功能。

浅表/正电压计算

在RadCalc 基础模块中添加浅表/正电压计算功能，这使得用户能够像进行其他 RadCalc 计算一样，以相同的精度和可靠性来执行此类计算。这一扩展确保了RadCalc可用于更广泛的治疗类型，从而提高了它在临床环境中的实用性。

三维近距离放射治疗剂量体积

6.3 版本还增加了计算和显示近距离放射治疗三维剂量体积的功能。该功能包括生成一系列以均匀网格状分布的点，这些点代表了三维空间中的剂量分布情况。这一改进提供了更全面的剂量分布视图，有助于进行更优质的治疗计划制定和验证工作。

图像分析功能

RadCalc 6.3版本引入的新图像分析功能是放射治疗质量保证方面的一个重要工具。一直以来，RadCalc 可以生成或导入用于基于补偿器的调强放射治疗（IMRT）的通量图。这一新功能能够通过三个主要过程对两个通量图或剂量图进行数学比较：

百分比差异计算

此常规过程计算两个剂量值之间的百分比差异，类似于RadCalc现有的用于比较MU或剂量值的功能。

吻合距离（DTA）

该数值是通过在其他点位置搜索剂量或通量，直到找到一个处于指定百分比范围内的值来确定的。这与RadCalc中用于IMRT计算的体积平均剂量工具类似。

伽马分析

这个数学公式将两个数值结合起来，以得出一个综合质量指数，从而对通量图或剂量图进行全面的比较。

这些图像分析功能为用户提供了一种简单而有效的方法，用以评估两张图（通量图或剂量图）的匹配程度，从而提高了质量保证程序的准确性和可靠性。



1.4.6 TomoTherapy模块

RadCalc 6.3.4 版本引入TomoTherapy模块

2016 年推出的 RadCalc 6.3.4 版本引入了TomoTherapy模块，支持TomoTherapy系统制定的治疗计划，并对超过一百项计算进行了测试。测试结果表明精度很高，所有计算都没有超过5%的验收标准。不过，平均而言，计算得出的百分比差异在 1% 或更低。这些结果表明，RadCalc的TomoTherapy模块能够提供可靠且精确的剂量计算，可与该领域的其他系统相媲美⁽¹²⁾。这些计算的一致性和准确性证明了该模块在临床环境中的有效性，确保螺旋断层放疗治疗能够得到准确验证且对患者是安全的。

1.4.7 伽马刀模块

RadCalc 6.4.1.0版本引入伽马刀模块

2018 年，RadCalc 6.4.1.0 版本引入了伽玛刀（Gamma Knife）计算的功能，扩展了软件的剂量验证功能。伽马刀计算利用了 RadCalc 现有的功能，比如通过感兴趣区的射线追踪、各种计算能力和可视化工具等。此外，该模块还具备通过 SQL 数据库连接导入计划信息的新功能，同时在数据存储和表格查找方面进行了一些细微的计算优化。

为评估 RadCalc 6.4.1.0 版本中伽玛刀计算的准确性，进行了大量测试。在总共约 1050 次计算中，只有 3 次计算结果的偏差超过了 5%，这符合可接受标准。此外，只有 7 次计算结果的差异超过了 3%。因此，所有计算中有 99.3% 的结果差异在 3% 以内，这显示出了极高的准确性。

结果表明，伽马刀模块提供了可靠且精确的剂量计算，适合作为二次剂量验证工具使用。观察到的少数异常值主要出现在浅表部位，这与相关文献⁽¹³⁾中的研究结果一致。

1.5 结论

RadCalc 对于放射治疗专业人员而言是不可或缺的工具，它能提供可靠的二次剂量计算，从而确保治疗实施过程中的准确性和安全性。它的模块化设计提供了满足现代放射治疗实践所需的灵活性和可扩展性。通过与现有系统无缝集成并提供强大的验证功能，RadCalc显著提高了癌症患者的放射治疗的质量和安全性。

大量的临床评估和严格的测试持续验证了RadCalc各种版本和模块的有效性和可靠性。这些评估表明，RadCalc 一直致力于在放射治疗领域保持高标准，从而赢得用户持续的信任。凭借其先进的功能和以用户为中心的设计，RadCalc 一直是实现有效且精准癌症治疗的关键组成部分，支持临床医生为患者提供尽可能优质的医疗服务。



参考文献

- 1 Kutcher, et. al., Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40, Medical Physics, **21**, pp. 581-618, (1994).
- 2 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.
- 3 Shiu et. al., Comprehensive analysis of electron beam central axis dose for a radiotherapy linear accelerator, Medical Physics, **21**, pp. 559-566, (1994).
- 4 Jursinic and Mueller, A sector-integration method for calculating the output factors of irregularly shaped electron fields, Medical Physics, **24**, pp. 1765-1769, (2000).
- 5 Yorke et. al., Report No. 087 - Diode in Vivo Dosimetry for Patients Receiving External Beam Radiation Therapy. Report of Task Group 62 of the Radiation Therapy Committee. Medical Physics. (2005)
- 6 Kung et. al., A Monitor Unit Verification Calculation in Intensity Modulated Radiotherapy as a Dosimetry Quality Assurance, Medical Physics, **27**, 2226-2230, (2000).
- 7 Nath, et. al., Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43, Medical Physics, **22**, pp. 209-234, (1995).
- 8 Rivard, et. al., Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations, Medical Physics, **31**, pp. 633-674, (2004).
- 9 Rivard, et. al., Supplement to the 2004 update of the AAPM Task Group No. 43 Report, Medical Physics, **34**, pp. 2187-2205, (2007).
- 10 Al-Hallaq et. al., AAPM task group report 302: Surface-guided radiotherapy. Med Phys. 2022 Apr;49(4):e82-e112. doi: 10.1002/mp.15532. Epub 2022 Mar 15.
- 11 Low et. al., A technique for the quantitative evaluation of dose distributions, Medical Physics, **25** (5), pp. 656-661, (1998).
- 12 Thomas et. al., "Dose calculation software for helical tomotherapy, utilizing patient CT data to calculate an independent three-dimensional dose cube", Med. Physics 39, 160-167, (2012).
- 13 Prusator et. al., Evaluation of a new secondary dose calculation software for Gamma Knife radiosurgery. J Appl Clin Med Phys. 2020 Jan;21(1):95-102.

备注：并非所有产品或功能在所有市场有售。