

Medtronic 借助多物理场仿真 推进消融治疗技术发展

这项新的消融技术将帮助医生更好地规划和实施消融治疗,也许能为病人带来更好的治疗效果。

作者: GARY DAGASTINE

消融治疗技术的方法早在几十年前就已经被发现,也就是利用高频的电磁(EM)能量破坏软组织肿瘤;然而直到近几年,这项医学疗法的底层技术才得到了发展。

一直以来,微创肿瘤治疗的基准技术都是通过施加电流来杀死病变组织,即对组织持续加热直到分解,这一过程称为热消融。在 500 kHz 频率下传递的能量在 EM 频谱的射频(RF)范围内,因此称作 RF 消融系统。

近年来,微波(MW)消融技术已经商用,并变得越来越受欢迎。在 MW 频率下,可以使用振荡 EM 场来进行热消融。

美敦力公司(Medtronic)是一家世界领先的医疗技术与服务公司,也是 RF 和微波消融技术的领先供应商。

利用 RF 和 MW 系统,使用一个或多个针状探针来施加消融能量。

美敦力最新推出的创新产品 Emprint™ 消融系统采用了 Thermosphere™ 技术。与其他技术或设备相比,这项技术能提供更易于预测更易复现的结果。这些优势来源于 Thermosphere™ 技术能够精确控制独立于周围组织环境的 EM 场。

努力提供更好的可预测性

研究表明,内科医生会把可预测性

看作评估消融疗效的最重要依据。可预测性水平越高,医生越容易规划出一个更简单、更有效并且耗时更短的治疗方案。

由于技术本质的原因,要保证 RF 消融过程能实现预期的效果是极具挑战的。再加上不同组织的电导率不同,相对其他组织,有些组织更难通过有效的 RF 加热进行治疗。此外,随着目标组织的温度接近 100 °C,组织内的水分开始蒸发,电导率会快速下降。这将使温度难以升高到能引起细胞分解的程度。

MW 消融技术尝试通过辐射到组织的 EM 场解决这些限制(图 2)。但在实际应用中,组织类型与消融时水分的蒸发都会造成 EM 场大小与形状的改变。

采用 Thermosphere™ 技术的 Emprint™ 消融系统实现了可预测这一承诺。通过对组织中 EM 场及温度的精确控制,医生将能轻松控制所传递的热能。这使临床医生能够精确预测消融区的边界和特征。

实时监控消融情况

“现在的难题是实时监控消融的表现。”美敦



图 1: 左图: 各种消融技术可能产生无法预测的肿瘤消融区形状。右图: 不论目标位置或肿瘤类型,美敦力采用 Thermosphere™ 技术的 Emprint™ 消融系统都能带来可预测的球形消融。

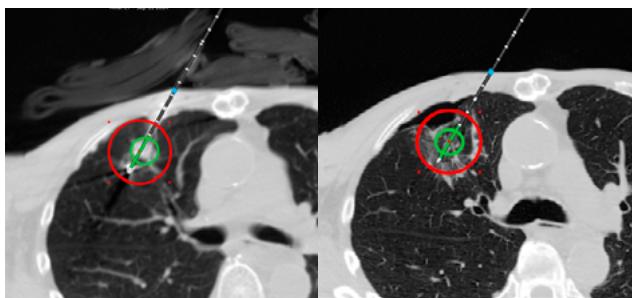


图2：左图显示了消融探针的放置。绿圈为目标处（病变位置），红圈代表预计实现的消融边缘。右图显示了该位置消融完成后的情况。

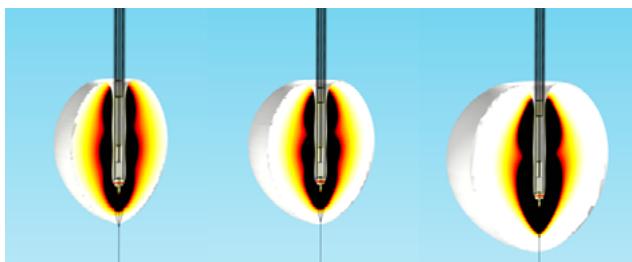


图3：来自 COMSOL 软件仿真的结果显示了利用热损伤计算确定的功率损耗密度或消融程度。天线与周围肿瘤最初的匹配良好，但随着治疗时间的继续，肿瘤温度会上升，匹配（例如天线方向）将发生改变（从左到右）。

力微创疗法集团（MITG）首席工程师 Casey Ladtkow 这么说道，“现在，内科医生在进行消融治疗时，并不能得到有关治疗有效性持续的实时反馈。如果他们能够从始至终实时了解进度，消融治疗的有效性将会得到提升。”

他带领着大约 40 名员工正进行介入肿瘤学的研究，团队的使命是交付一个

能够减轻疼痛、恢复健康以及延长生命的程序性解决方案。他和他的团队正在使用 COMSOL Multiphysics® 软件来开发新的消融探针，希望可以提升可预测性和有效性水平。

他们正着手研发的一个项目是优化探针设计，希望新的探针能提供更精确消融区，同时还能通过辐射计提供实时反馈。

辐射计将测量 EM 辐射，用于表征 EM 场的空间分布。Ladtkow 的团队将辐射计集成在美敦力的探针中，希望能为临床医生提供有关消融区的实时反馈。这样，临床医生在治疗过程中能够随时根据需要微调消融区，保证辐射在破坏目标组织的同时尽量减小对周围健康组织的影响。

团队在该项目中使用 COMSOL Multiphysics 和软件自带的 RF 模块来模拟探针，希望能更好地理解并优化他们的发射/辐射以及接收/监控属性。“MW 消融系统的性能和精度受到众多动态因素的影响，而这些因素会在多种物理场环境中同时发生。COMSOL® 软件使我们能够快速轻松地执行相关的复杂模拟，帮助我们理解这些耦合效应，以及改进

我们的设计。” Ladtkow 说道。

» 仿真实现了快速安全地设计、产品优化及原型机制作

在这样一个复杂的器件内，每个基于物理场的因素都可能会影响器件性能，因此通过开发一系列物理样机并对其进行评估的传统方法不再适用。

团队使用 COMSOL 模拟了能量辐射器，并测试了在同一器件中加入辐射传感器的设计；同时模拟了辐射探针硬件周围热与电磁的耦合效应，以便确定不同条件下的辐射表现（图 3）。

Ladtkow 使用生物热方程分析了活体组织中的传热，其中包括一个灌注项，用于分析组织凝结后血液流动的停止。这使他的团队理解了传递到肿瘤周围细胞中的热量，并预测温度分布，确保高效、可预测的能量传递。

他同时还进行了其他研究：分析反应速率的温度依赖性（理解消融区的大小）；进行辐射学测定，确定进入组织的能量和反射回辐射器的能量，以及液相到气相的相变动力学（图 5）。“后者对

“多物理场仿真使我们能够快速开发、评估及优化我们的设计，没有它的帮助，我们将无法实现这一切。”

— CASEY LADTKOW, 美敦力首席工程师

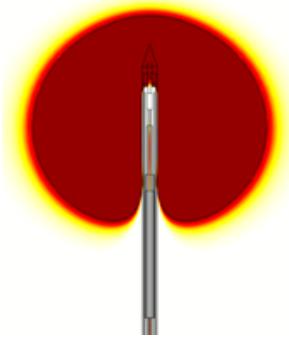


图 4: COMSOL 绘图显示了预测消融体积或组织破坏截面。此信息可用于修改生物热方程, 因此能用于修改组织中的灌注条件。红色区域代表不存在灌注的凝结组织; 白色区域代表正常灌注区域。通过在生物热方程中为灌注项建立一个真实的开/关条件, 模型将变得更加精确。

于获取波的形状至关重要, 因为波长会变化的关系, 了解组织中的水分含量对了解辐射计的表现至关重要,” 他说道, “在 COMSOL 中执行这个模型非常简单。”

仿真显示, 延长天线的近端辐射区 (PSR) 和缩短远端辐射区 (DRS) 将得到一个有效的消融辐射器及接收器。这些研究 (图 6) 帮助他们设计出了内嵌辐射计的消融辐射器原型机, 同时还提供了集成探针性能的结果。

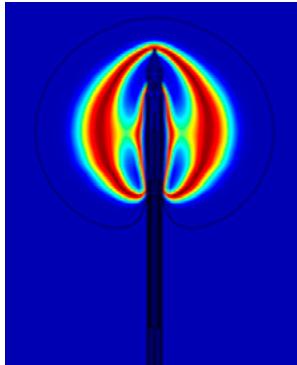


图 5: COMSOL 结果显示了探针周围组织中热容的变化, 主要由组织中水的相变决定。了解水沸腾区非常重要, 因为液体水与蒸发水中 MW 的辐射波长变化很大。

» 从不可能到可能

“如果没有 COMSOL 帮助我们运行这些分析, 单凭实验是无法找到一个集成式发射器及接收器的优化解决方案。COMSOL 帮助我们找到了特定架构, 并可能由此开发出一款集成器件, 这是我们无法通过其他方式实现的。” Ladtchow 继续解释道。

Ladtchow 的团队结合了 COMSOL® 软件与 MATLAB® 软件, 二者结合提供的强大功能使他能够快速轻松地优化包含高度复杂算法的复杂模型。Ladtchow 还希望能在他们的模拟工作流程中加入

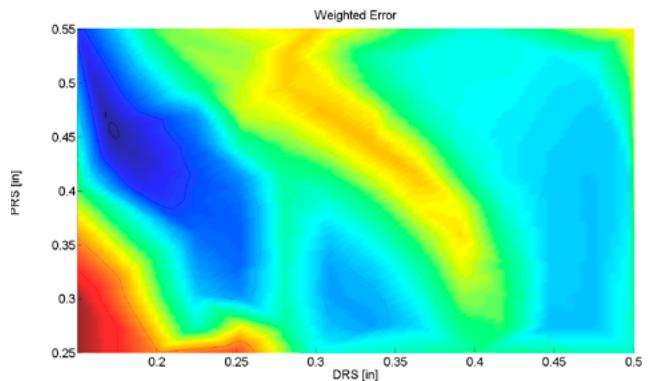


图 6: COMSOL 加权误差图。蓝色区域表示反射功率很低不能够传递消融能量, 也是接收器质量较好的区域。它们代表了器件的天线配置, 此时器件作为消融器与辐射计的表现良好。

COMSOL Multiphysics 的 App 开发器。这样, 团队将能够开发出仿真 App, 方便合作伙伴测试与验证不同设计, 同时还能更好地保护他们的专有模型。

“借助仿真, 我们现在已经实现了这种可

能: 临床医生不仅能精确地传递能量, 还可以实时的监控消融情况。” Ladtchow 说, “多物理场仿真使我们能够快速开发、评估及优化我们的设计, 没有它的帮助, 我们将无法实现这一切。”



从左到右: 美敦力团队成员包括 Morgan Hill、Casey Ladtchow 以及 Robert Behnke。