

# 用于颅内出血检测的磁感应层析成像技术

陈旖璇, 谭超, 董峰

天津市过程检测与控制重点实验室, 天津大学, 天津市, 中国

## 简介:

颅内出血是由于颅内血管的破裂或泄露造成血液在颅腔内积累, 形成局限性占位性病变, 导致颅压增高, 会产生运动和语言障碍、意识改变、呼吸困难等症状, 甚至危及生命。由于其发病急, 病情变化快, 致死率和致残率高, 对人体健康构成了严重的威胁<sup>[1]</sup>。因此, 对脑出血的及时诊断与术后实时监测对于指导其治疗与康复具有重要意义。磁感应层析成像 (Magnetic Induction Tomography, MIT) 因为具有非侵入, 无辐射, 装置便携以及低成本等特点在医学成像领域受到了广泛的关注<sup>[2, 3]</sup>。这一技术基于电磁感应原理, 可以实现对生物组织的非接触测量。此外, 由于磁场可以穿透低电导率的颅骨, 使其对颅内出血的检测成为可能。本研究旨在通过COMSOL仿真验证MIT技术在颅内出血检测中的可行性。

## 计算方法:

MIT技术主要基于电磁感应原理, 用于MIT正问题求解的Maxwell方程组为:

$$\begin{cases} \nabla \times \mathbf{E} = -i\omega\mathbf{B} \\ \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + i\omega\mathbf{D} \\ \nabla \cdot \mathbf{D} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\mathbf{E}$ 为电场强度 (V/m),  $\mathbf{B}$ 为磁通密度 (T)  $\omega$ 为角频率,  $\mathbf{H}$ 为磁场强度 (A/m),  $\mathbf{J}$ 为电流密度 (A/m<sup>2</sup>),  $\mathbf{D}$ 为电位移,  $i$ 为虚数单位。

对 MIT 敏感场及被测物体进行假设并结合物场媒质特性, 最终可得关于磁矢势 $\mathbf{A}$ 的 MIT 正问题的控制方程

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} + \mu(i\omega\sigma - \omega^2\epsilon)\mathbf{A} = \mu\mathbf{J}_s \quad (2)$$

其中,  $\mathbf{J}_s$ 为源电流密度 (A/m<sup>2</sup>),  $\mu$ 为磁导率 (H/m)  $\sigma$ 为电导率 (S/m),  $\epsilon$ 为介电常数 (F/m)。

在MIT脑出血检测的有限元仿真中, 使用COMSOL Multiphysics中的AC/DC模块求解该方程获得边界测量数据, 并采用 Tikhonov正则化方法进行图像重建。

研究中设计了一种能够减小主磁场影响, 增大生物组织信号相位的平面式局部传感器阵列结构。图1显示了在COMSOL中建立的三维MIT线圈阵列模型。中心的四个线圈位于同一平面, 作为激励线圈。周围八个线圈作为检测线圈, 其中轴线与激励线圈中轴线垂直且位于激励平面上。激励电流为 0.1 A, 采用循环激励循环检测的方式。

为了使理论仿真模型更贴近于实际应用, 基于真实人体头部的MRI图像<sup>[4]</sup>建立了用于MIT正问题仿真的三维头模型。图2显示了在COMSOL仿真中使用的三维头模型及其与传感器阵列的位置关系。采用频差测量数据进行出血图像重建。设定两个激励频率分别为1MHz和7.5MHz。

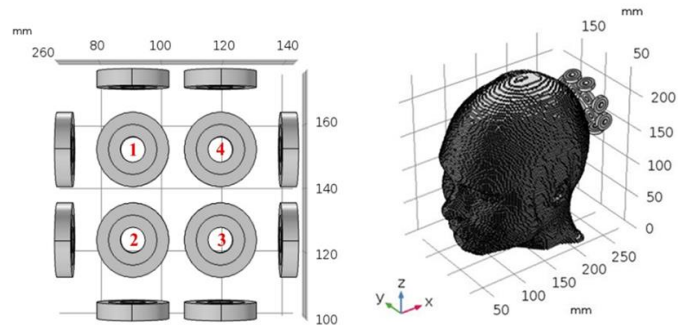


图 1. 平面式局部传感器阵列

图 2. 三维头模型与传感器阵列

## 结果:

图3和图4所示分别为所构建的7mL颅内出血模型及其成像结果。成像结果分别由冠状面、矢状面、横截面以及三维视图四个图像表示。成像结果表明利用平面式局部传感器阵列, 通过MIT技术可以正确重建出体积为7mL的颅内出血。但重建出血的尺寸大于真实出血, 这是由于频差成像中其他头部组织的电导率也随频率变化, 其产生的相位差会在出血图像中带来伪影。此外, 成像算法的选择也会对出血成像质量带来影响。

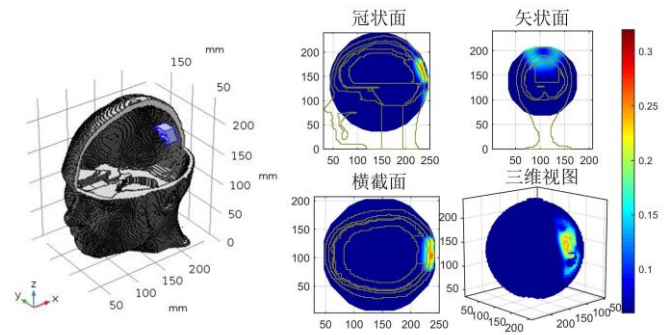


图 3. 7mL出血模型

图 4. 7mL出血成像结果

**结论:** 本研究设计了一种用于MIT颅内出血检测的平面式局部传感器阵列结构, 并在COMSOL中建立了三维MIT线圈阵列及颅内出血模型。利用AC/DC模块完成了传感器阵列中线圈参数的设置与MIT正问题的求解, 获得了不同频率下的测量数据用于图像重建。最终的成像结果表明, 利用平面式局部传感器阵列可以正确重建出体积为7mL的颅内出血。COMSOL仿真结果证明了MIT技术在颅内出血检测中的可行性。局部传感器阵列结构为MIT技术的生物医学应用提供了一种便携式的解决方案。在接下来的研究中需要通过成像算法的改进, 传感器阵列的优化进一步提升出血成像质量与空间分辨率。

## 参考文献:

1. A. M. Naidech, Intracranial hemorrhage, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 184(9), 998-1006 (2011)
2. H. Griffiths, Magnetic induction tomography, Measurement Science and Technology, 12(8), 1126-1231 (2001)
3. A.V. Korjensky, V. Cherepenin, S. Sapetsky, Magnetic induction tomography: experimental realization, Physiological Measurement, 21(1), 89-94 (2000)
4. M. I. Iacono, E. Neufeld, E. Akinngbe, et al., MIDA: a multimodal imaging-based detailed anatomical model of the human head and neck, Plos One, 10, e0124126 (2015)