基于多物理场耦合解释 DBS 患者脑内植入电位移新视角

田瑞[1]、赵禹博[1]、逯迈[1]
1 兰州交通大学光电技术与智能控制教育部重点实验室

摘要

脑起搏器电极的位移通常被认为是影响脑深部电刺激手术疗效的原因之一。目前大部分研究主要关注手术疗程、机械误差等因素对其的影响，而本工作基于射频-温度场-固体力学多物理场耦合下分析患者术后日常使用手机对电极位移的影响。课题组在建立真实的5G手机与人脑模型后，基于有限元方法实现波动方程、Penns生物传热方程与力学方程的数值求解，进而研究天线辐射的电磁能量穿透人体组织和金属电极并转化为热能后，两者收到不同程度的热应力对电极位移的影响。结果表明，患者在使用手机30mins后电极最大位移为4.81 μm，电极位移的规律与部分医学影像观测到的结果一致。本研究为预防射频电磁暴露下DBS电极位移提供了新视角。

物理模型+边界条件

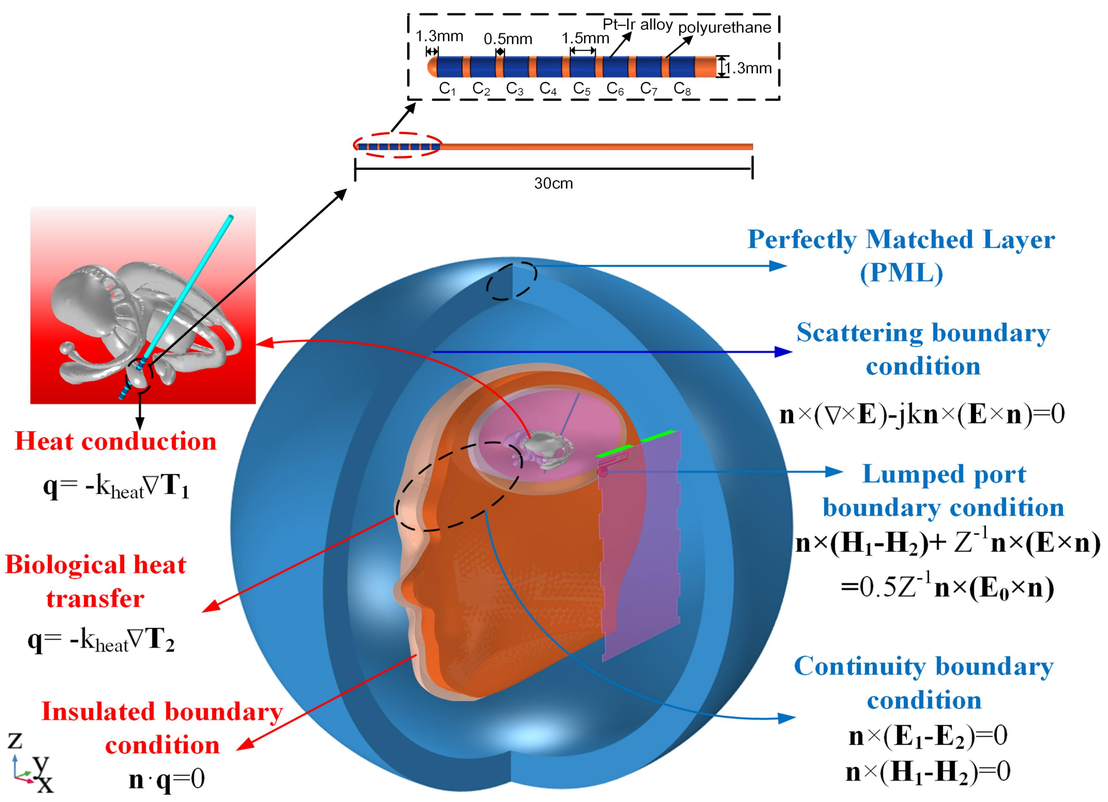


图1.整体物理模型＋边界条件的设置

结果

图2显示了植入脑起搏器电极（DBS）前后，丘脑底核（STN）在不同频率下的位移。发现STN的位移在28分钟时达到最大值。在1.9 GHz频率下，DBS植入后STN的位移比未植入时大了4.1029%。

图3显示了在1.9 GHz频率、人头与手机垂直时，DBS植入后STN在各个方向的位移情况。可以看出，STN在X轴正向和负向的位移相似，Y轴方向的位移集中在正方向，Z轴方向的位移则集中在负方向。STN总位移的最大值为4.9682 μm，出现在Y轴正方向。

结合图2和图3的结果显示，STN的位移随DBS的植入而增加，并集中于STN的背腹面及重力方向。

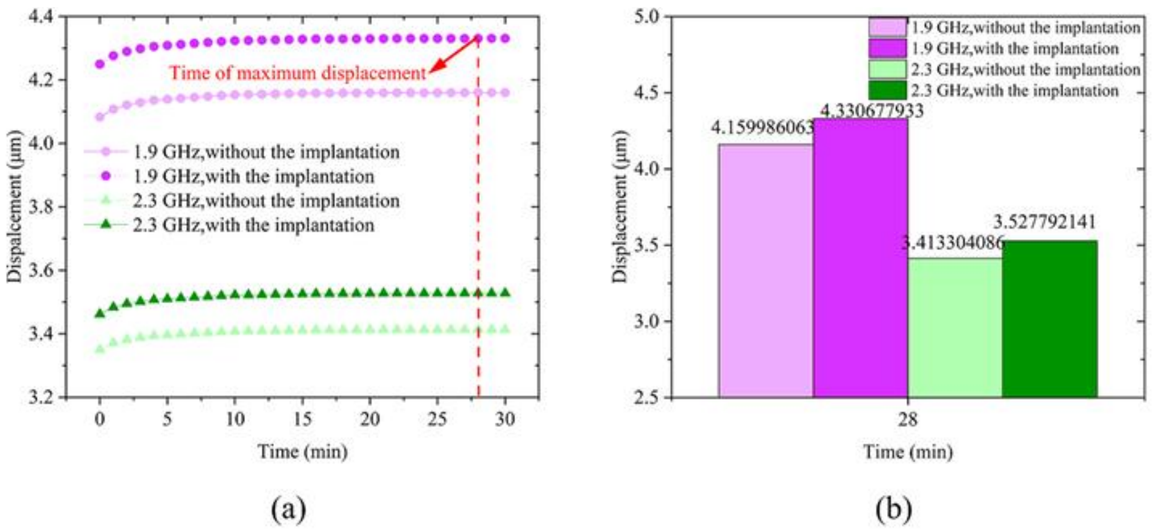


图2. 在植入DBS前后，不同频率下STN的位移：(a) 不同频率下STN的位移，(b) STN的最大位移

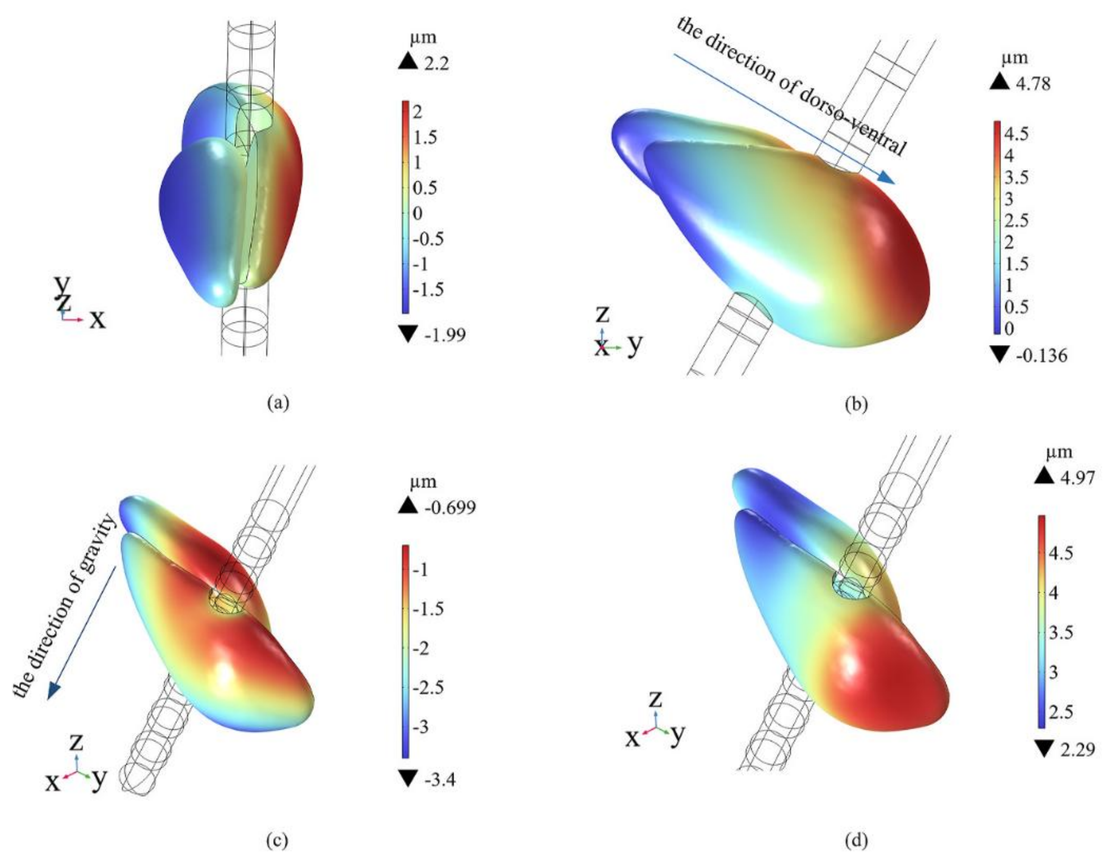


图3. 当θ = 90°时，1.9 GHz频率下STN在植入DBS后的位移：(a) x轴位移，(b) y轴位移，(c) z轴位移，(d) 总位移

结论

结果表明，植入脑起搏器对大脑温升最大值影响不大，但会改变局部最高温升位置。热应变随角度 θ (天线板与大脑法向之间的夹角)增大，在1.9 GHz、θ=90∘时最大。脑起搏器植入几乎不影响热应变，但会增加 STN 位移：1.9 GHz 下增加4.1029%，2.3 GHz下增加3.3542%。在本文设定工况下，脑组织SAR_{10g}和温升均满足 ICNIRP 2020标准（2 W/kg、2°C限值）；DBS温升符合ISO 14708标准的2°C限值。

参考文献

[1] T. Jariyanorawiss, W. Chongburee, A report on human head exposure to a 2.6 GHz mid-band of 5G by using FDTD method, in: 2020 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, (ECTI-CON), Phuket, Thailand, 2020, pp. 808–811, https://doi.org/10.1109/ECTI-CON49241.2020.9158082.

[2] S. Kodera, et al., Whole-body exposure system using horn antennas with dielectric lens at 28 GHz, IEEE J. Electromagnet. RF Microwaves Med. Biol. 7 (1) (March 2023) 65–72, https://doi.org/10.1109/JERM.2022.3218812.