

Views & Comments

未来医疗应用领域天线技术面临的严峻挑战

Koichi Ito

Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University, Chiba 263-8522, Japan

1. 引言

众多类型的天线已经被研究人员开发、测试并用于医疗领域，如诊断、治疗、数据传输和无线电力传输(WPT)。最近，为了实现植入式和可穿戴式无线设备的医疗应用，例如，从植入胶囊输送药物、刺激神经系统和监测生理数据，需要紧凑而坚固的天线[1]。由于医疗应用的天线是在靠近人体或在人体中使用的，因此在开发和评估时应考虑到它们对人体的影响[2]。但是，由于道德和实际原因，在实验评估医疗应用的天线或无线设备的特性时，采用真实的人体是相当困难的。因此，通常采用精密的数字人体模型进行数值模拟[3]。现在，许多不同类型的软件和数字人体模型都可用于此目的。

随着第五代移动通信技术(5G)和智能技术的出现，以及改善患者生活质量(QOL)的需求不断增加，未来医疗应用领域的天线技术面临着许多挑战。本文着重介绍了以下三个挑战：

- (1) 医疗应用的天线评估；
- (2) 用于癌症治疗的电磁治疗学的发展；
- (3) 以人为中心的天线的发展。

我们鼓励天线研究人员——特别是年轻的专业人员或研究生——努力研究这些重要而有趣的课题，为全球健康社会做出巨大贡献。

2. 医疗应用领域天线的评估

与用于通信的天线的评估不同，用于医疗领域的天线性能的评估通常有5个步骤，包括数值模拟、模型测量、“肉”实验(即在无生命组织上的实验)、动物实验和临床试验。

作为医疗天线性能评估的第一步，数值模拟通常使用精心制作和精确的数字动物或人体模型[3]，这些模型现在已经可以在市场上买到。在某些情况下，多物理场仿真只是开发和评估天线的有力工具。最近，美国食品和药物管理局(FDA)宣布了新的医疗设备开发工具(MDDT)计划[4]。根据该计划，FDA将对医疗设备赞助商在开发和评估设备时可使用的工具进行鉴定。使用合格的MDDT进行复杂的数值模拟可以消除或减轻产品开发(包括动物实验)中的许多风险和不确定性。因此，它可以加速和促进医疗设备的研究和开发(R&D)。

使用物理人体模型的实验作为天线评估的第二步，对于验证数值模拟结果或减少动物实验是必不可少的，特别是在植入式天线的R&D中。各种类型的物理模型已经被广泛开发以满足不同的要求。物理模型通常被分为四类：液体、凝胶、半固体和固体模型[3]。特别是，半固体模型被认为适用于涉及植入式天线或设备的实验。这是因为将天线或设备植入半固体模型的正确位置非常容易，然后无需额外的固定装置就可以将它们固定到位。

在进一步改进人体物理模型或开发新的模型，如透明模型或无水模型方面，仍有很大的空间。与化学或材料等其他领域的研究人员合作，将有助于实现这些目的。

3. 用于癌症治疗的电磁治疗学的发展

术语“theranostics”是“治疗学”和“诊断学”的结合。在临床情况下，治疗学可能涉及药物、放射、电磁波或其他技术的联合使用，以同时或依次诊断和治疗疾病。例如，参考文献[5]报道了一种微波治疗设备，它既是检测恶性组织的传感器，也是热消融的施用器。癌症治疗的典型方法是手术治疗、放疗、化疗、基因治疗、免疫治疗和包括高热疗法和消融在内的热疗。将两种或更多不同的方法结合起来以获得更好的临床效果是可行的。例如，热疗温和地利用了电磁波的热效应，以及健康组织与肿瘤组织之间的热敏感性差异[6]。目标肿瘤通常被加热到42~45 °C的治疗温度，同时避免过度加热周围的健康组织。

图1显示了一个用于加热深部肿瘤的环形相控阵天线的示意图。该阵列由12个(6×2环)微波天线元件组成，它们被置于人体周围。通过适当调整天线的激励相位，微波能量可以集中在要治疗的目标肿瘤上。为了这一特殊目的，一般使用较低的频率(50~200 MHz)。在治疗之前，肿瘤的位置和大小通常通过传统的成像技术，如X射线计算机断层扫描(CT)来确定。

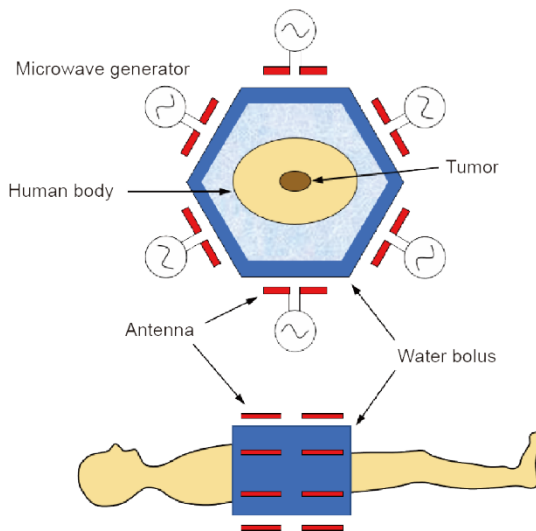


图1. 用于深部肿瘤加热的环形相控阵示意图。

微波成像是一种安全和有前景的无创诊断技术。在微波频率下，健康组织和恶性组织的介电特性存在显著的区别[7]。在微波成像中，发射天线向人体组织辐射低功率微波，而一组接收天线根据健康和恶性组织的对比，接收

散射和(或)传输的信号，以收集图像信息。如果图1所示的相控阵也能作为一个微波成像系统，那么就不需要采用其他成像设备进行诊断。这样的设备将在未来作为治疗癌症的一种形式，具有相当大的前景。与参考文献[5]中报道的基本上是侵入性的治疗性微波设备不同，这种设备可以非侵入性地诊断和治疗深部肿瘤。尽管实现这一目标具有挑战性，但这样做将极大地有利于医院和医生以及患者。

4. 以人为中心天线的发展

可穿戴和植入式天线被广泛用于通信或监测重要数据。医院里用于治疗或外科手术的天线有一系列不同的功能，但所有这些天线通常都被用于人体附近。图2说明了放在人体附近或人体内的天线的各种应用。以人为中心的天线的概念，即专门设计用于人体内或人体附近的天线[8]，可以采用一个统一的方法来处理这类用于不同目的的天线。一般来说，靠近或置于人体内的天线问题可被视为所谓的“边界值问题”，其中人体被视为一个复杂的有损介质。原则上，通过求解索末菲积分方程，可以得到天线周围产生的电磁场[9]。这种理论方法可以区分由天线产生的三种不同的波，即空间波、表面波和体层波。但是，考虑到这种方法的难度和缺乏普及性，涉及人体内或人体附近的天线的个别案例通常采用数值或计算机模拟的方式来适当处理。

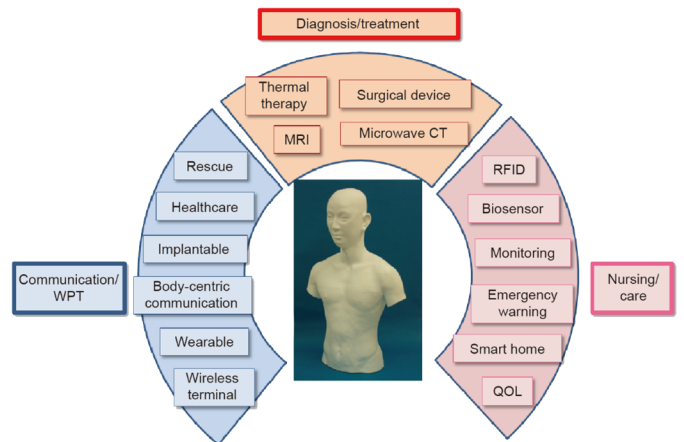


图2. 置于人体附近或人体内的天线的各种应用。MRI: 磁共振成像；RFID: 射频识别。

尽管如此，以人为中心的天线概念可用于进一步减轻潜在风险，如不同天线之间的相互干扰。此外，提倡为不同目的使用共同的天线可以减少所需的天线数量，这不仅有利于患者的身体，也有利于环境。这个课题仍然需要进

一步完善，并且仍然是一个关键的挑战。

References

- [1] Rahmat-Samii Y, Topsakal E. Antenna and sensor technologies in modern medical applications. Hoboken: Wiley; 2021.
- [2] Ito K, Takahashi M, Saito K. Small antennas used in the vicinity of human body. *IEICE Trans Commun* 2016;E99.B(1):9–18.
- [3] Hao Y, Ito K, Hall PS. Electromagnetic properties and modeling of the human body. In: Hall PS, Hao Y, editors. *Antennas and propagation for body-centric wireless communications*. Norwood: Artech House; 2012. p. 17–61.
- [4] Medical Device Development Tools (MDDT) [Internet]. Washington, DC: US Food & Drug; [cited 2020 Dec 30]. Available from: <https://www.fda.gov/medicaldevices/science-and-research-medical-devices/medical-device-developmenttools-mddt>.
- [5] Reimann C, Puentes M, Maasch M, Hübner F, Bazrafshan B, Vogl T, et al. Planar microwave sensor for theranostic therapy of organic tissue based on oval split ring resonators. *Sensors* 2016;16(9):1450.
- [6] Manzoor AA, Dewhirst MW. Hyperthermia. In: Schwab M, editor. *Encyclopedia of cancer*. Berlin: Springer; 2008.
- [7] Hagness SC, Taflove A, Bridges JE. Three-dimensional FDTD analysis of a pulsed microwave confocal system for breast cancer detection: design of an antennaarray element. *IEEE Trans Antennas Propag* 1999;47(5):783–91.
- [8] Ito K. Human-centric antennas [presentation]. In *European Conference on Antennas and Propagation*. 2017; Mar 19–24; Paris, France; 2017.
- [9] Seo CY, Takahashi M, Ito K. Asymptotic analysis of a wearable device attached to the human body by using Sommerfeld integral. *Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation*; 2007 Aug 20–4; Niigata, Japan; 2007.