

文章编号:1005-6122(2019)04-0092-05

DOI:10.14183/j.cnki.1005-6122.201904019

微波前向散射法研究出血性脑中风^{*}

姜 兴 安虹瑾 彭 麟 李小明 王璟珂

(桂林电子科技大学 信息与通信工程学院, 桂林 541000)

摘 要: 用微波前向散射法探究出血性脑中风的出血量。该法利用脑出血状态及正常大脑状态下收发天线之间传输系数的幅度 S_{21} 和相位 φ_{S21} 差值变化、以及大脑的电场分布数值的变化来检测脑中风出血位置。文中用三维人体组织电磁仿真软件 Sim4Life 提供精细的大脑模型,在大脑中植入直径为 10 mm、20 mm、30 mm 的血球模型,并将三个血球模型置于大脑同一位置,然后搭建模拟脑出血的实验平台进行实测,由不同规格的试管模拟不同规格的出血量,最终验证了仿真结果与实验结果一致。实验证明,大脑出血量越大对收发天线间传输系数以及电场强度的影响越大。

关键词: 前向散射法,脑中风,出血量探究,幅相变化,电场分布

Research on the Amount of Cerebral Apoplexy by Microwave Forward Scattering Method

JIANG Xing, AN Hong-jin, PENG Lin, LI Xiao-ming, WANG Jing-ke

(College of Information and Communication Engineering, Guilin University
of Electronic Science and Technology, Guilin 541000, China)

Abstract: The microwave forward scattering method is used to investigate the amount of bleeding in hemorrhagic stroke. Comparing the amplitude difference and phase difference of the transmission coefficient between the transmitting and receiving antenna of the cerebral hemorrhage state and the normal brain state by the amount of cerebral apoplexy, and observing the change of the electric field distribution value of the brain, this method can be used as a preliminary judgment approach for detecting the bleeding position. The three-dimensional human tissue electromagnetic simulation software Sim4Life is used in this paper to provide a precise brain model, three different blood cells, each having a diameter of 10 mm, 20 mm and 30 mm respectively, are implanted in the brain, and the three blood cells are placed in the same position in the brain. In further experiments, different sizes of bleeding are simulated by different specifications of the test tube, which verify the consistency of the simulation results with the experimental results. In the end, the experimental results show that the greater the amount of cerebral hemorrhage, the greater the impact on the electric field strength and the transmission coefficient between the transmitting and receiving antenna.

Key words: forward scattering method, brain stroke, blood volume investigation, amplitude and phase change, electric field distribution

引 言

出血性脑中风又指脑溢血,一般是指非外伤性脑实质内血管破裂引起的出血,多见于中老年高血压患者,是世界上最重要的致死疾病之一,具有极高的病死率和致残率。快速判断患者的脑出血情况以

及出血位置,有助于医者及时处理患者病情,从而提高患者存活率并降低后遗症的发病率。因此,准确地判断出血情况和定位血块就成了治疗脑中风的關鍵。

微波探测具有穿透力强、无创且副作用小等特点,在现代农业以及医学应用上优势日益显著^[1-3]。

^{*} 收稿日期:2019-01-07;修回日期:2019-04-15

基金项目:国家自然科学基金(61761012&61661011&61371056);广西自然科学基金(2015GXNSFBA139244)

现代医学对脑中风的检测方法在不断进步,例如计算机断层摄影技术(Computed Tomography, CT)、核磁共振(Magnetic Resonance Imaging, MRI)技术、正电子发射型计算机断层成像(Positron Emission Computed Tomography, PET)技术等^[4-5]。这些方法检测成本高昂、对人体可创,不能作为日常检测手段。脑中风微波检测研究可以通过分析被测物体在收发天线之间传输系数的幅相变化以及电场分布来获取大脑内部的病变信息,此法在医疗界引起了广泛关注。

本文首先介绍了基于前向散射法的微波探测出血性脑中风的原理。然后针对不同出血量进行模型仿真以及实测验证。该微波探测法可以无创地获取脑部的病变信息,且操作方便,显著降低了脑部病变检测的成本。

1 理论与仿真

1.1 脑中风微波探测理论

作为生物组织,大脑可看作一种弱导电媒质。在施加电场的情况下,诸如介电常数 ε 、电导率 σ 和磁导率 μ 等电参数正是可用于反推和测量大脑电磁特性的物理量^[6-8]。

若大脑中存在血块,则大脑内部组织发生变化,则接收天线获取到的传输系数的幅度 S_{21} 与相位 φ_{S21} 也会随着大脑内部结构的变化而改变^[9-11]。当大脑内部组织未发生出血病变,且电磁波收发频段以及收发天线不变时,所得到的收发天线间传输系数的幅度设为 $S_{21}''(D=0\text{ mm})$,收发天线间传输系数的相位为 $\varphi_{S21}''(D=0\text{ mm})$,其中 D 为血球的直径。当大脑中存在直径 $D=d\text{ mm}$ 的血球时,所得到的收发天线间传输系数的幅度设为 $S_{21}'(D=d\text{ mm})$,收发天线间传输系数的相位为 $\varphi_{S21}'(D=d\text{ mm})$, d 为任意常数。为研究不同出血量对收发天线间传输系数幅度的影响,将脑出血情况下与正常大脑的传输系数幅度做差值比较。传输系数的相位变化研究同理。设传输系数的幅度变化差值为 ΔS_{21} ,相位变化差值为 $\Delta\varphi_{S21}$,则有

$$\Delta S_{21} = S_{21}' - S_{21}'' \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_{S21} = \varphi_{S21}' - \varphi_{S21}'' \quad (2)$$

为研究不同出血量对电场分布的影响,将不同出血量情况下与正常大脑的电场分布进行比较。

1.2 脑中风的仿真结构

本次研究所建立的仿真头模型如图1所示。

三维人体组织医学电磁仿真软件 Sim4life 提供

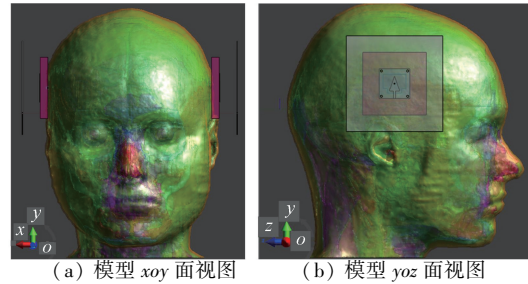


图1 仿真人头模型图

了精细的人头模型。假设出血位置为脑叶处^[12],脑叶的具体位置如图2(a)所示,以大脑白质中心点 O 为坐标中心,脑叶位置为 A 点($x=38\text{ mm}$, $y=21.2\text{ mm}$, $z=139\text{ mm}$)。脑中风出血位置一般位于大脑 A (脑叶)、 B (脑壳)、 C (丘脑)、 D (脑桥)、 E (小脑)处,如图2(b)所示。在脑叶处植入三种不同直径的血球,血球直径分别为 $D=10\text{ mm}$ 、 $D=20\text{ mm}$ 和 $D=30\text{ mm}$ 。

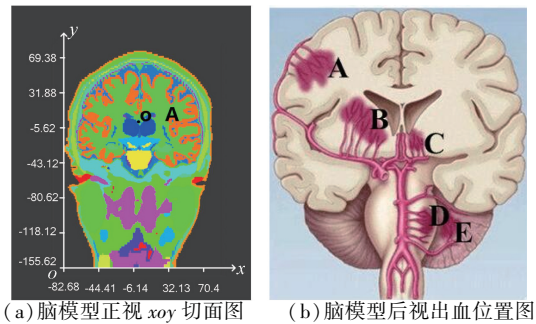


图2 脑叶出血位置

在 Sim4Life 软件中,设置脑中风探究的频段为 $2\sim 3\text{ GHz}$,该频段覆盖 ISM(Industrial Scientific Medical)频段^[13]。采用的天线是介质匹配的宽缝天线^[14],该天线尺寸小($28\text{ mm}\times 27\text{ mm}$),通过加反射板实现定向辐射,且能与人体头部组织匹配良好,比传统天线有更好的传输性能。该探测设备采用一发一收的天线结构,将发射天线、接收天线分别固定在与 A 点出血位置平行的大脑左、右两侧。

2 仿真结果与分析

2.1 幅度 S_{21} 和相位 φ_{S21} 数值分析

为观察不同出血量对传输系数幅度 S_{21} 和相位 φ_{S21} 造成的影响,将直径为 $D=10\text{ mm}$ 、 $D=20\text{ mm}$ 、 $D=30\text{ mm}$ 的血量小球分三次植入脑叶位置。按式(1),将三个出血状态得出的 S_{21} 分别与非病变大脑状态($D=0\text{ mm}$)得出的 S_{21} 进行做差运算,得 ΔS_{21} 如图3(a)所示,不同出血量得出的 ΔS_{21} 曲线振荡趋势相同,且出血量越大, ΔS_{21} 曲线振荡幅度越大。 $D=$

10 mm, 幅度差的振荡幅度小于 0.12 dB; $D = 20$ mm, 幅度差的振荡幅度在 $0 \sim 1.14$ dB 之间; $D = 30$ mm, 幅度差的振荡幅度可高达 5 dB。

按式(2), 三个出血状态得出的相位 φ_{S21} 差值对比如图 3(b) 所示, 不同出血量得出的 $\Delta\varphi_{S21}$ 曲线趋势相同, 且出血量越大 $\Delta\varphi_{S21}$ 曲线振荡幅度越大。 $D = 10$ mm, 相位差的振荡幅度小于 0.35° ; $D = 20$ mm, 相位差的振荡幅度在 $0 \sim 5.01^\circ$ 之间; $D = 30$ mm, 相位差的振荡幅度可高达 37° 。

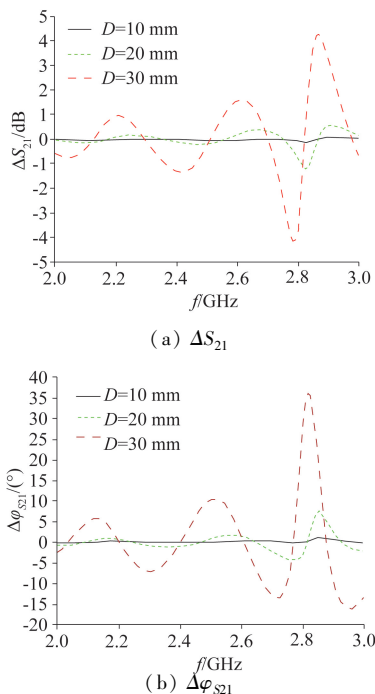


图3 ΔS_{21} 与 $\Delta\varphi_{S21}$

2.2 电场分布数值分析

为进一步辅助探究不同出血量对脑部电磁环境的影响, 图 4 仿真得出三个血量 xoy 面的电场分布结果。

为了能更加明显地看出不同血量对电场分布造成的影响, 经血球中心画线, 分别得出三个出血小球中心线 ($y = 212$ mm, $z = 139$ mm, 见图中绿线) 上的电场强度对比如图 5(a) 所示, 其中 A 点为血块位置, B 点为发射天线位置, C 点为接收天线位置。再将 $D = 10$ mm、 $D = 20$ mm 和 $D = 30$ mm 得出的结果与 $D = 0$ mm 得出的结果进行做差对比得到图 5(b)。从图 5 可以很明显地看出, 不同出血量得出的电场强度曲线趋势相同, 并且出血量越大对电场强度造成的影响越大。同时, 在血球位置 A ($x = 38$ mm) 处, 非病变大脑与出血大脑的电场强度曲线出现明显变化, 由此变化点可以初步估计出血位置。

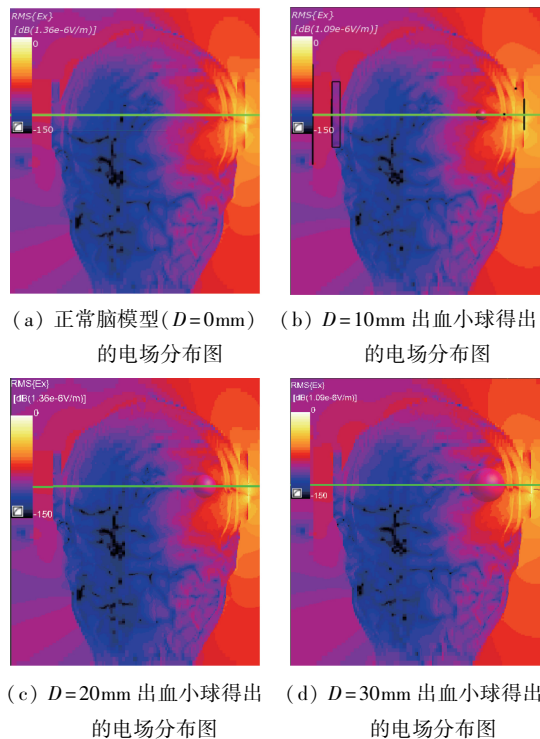
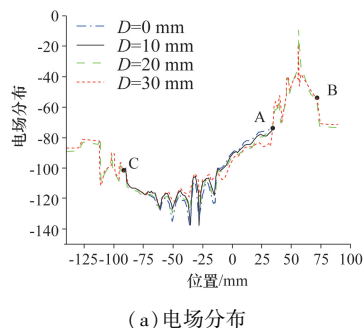
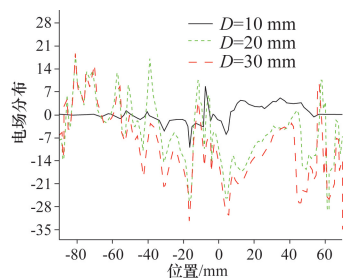


图4 正常脑模型与三个出血脑模型的场分布
(彩色图片参见本刊电子版)



(a) 电场分布



(b) $D = 0$ mm 与 $D = 10$ mm、 $D = 20$ mm、 $D = 30$ mm
出血量小球得出电场做差对比图

图5 电场强度及其做差对比图

3 实验结果与分析

在模拟实验中, 我们对大脑模型进行简化处理, 使用模拟材料配制电参数与大脑组织相近的模拟组织。头部组织的模拟组织为 PEG (Polyethylene Glycol, 聚乙二醇) 和水按照 4 : 6 的比例配制, 使用

Speag DAKs-3.5 介电常数测量仪测得模拟组织的介电常数 ϵ_r 为 33.67, 电导率 σ 为 0.5 S/m, 其介电常数接近 2~8 GHz 内人头部各组织电参数的均值。然后使用一定的新鲜猪血来模拟一定的脑出血量。具体实验装置如图 6 所示。

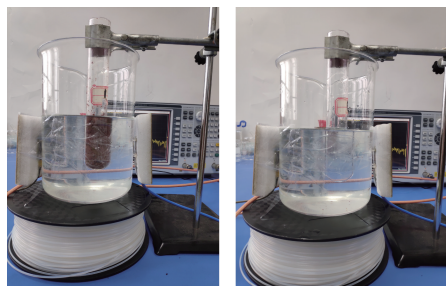


图6 实验装置

在实验中,分别将半径 $D=10\text{ mm}$ 、 $D=20\text{ mm}$ 、 $D=30\text{ mm}$ 三个血量的试管放在模拟脑叶位置处,为了能看到具体的幅值、相位变化,分别将 $D=10\text{ mm}$ 、 $D=20\text{ mm}$ 和 $D=30\text{ mm}$ 得出的结果与 $D=0\text{ mm}$ 得出的结果进行做差对比得到图 7(a) 和图 7(b)。从图 7 可以看出,出血量越大, ΔS_{21} 、 $\Delta\varphi_{S21}$ 曲线振荡幅度越大,这表明实验结果与仿真结果一致。

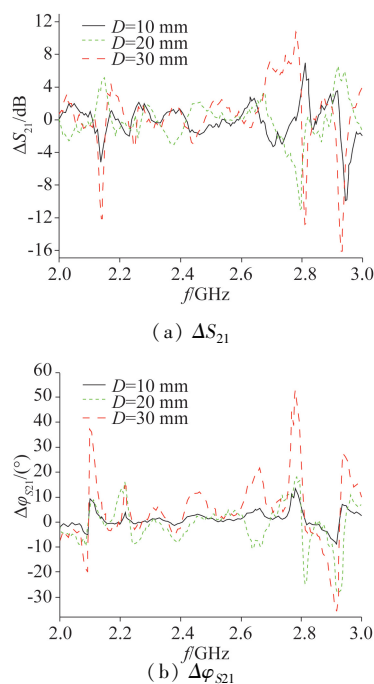


图7 ΔS_{21} 与 $\Delta\varphi_{S21}$

4 结论

本文利用 Sim4life 提供的精细人头模型和模拟组织搭建了脑出血微波探测平台,比较了不同大脑出血量得出的传输系数幅值、相位与电场强度。实

验结果显示,出血量越大,幅值 S_{21} 、相位 φ_{S21} 的振荡幅度越大。同时,在仿真过程中电场分布研究可用于出血量大小的辅助检测以及出血位置的初步估定。后期研究中,我们将尝试在实测中采用 3D 打印技术打印更为精细的人头模型,同时配出符合大脑性能的半固体模拟物,以更进一步提高实验的精准度。

参 考 文 献

- [1] 吴旭红, 罗贵强, 冯晶旻. 微波处理对 Na_2CO_3 胁迫下燕麦苗期氮代谢的影响[J]. 微波学报, 2017(1): 91-96
Wu X H, Luo G Q, Feng J M. Effects of microwave treatment on the nitrogen metabolism of oat seedlings under Na_2CO_3 stress[J]. Journal of Microwaves, 2017(1): 91-96
- [2] Zamani A, Abbosh A M, Mobashsher A T. Fast frequency-based multistatic microwave imaging algorithm with application to brain injury detection[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2016;1-10
- [3] Rezaeieh S A, Bialkowski K S, Zamani A, et al. Loop-dipole composite antenna for wideband microwave-based medical diagnostic systems with verification on pulmonary edema detection[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015;1-1
- [4] 王亚丽. PET 核医学成像原理分析[J]. 图书情报导刊, 2007, 17(18):162-163
Wang Y L. Analysis of PET nuclear medicine imaging principles[J]. Library and Information Guide, 2007, 17(18): 162-163
- [5] 刘文艳, 王晶, 沙飞, 等. PET 设备的成像原理、现状及展望[J]. 中国医学装备, 2012(10):53-54
Liu W Y, Wang J, Sha F, et al. Imaging principle, current situation and prospect of PET equipment[J]. Chinese Medical Equipment, 2012(10): 53-54
- [6] 李滚, 庞小峰. 电磁场暴露对生物组织电磁特性的影响[J]. 生物化学与生物物理进展, 2011, 38(7):604-610
Li G, Pang X F. Effects of electromagnetic field exposure on electromagnetic properties of biological tissues [J]. Progress in Biochemistry and Biophysics, 2011, 38(7): 604-610
- [7] 李锦豪. 生物组织的微波毫米波电特性研究[D]. 成都:电子科技大学,2016
Li J H. Microwave millimeter wave electrical characteristics of biological tissues[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016

- [8] 席峦. 基于微波实验平台的脑中风分类判断研究[D]. 上海: 东华大学, 2016
Xi L. Research on classification and judgment of stroke based on microwave experimental platform[D]. Shanghai: Donghua University, 2016
- [9] Jiang X, Geng Z, Li X, et al. Microwave transmission approach for dynamic dielectric detection at brain functional site[A]. 2017 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium[C], 2017. 1235-1238
- [10] Jing X, Kang B, Li X, et al. Microwave technology for brain activities detection of rats[A]. 2016 IEEE 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE)[C], 2016. 918-920
- [11] Li X P, et al. The dynamic dielectric at a brain functional site and an EM wave approach to functional brain imaging[J]. Scientific Reports, 2014, 4:6893
- [12] 伏红霞, 王琛. 临床特征和磁敏感分析脑淀粉样血管病相关脑叶出血[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2017, 19:1308
Fu H X, Wang C. Clinical characteristics and magnetic susceptibility analysis of cerebral hemorrhage associated with cerebral amyloid angiopathy[J]. Chinese Journal of Geriatric Cardiovascular and Cerebrovascular Disease, 2017, 19:1308
- [13] Miller A K, Alston R L, Corsellis J A. Variation with age in the volumes of grey and white matter in the cerebral hemispheres of man: measurements with an image analyzer[J]. Neuropathology & Applied Neurobiology, 2010, 6(2):119-132
- [14] Zheng C J, Jiang X, Kang B, et al. Design of an on-body matched wide-slot UWB antenna for brain activities detection[A]. 6th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2017)[C], 2017. 918-920
- 姜兴女**, 1962年生, 教授。主要研究方向: 天线、电磁测量、微波技术等。
E-mail: jiang_x@guet.edu.cn
- 安虹瑾** 女, 1992年生, 硕士生。主要研究方向: 电磁场与微波技术。
E-mail: 15756307981@163.com

(上接第 85 页)

- [5] Di Renzo M, Haas H. Improving the performance of space shift keying (SSK) modulation via opportunistic power allocation[J]. IEEE Commun Lett, 2010, 14(6): 500-502
- [6] Di Renzo M, De Leonardi D, et al. Space shift keying (SSK) MIMO with practical channel estimates[J]. IEEE Trans on Communications, 2012, 60(4): 998-1012
- [7] Sugiura S, Chen S, Hanzo L. Generalized space-time shift keying designed for flexible diversity, multiplexing and complexity-tradeoffs[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2011, 10(4):1144-1153
- [8] 张赞霞, 任波. 一种地基相控阵天线指向系统性误差分析[J]. 微波学报, 2018, 34(4): 16-21
Zhang Y X, Ren B. Analysis of the systematic beam pointing error for a ground-based phased array antenna[J]. Journal of Microwaves, 2018, 34(4): 16-21
- [9] 王健, 赵建森, 张芝涛, 等. 方环等离子体天线的阻抗与辐射特性[J]. 微波学报, 2011, 27(6): 67-69, 88
Wang J, Zhao J S, Zhang Z T, et al. Physical properties of square loop plasma antenna[J]. Journal of Microwaves, 2011, 27(6): 67-69, 88
- [10] 赵会超, 刘少斌, 孔祥鲲, 等. 等离子体八木天线的仿真与实验研究[J]. 微波学报, 2014, 30(1): 20-23, 28
Zhao H C, Liu S B, Kong X K, et al. Simulation and experimental study on the plasma Yagi antenna[J]. Journal of Microwaves, 2014, 30(1): 20-23, 28
- [11] 孙洋, 胡勤友, 赵建森, 等. 船舶定线制水域 AIS 基站的等离子体八木天线[J]. 上海海事大学学报, 2016, 37(3): 63-68
Sun Y, Hu Q Y, Zhao J S, et al. Plasma Yagi antennas on AIS base stations in ships' routing waters[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2016, 37(3): 63-68
- 孙洋** 男, 1985年生, 讲师。主要研究方向: 智能海事通信。
E-mail: yangsun@shmtu.edu.cn
- 赵建森 (通信作者)** 男, 1983年生, 博士后, 副教授。主要研究方向: 海事通信天线。
E-mail: jszhao@shmtu.edu.cn