

Теоретичне моделювання радіочастотної абляції

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті представлений метод радіочастотної абляції як потужний інструмент, який в майбутньому може бути використаний для індивідуального лікування пацієнтів з різними захворюваннями.

Ключові слова: Радіочастоти, радіочастотна абляція.

Вступ

Радіочастотні методи використовуються для нагрівання біологічних тканин протягом довгих років. Однак, в останні роки його використання значно розширилося з поширенням нових медичних програм. Радіочастотна абляція є відносно інвазивною технікою, яка в останні роки почала застосовуватись в різних галузях медицини, наприклад для усунення аритмії серця (за допомогою катетера або інтраопераційно), або руйнування пухлин різної локалізації (печінка, легені, нирки, простата, молочна залоза тощо) [1].

Результати дослідження

Процедура здійснюється за допомогою радіочастотного (≈ 500 кГц) електричного струму, який проходить через біологічні тканини і досягає контрольованого підігріву зони з максимальною питомою потужністю.

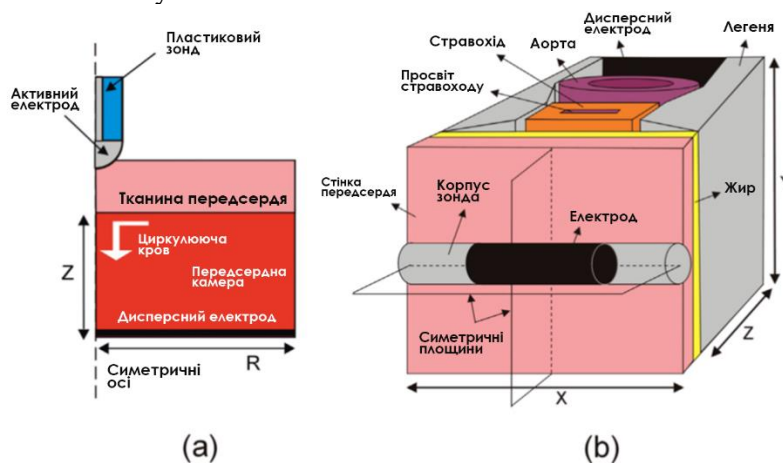


Рис.1 – Метод частотної абляції

З точки зору процедури, радіочастотна абляція, як правило, використовує пару електродів: активний електрод з невеликою поверхнею, який розташований в цільовій зоні та великий розсіюючий електрод для замикання електричного кола. Іноді, біполярна абляція проводиться двома активними електродами. Крім того, біофізична основа радіочастотної абляції використовується в інших галузях медицини: термічне ремоделювання тканини порожнини рота для лікування синдрому апное під час сну, зменшення шлункового рефлюксу, лікувальне зігрівання суглобів та інші [2, 3].

Два приклади спрощення фактичної фізичної ситуації під час серцевої абляції. (a) - Осьова симетрія дозволяє звести тривимірну задачу до двовимірної в теоретичній моделі, що включає активний електрод, розміщений перпендикулярно фрагменту серцевої тканини. (b) – Досліджувана область має дві площини симетрії, отже, лише один квадрант всієї моделі можна

розглядати для обчислювального аналізу в теоретичній моделі, що включає фрагменти різних тканин. На рис. 2 показаний єдиний квадрант, розглянутий у даній моделі.

Другий крок складається з постановки рівнянь, що регулюють фізичне явище нагрівання. Усі моделі радіочастотного нагрівання засновані на аналізі часової області зв'язаної електрично-теплової проблеми. Просторовий розподіл температури в тканинах отриманий шляхом розв'язання так званого рівняння біо-теплоти:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot k \nabla T + q - Q_p + Q_m$$

де ρ - масова густина (кг/м³), c - питома теплоємність (Дж/(моль·К)), k - теплопровідність (Вт/(м·К)), T - температура (С°), q - джерело тепла (Вт/м³), Q_p - перфузійні втрати тепла (Вт/м³), а Q_m - метаболічне тепловиділення (Вт/м³) [4, 5].

Після викладу теплових та електричних рівнянь необхідно встановити граничні умови, як теплові, так і електричні. Радіочастотна абляція зазвичай проводиться за допомогою постійної напруги. У цьому випадку граничні електричні умови можуть бути двох типів: нульовий струм (гранична умова Неймана) на осі симетрії та площинах у віддалених точках від зони нагрівання, на межі повітря-тканина; і фіксована напруга на електродах (гранична умова Діріхле), зокрема 0 В на дисперсії електрода і $\neq 0$ В на активному електроді. І навпаки, у разі абляції постійним струмом значення струму $\neq 0$ А фіксується в точці активного електрода, а таке ж значення, але від'ємне, фіксується в точці дисперсійного електрода (нульова напруга має також закріпитися на дисперсійному електроді) [6].

Для отримання рішення рівнянь, що регулюють фізичні явища під час РЧ-абляції, необхідно обрати метод розрахунку. Іноді геометрія моделі (наприклад, в одновимірних моделях) досить проста, і ці рівняння можна вирішити аналітичними методами. Однак більшість моделей представляють складну геометрію (колись засновану на цілком реалістичній анатомії), з областями з різними характеристиками, і доводиться застосовувати числовий метод, такий як метод кінцевих відмінностей (FDM) або FEM. У випадку чисельного методу рішення отримують за допомогою комп'ютера. FDM, як правило, має менше вимог до обчислень (пам'ять і час) і, отже, застосовується для вирішення проблем, що представляють просту геометрію. Наприклад, у більшості моделей РЧ-абляції використовується ANSYS, оскільки він здатний виконувати аналіз електрично-теплого поля із залежними від температури властивостями. Однак головним недоліком ANSYS є його вартість. Більшість програм FEM мають численні переваги для побудови, вирішення та подальшої обробки моделей (наприклад, зручний графічний інтерфейс, простота генерації складних моделей), однак для отримання точних рішень необхідно взяти до уваги три ключові проблеми. Дві з них пов'язані з процесами дискретизації, що проводяться під час FEM: 1) просторова дискретизація області моделі шляхом створення сітки (зазвичай трикутні елементи для двовимірних моделей та тетраедричні елементи для тривимірних моделей) (див. Рис. 2) та 2) дискретизація часу під час перехідного аналізу шляхом встановлення часових кроків [7].

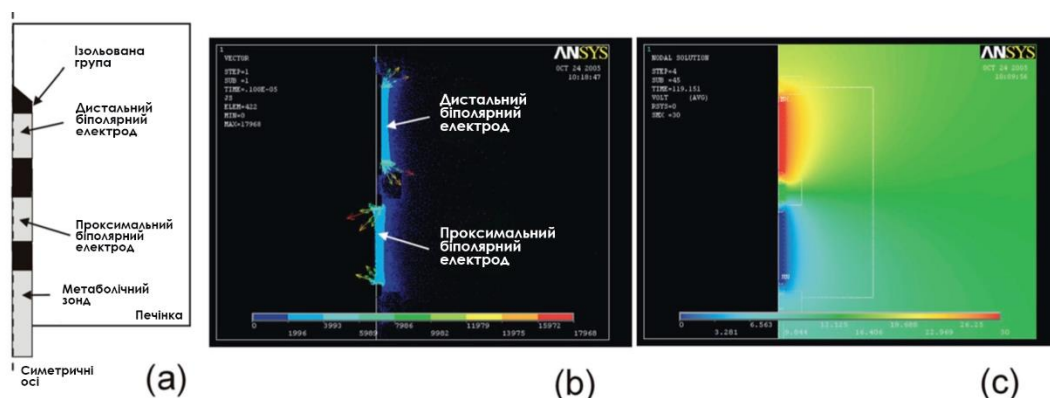


Рис.2 - Аналіз електрично-теплого поля

Нарешті, моделі РЧ-абляції завжди включають єдину частку тканин, що входять у реальну ситуацію, зокрема з тієї області, в якій відбувається нагрівання, тобто де градієнт електричного

поля і щільність струму максимальні. Це означає, що зовнішні розміри теоретичної моделі встановлюються довільно (див. Z і R на рис. 1а, а X, Y та Z на рис. 1б). Отже, важливим етапом теоретичного моделювання є визначення оптимальних значень розміру вічка, кроку часу та зовнішніх розмірів. Цього можна досягти за допомогою тестів чутливості та конвергенції [8].

Висновки

Радіочастотна абляція (РЧА) - це хірургічна техніка, яка в останні роки стала застосовуватися в дуже різноманітних медичних областях. Для вивчення, дослідження та розробки нових методів та вдосконалення тих, які застосовуються в даний час, дослідження можуть використовувати клінічні та експериментальні дослідження, фантоми та теоретичні моделі. Останні є потужним інструментом у цьому виді досліджень, оскільки вони швидко та економічно дають розуміння електричної та теплової поведінки, пов'язаної з абляцією. За останні 10 років декілька груп розробили теоретичні моделі для вивчення РЧА-абляції. У цьому дослідженні було пояснено методологію моделювання. В даний час певні важливі обмеження перешкоджають повній та точній розробці моделі, особливо в умовах високої температури ($\approx 100^\circ\text{C}$) або одночасної соляної перфузії. Незважаючи на це, моделювання зросло до такої міри, що стало важливим інструментом для сприяння експериментальним дослідженням методів абляції ВЧ [9, 10].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tungjitkusolmun S: Ablation. In Minimally invasive medical technology Edited by: Webster JG. Bristol (UK): IOP Publishing; 2001:219-256.
2. Chiappini B, Di Bartolomeo R, Marinelli G: Radiofrequency ablation for atrial fibrillation: different approaches. Asian Cardiovasc Thorac Ann 2004, 12:272-277.
3. Lencioni R, Della PC, Bartolozzi C: Percutaneous image-guided radiofrequency ablation in the therapeutic management of hepatocellular carcinoma. Abdom Imaging 2005, 30:401-408.
4. McAchrn SE, Lesani OA, Resnick MI: Radiofrequency ablation of renal tumors: past, present, and future. Urology 2005, 66:15-22.
5. Gandhi NS, Dupuy DE: Image-guided radiofrequency ablation as a new treatment option for patients with lung cancer. Semin Roentgenol 2005, 40:171-181.
6. Cantwell CP, Obyrne J, Eustace S: Current trends in treatment of osteoid osteoma with an emphasis on radiofrequency ablation. Eur Radiol 2004, 14:607-617.
7. Shariat SF, Raptidis G, Masatoschi M, Bergamaschi F, Slawin KM: Pilot study of radiofrequency interstitial tumor ablation (RITA) for the treatment of radio-recurrent prostate cancer. Prostate 2005, 65:260-267.
8. Agnese DM, Burak WE Jr: Ablative approaches to the minimally invasive treatment of breast cancer. Cancer J 2005, 11:77-82.
9. Alio JL, Ramzy MI, Galal A, Claramonte PJ: Conductive keratoplasty for the correction of residual hyperopia after LASIK. J Refract Surg 2005, 21:698-704.
10. Steward DL: Effectiveness of multilevel (tongue and palate) radiofrequency tissue ablation for patients with obstructive sleep apnea syndrome. Laryngoscope 2004, 114:2073-2084.

Панченко Назар Олегович – студент групи БМІ-186 факультету ІРЕН Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, saintasonia98@gmail.com

Науковий керівник: **Гаврилов Дмитро Володимирович** – доцент кафедри біомедичної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: havrilov@vntu.edu.ua

Theoretical modeling of radiofrequency ablation

Abstract

This work presents the method of radiofrequency ablation as a powerful tool that can be used in the future for individual treatment of patients with various diseases.

Keywords: Radio frequencies, liquid-frequency ablation.

Panchenko Nazar — Department of of Infocommunications, Radio Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: saintasonia98@gmail.com

Havrilov Dmytro — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: havrilov@vntu.edu.ua