

Сависько О.С., наук. керівник Кришук М.Г, д.т.н., проф,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: krys@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОАБЛЯЦІЇ КЛІТИН ПЕЧІНКИ ЛЮДИНИ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ДЕСТРУКЦІЇ ПУХЛИН

Вступ. В сучасному світі рак печінки входить до першої десятки найрозповсюдженіших онкологічних захворювань. Первинним називають рак, який розвивається саме з печінкових клітин, і зустрічається він набагато рідше, ніж рак вторинний (метастатичний) – коли ракові клітини пухлин інших органів мігрують з током крові в різні частини тіла, зокрема в печінку [1].

Термічна абляція – це техніка точкового руйнування пухлинних клітин в організмі з використанням радіочастотної енергії, зі збереженням функцій навколишніх тканин та органів [2]. Під контролем ультразвукового сканера або комп'ютерного томографа в центр пухлинної тканини крізь шкіру вводять електрод голчастого типу, який нагрівають до певної температури, спричиняючи таким чином руйнування злоякісних клітин. Експериментальні дослідження теплофізичних процесів печінки проводились Кориченським О.М. (Українська Асоціація фахівців з ультразвукової діагностики, www.ultrasound.net.ua) для умов локалізованого електротермічного нагріву прототипів-аналогів тваринного походження *ex vivo* без ураження відводу тепла рідиною крові.

Для ефективного і безпечного процесу термічної абляції печінки, максимальна температура стінки повинна бути меншою, ніж 43°C, щоб уникнути денатурації білків і загибель клітин.

Мета дослідження. Визначити температурний стан та час деградації тканин печінки *ex vivo* та *in vivo* в околі відстані 11 мм від нагрівального елемента (електроду).

Матеріали та методи. Для вирішення задачі нестационарної теплопровідності побудована імітаційна модель контрольованого об'єму тіла печінки *ex vivo* та *in vivo*, яка представлена у вигляді паралелепіпеду з характерними розмірами: висота 30мм, ширина 40мм, довжина 50мм. Теплофізичні властивості тканин печінки (табл.1), що використані в даній роботі досліджені в межах експериментально визначеного фізіологічного діапазону фізико – механічних властивостей та представлені середньостатистичними величинами.

Таблиця 1. Теплофізичні властивості тканин печінки (усереднені літературні дані)

Густина ρ , г/см ³	Теплопровідність λ , Вт/(м · К)	Теплоємність C , Дж/(кг · К)
1,06	0,49	3024

Під час дослідів температура зовнішнього середовища була кімнатною - 24°C, тому зовнішня поверхня печінки мала постійну температуру (рис. 1а).

В середину моделі помістили сталевий стрижень круглого поперечного перерізу (електрод) з діаметром 3мм, початкова температура якого була 24°C (рис 1В). За умовами чисельного експерименту електрод протягом перших 97 секунд нагрівався від 24°C до 70°C за лінійним законом (рис. 2) та мав сталу температуру 70°C в подальшому часовому діапазоні.

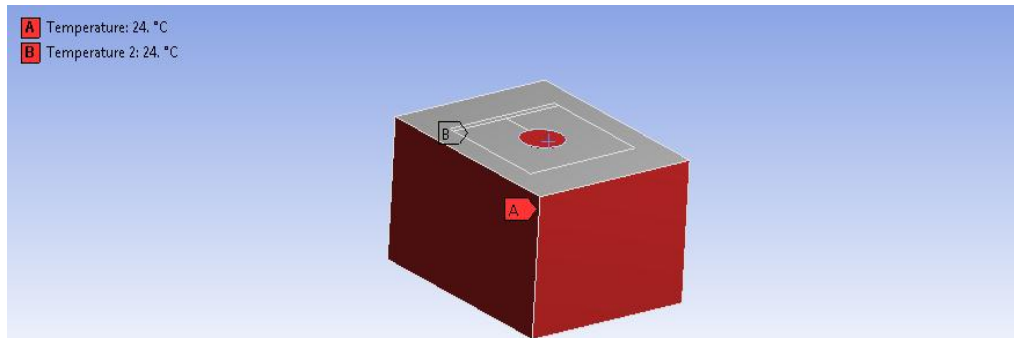


Рис. 1. Граничні та початкові умови для імітаційної моделі печінки та тіла електроду

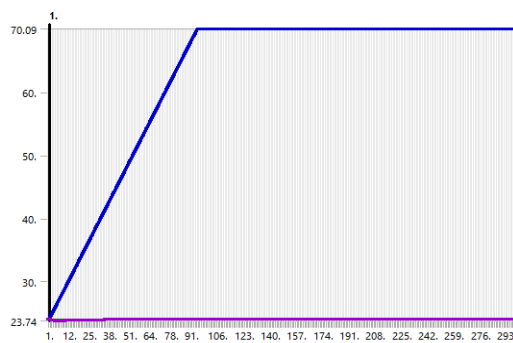


Рис. 2. Закон зміни температури електроду при нагріві тіла печінки

За рахунок теплопровідності тепло поширювалось від електроду всередині тіла печінки. Протягом залишкового часу температура на електроді підтримувалася постійна 70°C, а тепло розповсюджувалося всередині печінки від центра в напрямку зовнішньої поверхні печінки, збільшуючи температуру в кожній точці печінки. Поширення теплоти і зміна температури точок відбувались доти, поки не встановилась теплова рівновага.

При побудові імітаційної моделі та проведенні чисельних експериментів використана учбова версія програми інженерного аналізу *WB ANSYS 17.2* [4]. Проведено три варіанти нестационарного нагрівання моделі тканин печінки *ex vivo*, з інтервалом у 200 секунд. Протягом першого дослідів процес нагрівання та розповсюдження тепла тривав загалом 200 секунд, другий та третій дослідів – у вигляді концентричних кіл різного діаметру в плоского перетині системи сполучених тіл (рис. 3).

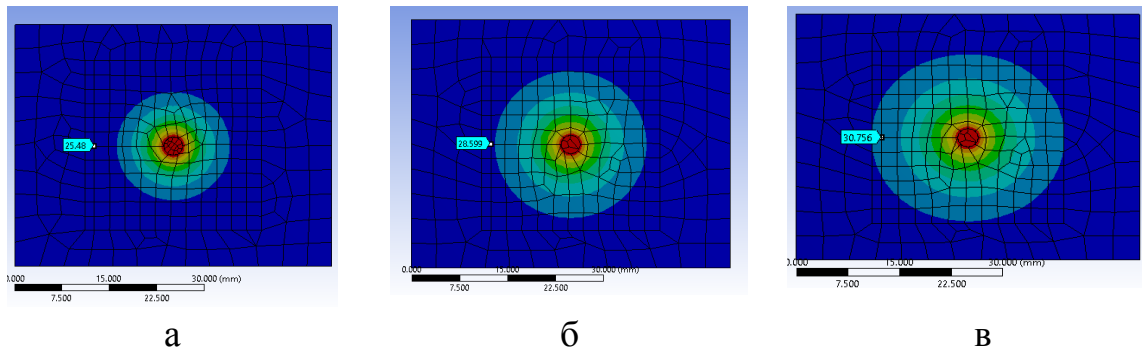


Рис. 3. Температурні поля при локальному нагріванні тіла печінки протягом 200 сек (а), 400 сек (б), та 600 сек (в)

В першому наближенні відтворено модель печінки *in vivo*, яка має однорідну температуру 38°C. За умовами даного чисельного експерименту електрод нагрівався на протязі 113 секунд від 38°C до 92°C, а потім температура його залишалась сталою. Встановлено, що через 240 секунд після початку прогрівання тіла печінки відбувається деструкція її тканин. Температура вище 41°C буде в межах кола з радіусом 12,5мм, з яких 1,5мм – радіус електроду. Тобто, фактично відбувається деструкція живих тканин з пухлиною на відстані 11мм від краю нагрівального елемента.

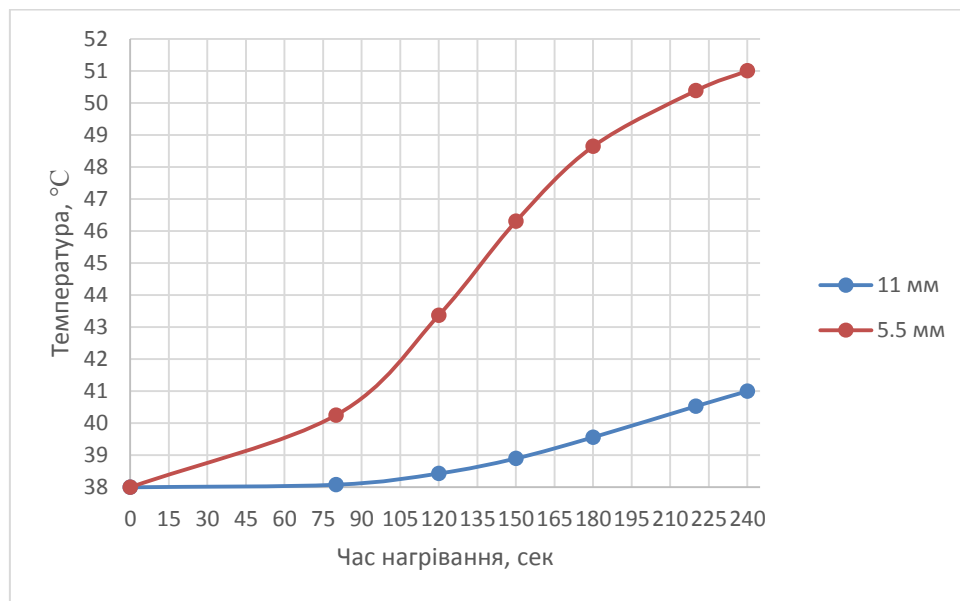


Рис.4. Залежність температури тканин печінки від часу нагрівання для двох точок: 5,5мм та 11мм від краю електроду

Висновки

1. Створені розрахункові схеми для оцінки процесів термоабляції біологічних тканин потребують уточнення енергетичних характеристик нагрівача, використання нелінійних математичних моделей термодифузії з урахуванням переносу тепла рідиною крові.

2. Проведені чисельні експерименти для визначення температури тканин печінки *ex vivo* на відстані 11мм від поверхні нагрівного елемента (електроду)

використані при вивченні закономірностей змін її теплового стану експериментальними методами.

3. Встановлена кінетика змін температур печінки в околі нагрівача визначеної потужності для процесів дифузії тепла в часовому діапазоні від 200с до 600с.

4. Необхідний час локального нагріву тіла печінки *ex vivo* вибраним типом електроду з використанням спрощеної математичної моделі для досягнення температури деструкції її тканин становить 1250 секунд.

5. В першому наближенні необхідний час локального нагріву печінки *in vivo* вибраним типом електроду з використанням спрощеної моделі для досягнення температури деструкції її тканин становить 240 секунд.

Список використаних джерел:

1. <https://www.euroonco.ru/oncology/onkologiya-zhkt/rak-pecheni>
2. <http://www.hadassah.ru/o-klinike/novosti/radiochastotnaja-destrukcija-opuholevyh-kletok.aspx>
3. Коваленко А. Д. Введение в термоупругость / Анатолий Дмитриевич Коваленко. – Киев, Наукова думка, 1965. – 204 с
4. <http://www.ansys.com/products/academic/ansys-student>