

ВПЛИВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЖИВОЇ ТКАНИНИ

Ю. М. Волков, Є. П. Сидорик, М. И. Данко

*Кафедра біофізики Київського університету; лабораторія біофізики пухлин
Київського інституту експериментальної і клінічної онкології*

За останній час було опубліковано ряд праць, в яких висвітлюється вплив лазерного випромінювання на біологічні системи [6, 7, 10—12]. Дослідження Клейна та Файна [8] присвячені опроміненню лазером шкіри і слизових оболонок, а також дії на більш глибокі структури та пухлинні тканини у гризунів, зокрема хом'яків та мишей [3—5].

Велику увагу приділено дослідженню шкіри — місця первинної взаємодії в неушкодженому організмі. Ці спостереження підтверджені гістологічними даними [5].

Дослідження вільних радикалів, що виникали в результаті опромінення лазером, можуть сприяти розумінню фізико-хімічних змін в результаті впливу випромінювання з високою піковою інтенсивністю, пов'язаних з можливістю утворення нових речовин, які мають докорінно змінені властивості.

Припускають, що вільні радикали відіграють значну роль у канцерогенезі та старінні, і їх оцінюють як фактори первісного механізму при радіаційному ушкодженні твердих речовин. Вільні радикали виявлені в ряді тканин, включаючи печінку мишей; про аналогічні дослідження шкіри даних немає.

Утворення вільних радикалів в біологічних системах, пов'язане з опроміненням лазером, досліджено Дерром та ін. [1—2]. Біологічні зразки, включаючи шкіру білих та чорних мишей (*in vivo*), опромінювали випромінюванням з довжиною хвилі 6943 Å. Резонанси не спостерігались (відношення ефекту до шуму становило 2:1 для 10^{14} спінів) у шкірі білих мишей. Резонанси, спостережувані після опромінення шкіри чорних мишей, вказували з великою імовірністю, що утворення вільних радикалів у цих біологічних системах викликалось впливом лазерного випромінювання.

Одним з важливих показників функціонального стану тканини є її електропровідність [9]. Тому ми вивчали вплив лазерного опромінення на електропровідність здорової шкіри тварини.

Методика досліджень

Локальні ділянки шкіри черева хом'яків опромінювали неодимовим лазером ($\lambda = 10\,600$ Å, енергія в імпульсі 250 Дж). Промінь лазера був сфокусований на площі 2 мм². Після опромінення з черевної ділянки тіла тварини вирізали два клаптики шкіри: опромінений і інтактний. Одержані препарати вміщували на платинових електродах, розташованих у спеціальній камері, в якій підтримувалась постійна вологість та температура.

Для вимірювання активного опору та ємності шкіри використовували установку з паралельною схемою заміщення досліджуваного елемента, яка складалась з моста змінного струму Р-568, звукового генератора ГЗ-33, лампового вольтметра В-3-13. Нуль-приладом моста служив електронний індикатор нуля Ф-550.

Платинові електроди мали мінімальні значення вхідної ємності, індуктивності, електричної поляризації на низьких частотах. Крім цього, електроди давали змогу забезпечити строгую паралельність електричних силових ліній.

Вимірювання електропровідності здійснювалось у діапазоні частот 10^2 — 10^5 гц. Точність вимірювання становила 1%. Напруга на об'єкті не перевищувала 3—5 мв, що забезпечувало неможливість необоротних або значних змін властивостей об'єкту.

Досліджували такі параметри: питомий опір, діелектричну сталу та імпеданс шкіри через 1 год, 1, 3, 7 та 14 діб після опромінення ОКГ. Крім того, проводились гістоморфологічні дослідження опромінених ділянок шкіри. Дослід проводився серіями по п'ять-шість тварин на кожний строк вимірювання.

Опір тканини (R) та її ємність (C) визначали безпосередньо в досліді. Потім за формулою $Z = \frac{R}{\sqrt{1+R^2\omega^2C^2}}$ обчислювали імпеданс. Для розрахунку діелектричної сталої та питомого опору тканини були знайдені коефіцієнти при відомій площі електродів ($S=7,75$ мм²) та відстані між ними ($l=0,3$ мм).

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad C = \frac{\epsilon S}{4\pi d} \quad \rho = R \frac{S}{l} \quad \epsilon = \frac{4\pi d C}{S} \quad \rho = kR, \text{ де } k = \frac{S}{l}$$

$$\epsilon = k'C, \text{ де } k' = \frac{4\pi d}{S} \quad k \approx 2,5 \quad k' \approx 0,5.$$

Результати кожної серії вимірювань електричних параметрів шкіри статистично обробляли, і на підставі даних цієї обробки складались таблиці, з допомогою яких будували графіки зміни електричних параметрів шкіри залежно від часу після опромінення.

Результати досліджень та їх обговорення

Через одну годину після дії на шкіру лазерного випромінювання виявлено зменшення питомого опору та збільшення діелектричної сталої на низьких частотах. Питомий опір на низьких частотах зменшується

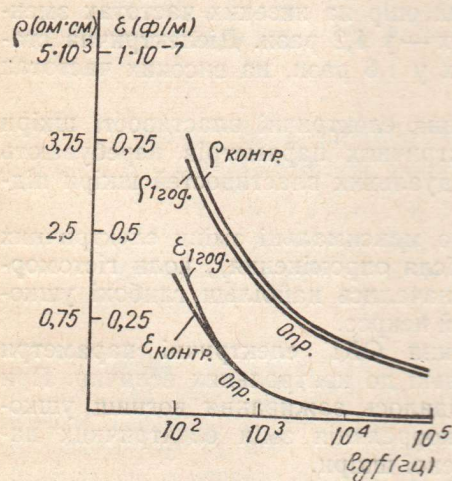


Рис. 1. Зміни питомого опору та діелектричної сталої шкіри через 1 год після опромінення.

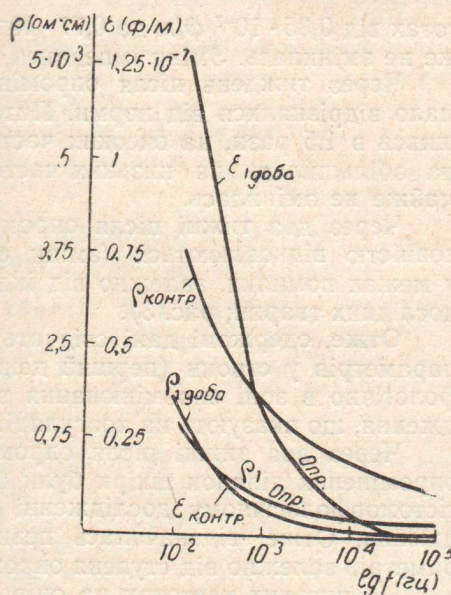


Рис. 2. Зміни питомого опору та діелектричної сталої шкіри через одну добу після опромінення.

ся від $3,75 \cdot 10^3$ ом·см до $3,67 \cdot 10^3$ ом·см; на високих — від $0,60 \cdot 10^3$ ом·см до $0,52 \cdot 10^3$ ом·см. Діелектрична стала збільшується на низьких частотах від $0,35 \cdot 10^{-7}$ ф/м до $1,3 \cdot 10^{-7}$ ф/м; на високих частотах

вона залишається майже постійною (рис. 1). Виникало також помітне зменшення імпеданса на низьких частотах.

На першу добу після опромінення зміни електричних параметрів були максимальними. Питомий опір на низьких частотах зменшується у 2,5 рази (від $3,75 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$ до $1,50 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$); на високих частотах — у 4,3 рази (від $0,60 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$ до $0,14 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$). Діелектрична стала на низьких частотах збільшується у 3,6 рази (від $0,35 \cdot 10^{-7} \text{ ф/м}$ до $1,25 \cdot 10^{-7} \text{ ф/м}$). На високих частотах вона майже не змінюється (рис. 2). У цей час було також відзначено максимальне

відхилення показників імпеданса як на високих, так і на низьких частотах.

На третю добу після опромінення виявилась поступова нормалізація електричних параметрів внаслідок відновлення життєдіяльності тканини. Питомий опір зменшився на низьких частотах від $3,75 \times 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$ до $2,1 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$; на високих частотах від $0,60 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$ до $0,40 \cdot 10^3 \text{ ом} \cdot \text{см}$. Діелектрична стала збільшилась на низьких час-

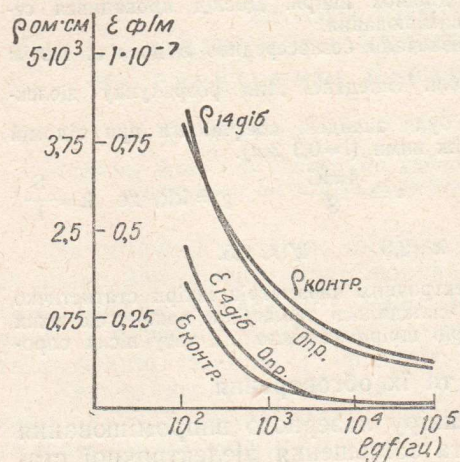


Рис. 3. Зміни питомого опору та діелектричної сталої шкіри через два тижні після опромінення.

тотах від $0,35 \cdot 10^{-7} \text{ ф/м}$ до $0,77 \cdot 10^{-7} \text{ ф/м}$; на високих частотах вона майже не змінилась. Зміни імпеданса в цей час також незначні.

Через тиждень після опромінення електричні параметри тканини мало відрізнялися від норми. Питомий опір на низьких частотах зменшився в 1,5 рази, на високих частотах — у 1,2 рази. Діелектрична стала збільшилась на низьких частотах у 1,6 рази, на високих частотах майже не змінилась.

Через два тижні після опромінення електричні властивості шкіри повністю відновлюються (зміни електричних параметрів перебувають у межах помилки, залежно від індивідуальних властивостей шкіри піддослідних тварин; рис. 3).

Отже, одержані дані свідчать про максимальні зміни електричних параметрів у строки (перший день після опромінення), коли гістоморфологічно в зоні опромінювання відзначались найбільш глибокі ушкодження, що вказують на коагуляційний некроз.

Через два тижні після опромінення ОКГ електричні параметри опромінених ділянок шкіри були близькі до контрольних величин. При гістоморфологічному дослідженні виявилось заживання вогнищ ушкодження. Отже, відзначалась певна кореляція змін електричних параметрів залежно від ступеня опроміненої шкіри.

На низьких частотах на опір шкіри та інших тканин впливає клітинна структура (клітинні оболонки, різні фазові границі в цитоплазмі, тощо [9]). Тому необхідно зауважити, що значення питомого опору в даному діапазоні частот характеризує стан згаданих клітинних структур.

На основі досліджень електричних параметрів шкіри, яка опромінювалась ОКГ, можна припустити, що в клітинах, мабуть, відбува-

ються зміни молекулярної структури, пов'язані з дезагрегацією, а також деполімеризацією частин, з яких вона складається.

Отже, при оцінці біологічної дії випромінювання лазерів, що генерують в інфрачервоному діапазоні спектра, необхідно враховувати певну роль електрохімічних ефектів.

Висновки

1. Питомий опір та діелектрична стала шкіри хом'яків в діапазоні частот 10^2 — 10^5 гц в нормі і в різні строки після опромінення ОКГ (1 год, 1, 3, 7 і 14 діб) неоднакові.

2. Найбільші зміни питомого опору, діелектричної сталої і імпеданса тканини виникали через 1 добу після опромінення. Поступово, в міру збільшення часу після дії лазера, електричні властивості шкіри відновлювались і через два тижні майже не відрізнялись від норми.

3. Існує кореляція між змінами електричних параметрів тканини і її нормальним функціонально-морфологічним станом.

4. Зміни електричних параметрів тканини, яка зазнавала дії ОКГ, значною мірою зумовлені змінами молекулярної будови клітинних структур.

Література

1. Derr V., Klein E., Fine S.—Appl. Opt., 1964, 3, 786.
2. Derr V., Klein E., Fine S.—Feder. Proc., 1965, 24 (1), 3, 99.
3. Fine S., Maiman T., Klein E. and Scott R.—Life Sciences, 1964, 3, 209.
4. Fine S., Klein E., Farber S., Scott R., Roy A., Seed R.—J. Invest. Dermatol., 1963, 40, 123.
5. Fine S., Klein E., Scott R., Seed R.—Skin, 1963, 2, 43.
6. Fine S., Klein E., Scott R.—IEEE Spectrum, 1964, 1, 81.
7. First Ann. Conf., Biol. Effects of Laser Radiation, 1964, Wash., In: Federat. Proc., Simpos., 1965, 24 (1), 3.
8. Klein E., Fine S.—Paper presented at Stephan Rothman Research Club, Am. Acad. Dermatol., 1962, Chicago, Illinois.
9. Kryspin J., Harantova Z., Safrankova B.—Elektrike vlastnosti tkani, Praha, 1963.
10. Litwin M., Glew D.—Am. Med. Assoc., 1964, 187, 842.
11. Malt R., Townes C.—New Engl. J. Med., 1963, 269, 1417.
12. Third Boston Laser Conf., 1964, Boston, Massachusetts, Abst. of Biol. Sess.

Надійшла до редакції
3.II 1969 р.

EFFECT OF OPTICAL QUANTUM GENERATOR RADIATION ON ELECTRICAL PARAMETERS OF FRESH TISSUE

Yu. N. Volkov, E. P. Sidorik, M. I. Danko

Department of Biophysics, State University, Kiev; Laboratory of Tumour
Biophysics, Institute of Experimental and Clinical Oncology, Kiev

Summary

The changes were investigated in electric parameters of skin at different time after radiation, the histomorphological investigations being carried out simultaneously. The greatest changes in the electric parameters of skin were observed a day after radiation. Histomorphologically there were observed the deepest injuries in the radiation zone testifying to the coagulative necrosis. An existence is shown of connection between the changes in electric parameters of skin and degree of the affection after radiation.