

Abstract

<sup>1</sup>Halyna V. Kulnich

ORCID: [0000-0002-0636-9621](https://orcid.org/0000-0002-0636-9621)

<sup>1</sup>Elvira B. Prohorova

ORCID: [0000-0002-4519-6436](https://orcid.org/0000-0002-4519-6436)

<sup>1,2,3</sup>Fedir V. Hladkykh

ORCID: [0000-0001-7924-4048](https://orcid.org/0000-0001-7924-4048)

<sup>1</sup>State Institution «Grigoriev Institute for Medical Radiology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv, Ukraine;

<sup>2</sup>Institute of Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;

<sup>3</sup>Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine

**CHARACTERISTICS OF SKIN ELECTRICAL CONDUCTANCE IN PATIENTS WITH BREAST CANCER AND HIGH RISK OF RADIATION THERAPY- RELATED COMPLICATIONS**

**Background.** Radiation therapy (RT) is one of the main methods of treating cancer, including breast cancer (BC). This is one of the most knowledge-intensive medical industries, which is based on the latest advances in radiobiology, chemistry, radiation physics, engineering and others. Effective PT involves the use of fairly high doses of radiation, which is what determines the success of comprehensive treatment, in particular the increase in the number of patients who survived 5 years or more. In turn, the increase in survival after a course of combination treatment leads to an increase in the absolute number of patients with adverse treatment outcomes, including radiation-related complications (RC).

**The aim** of the work was to characterize the changes in the skin electrical conductance in patients with breast cancer and an increased risk of RC.

**Materials and methods.** The study was conducted on the basis of the clinic of the Grigoriev Institute of Medical Radiology and Oncology of NAMS of Ukraine. To study the skin electrical conductance, 16 patients with BC with an increased risk of RC were selected, with a mean age of  $53.8 \pm 3.7$  (95% CI: 46.6–61.0) years. Studies of tissue electrical conductance were performed using the device "Electrodermatometer", measuring the indicators: modulus of complex impedance, impedance angle, complex impedance, and electrical capacity.

**Results and discussion.** The study showed that in patients with BC and increased risk of RC, there was a decrease in the complex impedance of tissues at the study points during RT. The modulus of complex impedance at the mitral area decreased by only 6.8% ( $p > 0.05$ ), while at the aortic, pulmonic and tricuspid areas, this figure was significantly ( $p < 0.05$ ) decreased by 27.0%; 26.2% and 33.0%, respectively, relative to the initial indicators for RT. It was found that the most pronounced changes in the skin electrical conductance in patients with BC at risk of RC were observed at the projection points of the tricuspid and pulmonic areas, where these indicators were significantly ( $p < 0.05$ ) increased by 41.1% and 34.2% relative to the baseline and equaled  $9.8 \pm 0.89$  pF and  $9.8 \pm 0.88$  pF, respectively.

**Conclusions.** In patients with breast cancer at risk of RC, there was a statistically significant decrease ( $p < 0.05$ ) in the value of the modulus of

complex impedance by an average of 23.3% and a statistically significant increase ( $p < 0.05$ ) in the tissue electrical conductance by an average of 29.8% relative to the baseline during radiation therapy.

**Keywords:** breast cancer, electrical conductance, impedance, radiation therapy.

**Corresponding author:**

Fedir V. Hladkykh, State Institution «Grigoriev Institute for Medical Radiology and Oncology», Kharkiv, Ukraine; Institute of Problems of Cryobiology and Cryomedicine, Kharkiv, Ukraine; Vasyl Stus Donetsk National University, Vinnytsia, Ukraine  
e-mail: fedir.hladkykh@gmail.com

**Резюме**

<sup>1</sup>Галина В. Кулініч

ORCID: 0000-0002-0636-9621

<sup>1</sup>Ельвіра Б. Прохорова

ORCID: 0000-0002-4519-6436

<sup>1,2,3</sup>Федір В. Гладких

ORCID: 0000-0001-7924-4048

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва Національної академії медичних наук України», м. Харків, Україна;

<sup>2</sup>Інститут проблем кріобіології і кріомедицини Національної академії наук України, м. Харків, Україна;

<sup>3</sup>Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця, Україна

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ШКІРНИХ ПОКРИВІВ У ХВОРИХ НА РАК ГРУДНОЇ ЗАЛОЗИ З ПІДВИЩЕНИМ РИЗИКОМ УСКЛАДНЕНЬ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ**

**Актуальність.** Променева терапія (ПТ) належить до основних методів лікування онкологічних захворювань, зокрема й хворих на рак грудної залози (РГЗ). Це одна з найбільш наукомістких медичних галузей, яка базується на новітніх досягненнях радіобіології, хімії, радіаційній фізики, техніки та ін. Ефективна ПТ передбачає використання досить високих доз опромінення, що саме і зумовлює успіх комплексного лікування, зокрема збільшення контингенту пацієнтів, що вижили 5 і більше років. У свою чергу, збільшення терміну виживання після проведеного курсу комбінованого лікування зумовлює збільшення абсолютного числа хворих із несприятливими наслідками лікування, зокрема променевими ускладненнями (ПУ).

**Мета роботи** – охарактеризувати зміни електропровідності шкірних покривів у хворих на рак грудної залози з підвищеним ризиком ПУ.

**Матеріали та методи.** Дослідження проведене на базі клініки Державної установи «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва НАМН України». Для вивчення електропровідності шкірних покривів обрано 16 хворих на РГЗ з підвищеним ризиком ПУ, середнім віком  $53,8 \pm 3,7$  (95 % ДІ: 46,6–61,0) роки. Дослідження електропровідності тканин проводили за допомогою приладу «Електродерматометр», вимірюючи показники: модуль комплексного опору, аргумент комплексного опору, повний активний електричний опір та електричну ємність.

**Результати та їх обговорення.** Проведене дослідження показало, що у хворих на РГЗ групи підвищеного ризику ПУ, під час проведення ПТ відмічалось зниження показника повного комплексного опору тканин в досліджуваних точках. Модуль комплексного опору в точці аускультатії мітрального клапана серця знизився лише на 6,8 % ( $p > 0,05$ ), в той час як в точках аускультатії аортального, клапана легеневої артерії та тристулкового клапанів зазначений показник статистично вірогідно ( $p < 0,05$ ) знизився на 27,0 %; 26,2 % та 33,0 % відповідно відносно вихідних показників до ПТ. Встановлено, що найвиразніші зміни з боку ємності електропровідності шкірних покривів у хворих на РГЗ групи ризику ПУ відмічені в точках проекції тристулкового клапана та клапана легеневої артерії, де вказані показники статистично вірогідно ( $p < 0,05$ ) збільши-

лись відповідно на 41,1 % та 34,2 % відносно вихідних показників до ПТ і становили відповідно  $9,8 \pm 0,89$  пФ та  $9,8 \pm 0,88$  пФ.

**Висновки.** У хворих на рак грудної залози групи ризику ПУ відмічено статистично вірогідне зниження ( $p < 0,05$ ) значення модуля комплексного електричного опору в середньому на 23,3 % та статистично вірогідне зростання ( $p < 0,05$ ) ємності електропровідності тканини в середньому на 29,8 % відносно вихідних показників в динаміці променевої терапії.

**Ключові слова:** рак грудної залози, електропровідність, імпеданс, променева терапія.

#### Автор, відповідальний за листування:

Федір В. Гладких, Державна установа «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва», м. Харків, Україна; Інститут проблем кріобіології і кріомедицини, м. Харків, Україна; Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця, Україна  
e-mail: fedir.hladkykh@gmail.com

**How to cite/ Як цитувати статтю:** Kulinich HV, Prohorova EB, Hladkykh FV. [Characteristics of skin electrical conductance in patients with breast cancer and high risk of radiation therapy-related complications]. *EUMJ*. 2021;9(4):373-381

DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2021;9\(4\):373-381](https://doi.org/10.21272/eumj.2021;9(4):373-381)

#### Introduction/Вступ

Променева терапія (ПТ) належить до основних методів лікування онкологічних захворювань, зокрема й хворих на рак грудної залози (РГЗ). Це одна з найбільш наукомістких медичних, галузей яка базується на новітніх досягненнях радіобіології, хімії, радіаційній фізики, техніки та ін. [1].

Ефективна ПТ передбачає використання досить високих доз опромінення, що саме і зумовлює успіх комплексного лікування, зокрема збільшення контингенту пацієнтів, що вижили 5 і більше років. У свою чергу, збільшення терміну виживання після проведеного курсу комбінованого лікування зумовлює збільшення абсолютноного числа хворих із несприятливими наслідками лікування, зокрема променевими ускладненнями (ПУ). ПТ високоенергетичними пучками викликає виразніші променеві реакції та uszkodження шкіри та слизових оболонок, аніж гамма-промені. Методом вибору для лікування ПУ м'яких тканин нині є радикальне хірургічне видалення uszkodжених тканин із подальшим заміщенням дефекту, що виник. В той же час значна увага дослідників направлена саме на попередження та профілактику розвитку ПУ після ПТ, запорукою чого є розробка прогностичних критеріїв ускладнення спеціального лікування у хворих на РГЗ. Одним з таких критеріїв виступає оцінка електропровідності шкірних покривів, які потрапляють в поля опромінення [1, 2, 3].

Добре відомо, що мембрани клітин мають електричні властивості ізолятора, який можна охарактеризувати через діелектричні властивості – відносну діелектричну проникність. Внутрішньоклітинна рідина за хімічним складом та властивостями подібна до міжклітинної рідини, але містить органели клітини та інші внутрішньоклітинні включення, відносний обсяг яких, в загальному випадку, становить незначну частину від загального обсягу клітини. Тому, тканини є гетерогенними об'ємними провідниками другого роду, основними структурними елементами яких є плазматичні мембрани клітин та електроліти цитоплазми і міжклітинні проміжки. Під час зондування електропровідності біологічних тканин змінним струмом виникає зсув фаз напруги і сили електричного струму [4].

За останні кілька десятиліть було створено ряд методів неінвазивної характеристики тканин на основі імпедансу, таких як біоелектричний імпедансний аналіз, електрична імпедансна спектроскопія, електрична імпедансна плетизмографія (IPG), запропоновані імпедансна кардіографія та електроімпедансна томографія. Проведено багато дослідницьких робіт за цими методами для неінвазивної характеристики стану тканин та діагностики захворювань [4].

Змінний струм проходить як через міжклітинні проміжки тканин, так і через мембрани клітин, які створюють реактивну (поляризаційну) складову опору. Тому всі фізіологічні і па-

тологічні процеси, що відбуваються в мембранному комплексі тканин організму впливають і на рівень реактивної складової, і, відповідно, на рівень його повного імпедансу. Найвиразніше реактивна провідність виявляється під час зондування високочастотним змінним струмом [5, 6].

Відомо, що із зростанням частоти тестового електричного сигналу модуль імпедансу ( $Z$ ) помітно зменшується. Мембрани клітин є свого роду конденсаторами, імпеданс яких падає при збільшенні частоти і все більший внесок у провідність зі зростанням частоти вносить внутрішньоклітинна рідина [6, 7, 8].

Імпеданс ( $Z$ ) визначається як  $Z = R + X$ , де  $R$  – активний опір;  $X$  – реактивний опір. Імпеданс також можна записати у тригонометричній формі:  $Z = |Z| (\cos \varphi + i \sin \varphi)$ , де  $|Z|$  – абсолютне значення імпедансу (модуль);  $\varphi$  – фаза.

Абсолютне значення імпедансу визначається за формулою:  $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$ .

Модуль імпедансу досліджуваного об'єкта розраховується на підставі даних про значення струму і напруги. Фазовий детектор визначає різницю фаз між напругою і струмом в досліджуваному об'єкті. Складові імпедансу досліджуваного об'єкта визначаються відповідно до значення фазового кута  $\varphi$  і модуля електричного імпедансу [9, 10, 11].

Як інформативний параметр також використовується фазовий кут значення якого визначається за виразом:  $\tan \varphi = X/R$ , як співвідношення реактивної та активної складової імпедансу [7, 10, 11].

Відомо, що опір біологічних об'єктів для змінного струму нижчий, ніж для постійного та не залежить від величини струму (якщо вона нижче за фізіологічну норму). Крім того відомо, що опір біологічних об'єктів на одній частоті струму незмінний, якщо не змінюються фізіологічні особливості об'єкту, оскільки опір стрімко падає, якщо помітні фізіологічні зміни, які є початком процесів відмирання тканин [12, 13].

**Мета роботи** – охарактеризувати зміни електропровідності шкірних покривів у хворих на рак грудної залози з підвищеним ризиком ПУ.

#### Матеріали та методи дослідження

Дослідження проведено на базі клініки Державної установи «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва НАМН України» (далі – ДУ «ІМРО НАМН України»). Для дослідження відібрано дані дослідження електропровідності шкірних покривів 16 хворих на РГЗ з підвищеним ризиком ПУ, які перебували на ста-

ціонарному лікуванні у ДУ «ІМРО НАМН України» у 2021 р. Відбір пацієнтів проведено у відповідності до критеріїв включення та критеріїв виключення згідно результатів попередніх досліджень [14].

Середній вік обстежуваних пацієнток, хворих на РГЗ з підвищеним ризиком ПУ становив  $53,8 \pm 3,7$  (95 % ДІ: 46,6–61,0) років.

Дослідження електропровідності тканин проводили за допомогою приладу «Електродерматомер», вимірюючи показники: (1) модуль комплексного опору  $Z$ , кОм; (2) аргумент комплексного опору  $\varphi^\circ$ ; (3) повний активний електричний опір  $R$ , кОм; (4) електрична ємність  $C$ , пФ. Показники електричного опору шкірних покривів слугували непрямим відображенням стану мікроциркуляторного забезпечення та трофічного гомеостазу тканин.

Вимірювання проводили за допомогою спеціального датчика (рис. 1), щільно притискаючи його почергово у чотирьох точках грудної клітки, які відповідали точкам аускультатії серця, відповідно: точка 1 – точка аускультатії мітрального клапана, точка 2 – точка аускультатії аортального клапана, точка 3 – точка аускультатії клапана легеневої артерії та точка 4 – точка аускультатії тристулкового клапана.

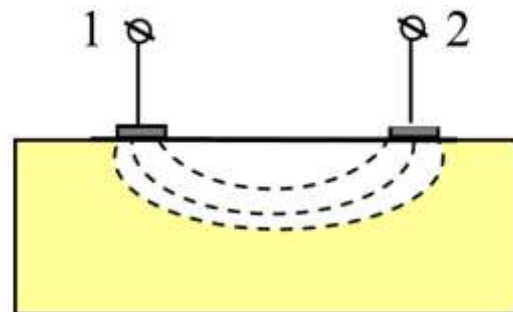


Рисунок 1 – Схема взаємодії двоелектродного сенсора з тканинами

**Методи статистичної обробки.** Оцінку характеру розподілу величин в кожній групі вибіркової сукупності проводили з використанням  $W$  – критерію Шапіро-Вілка (Shapiro-Wilk test). Однорідність дисперсій визначали за критерієм Левена (Levene's test). Для оцінки значущості виявлених відмінностей досліджуваних показників при повторюваних вимірюваннях проводили за непараметричним  $T$  – критерієм Вілкоксона (Wilcoxon T test). Відмінності вважали статистично значущими при  $p < 0,05$ . Цифрові дані у разі нормального розподілу величин наведені у вигляді « $M \pm m$ », де  $M$  – середнє арифметичне зна-

чення,  $m$  – стандартна похибка середнього арифметичного, 95 % ДІ: – 95 % довірчий інтервал.

Для графічного представлення даних обрано діаграми розмаху (box-and-whiskers diagram – «шухлядові» діаграми з «вусами»), на яких відображались максимальне та мінімальне значення у разі ненормального розподілу величин або межі 95 % довірчого інтервалу при нормальному розподілі, інтерквартильний розмах (Interquartile range – IQR) у вигляді боксу від 25-го до 75-го перцентилію при ненормальному розподілі величин або межі стандартної похибки середнього арифметичного при нормальному розподілі величин, медіану та/або середнє арифметичне значення [15].

**Біоетичні аспекти дослідження.** Дослідження проведено у відповідності до основних біоетичних норм Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження» (1964–2013 рр.), Міжнародного керівництва по етиці для біомедичних досліджень Ради міжнародних організацій медичних наук (The Council for International Organizations of Medical Sciences – CIOMS, 2016 р.), Конвенції

Ради Європи про права людини та біомедицину (2007 р.), рекомендацій Комітету з біоетики при Президії НАМН України (2002 р.), Наказам МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 944 від 14.12.2009 р. та відповідним положенням ВООЗ (World Health Organization), Міжнародної ради медичних наукових товариств та Міжнародному кодексу медичної етики (1983 р.). Протоколи дослідження схвалені Комітетом з біоетики та деонтології ДУ «ІМРО НАМН України» (протокол № 15 від 20.10.2020 р.).

#### Результати та їх обговорення

Проведене дослідження показало, що у хворих на РГЗ з підвищеним ризиком ускладнень ПТ відмічалось зниження показника повного комплексного опору тканин  $Z$  в досліджуваних точках відносно вихідних показників (рис. 2). Так модуль комплексного опору в точці аускультативної мітрального клапана серця знизився лише на 6,8 % ( $p > 0,05$ ), в той час як в точках аускультативної аортального, клапана легеневої артерії та тристулкового клапанів зазначений показник статистично вірогідно ( $p < 0,05$ ) знизився за 27,0 %; 26,2 % та 33,0 % відповідно відносно вихідних показників до ПТ.

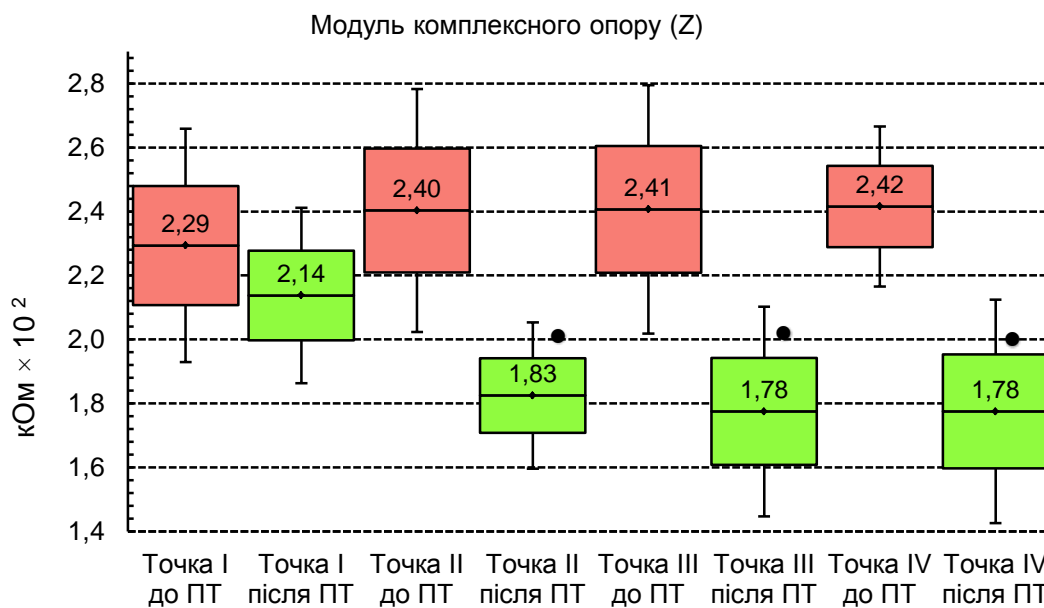


Рисунок 2 – Модуль комплексного опору  $Z$  шкірних покривів пацієнток з підвищеним ризиком ускладнень ПТ РГЗ,  $n = 16$

**Примітка.** Розподіл величин кожної групи вибіркової сукупності нормальний. Бокси включають значення стандартної похибки середнього арифметичного, вертикальні лінії за межами боксів – 95 % довірчий інтервал. Горизонтальна лінія всередині боксу – середнє арифметичне значення; • –  $p < 0,05$  відносно вихідних показників

В той же час встановлено, що зміни активної частини комплексного опору R (рис. 3) не досягали рівня статистичної вірогідності в жодній з досліджуваних точок, що вказує на сталість хі-

мічного складу клітин, оскільки відомо що активний опір залежить тільки від густини та хімічного складу речовини [6, 7].

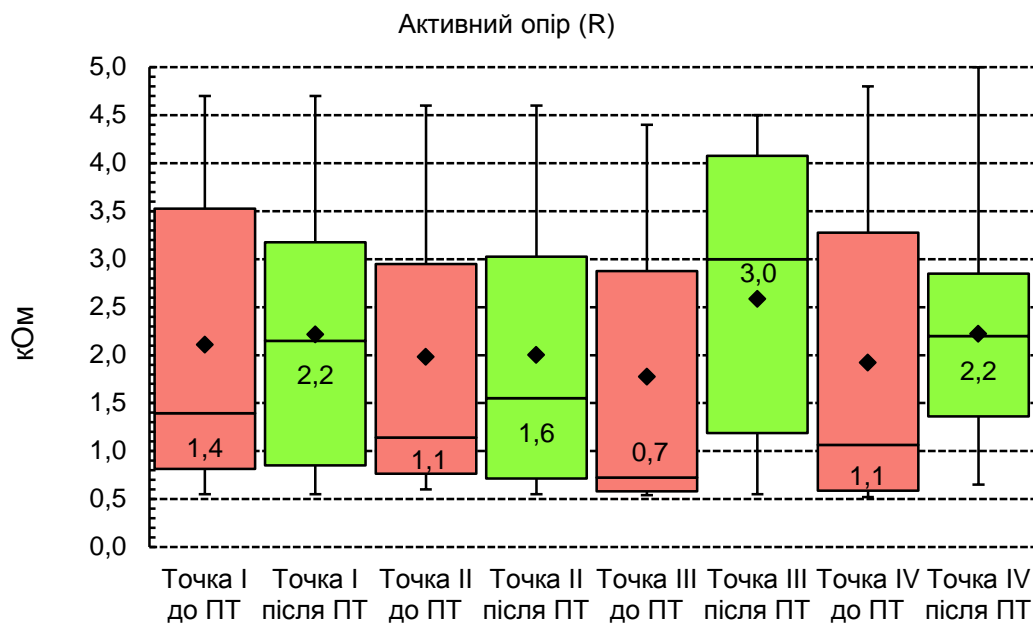


Рисунок 3 – Активний опір шкірних покривів пацієнток з підвищеним ризиком ускладнень ПТ РГЗ, n = 16

**Примітка.** Розподіл величин ненормальний. Бокси включають результати від 25-го до 75-го перцентилу, вертикальні лінії за межами боксів – мінімальне та максимальне значення. Горизонтальна лінія всередині боксу – медіана,  $\blacklozenge$  – середнє значення

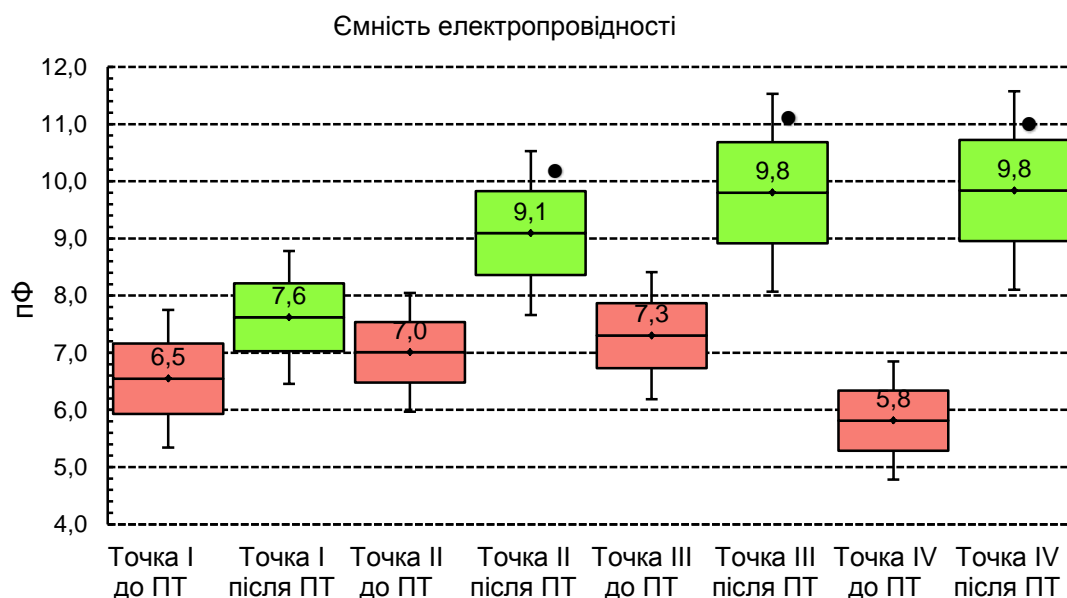


Рисунок 4 – Ємність електропровідності шкірних покривів пацієнток з підвищеним ризиком ускладнень ПТ РГЗ, n = 16

**Примітка.** Розподіл величин кожної групи вибіркової сукупності нормальний. Бокси включають значення стандартної похибки середнього арифметичного, вертикальні лінії за межами боксів – 95 % довірчий інтервал. Горизонтальна лінія всередині боксу – середнє арифметичне значення;  $\bullet$  –  $p < 0,05$  відносно вихідних показників

Отримані дані вказують на те, що повний комплексний опір  $Z$  зменшувався переважно за рахунок реактивного опору ( $X$ ), який визначається за формулою:  $X=1/(\omega C)$ , де  $\omega$  – частота змінного струму. Тобто, якщо реактивний опір зменшується, ємність збільшується в оберненій пропорції (при незмінній частоті струму).

Встановлено, що найвиразніші зміни з боку ємності електропровідності шкірних покривів у хворих на РГЗ з підвищеним ризиком ускладнень ПТ відмічені в точках проекції тристулкового клапана та клапана легеневої артерії, де вказані показники статистично вірогідно ( $p < 0,05$ ) збільшились відповідно на 41,1 % та 34,2 % відносно вихідних показників до ПТ і становили відповідно  $9,8 \pm 0,89$  пФ та  $9,8 \pm 0,88$  пФ (рис. 4).

Крім того, проведене дослідження показало, що у хворих на РГЗ з підвищеним ризиком ПУ в динаміці променевої терапії відмічалась тенденція до збільшення фази (аргументу  $\varphi$ ) комплексного опору, що також підтверджує збільшення ємності (рис. 5).

Встановлене збільшення електричної ємності клітинних мембран після ПТ у хворих на РГЗ доцільно пов'язано зі збільшенням площі мембран після опромінення. Відомо, що ємність конденсатора прямо пропорційна площі мембран (як пластин конденсатора), а площа мембран може збільшуватися за рахунок радіаційних дефектів, що виникають під час опромінення. Тобто поверхня мембран стає більш шорсткою.

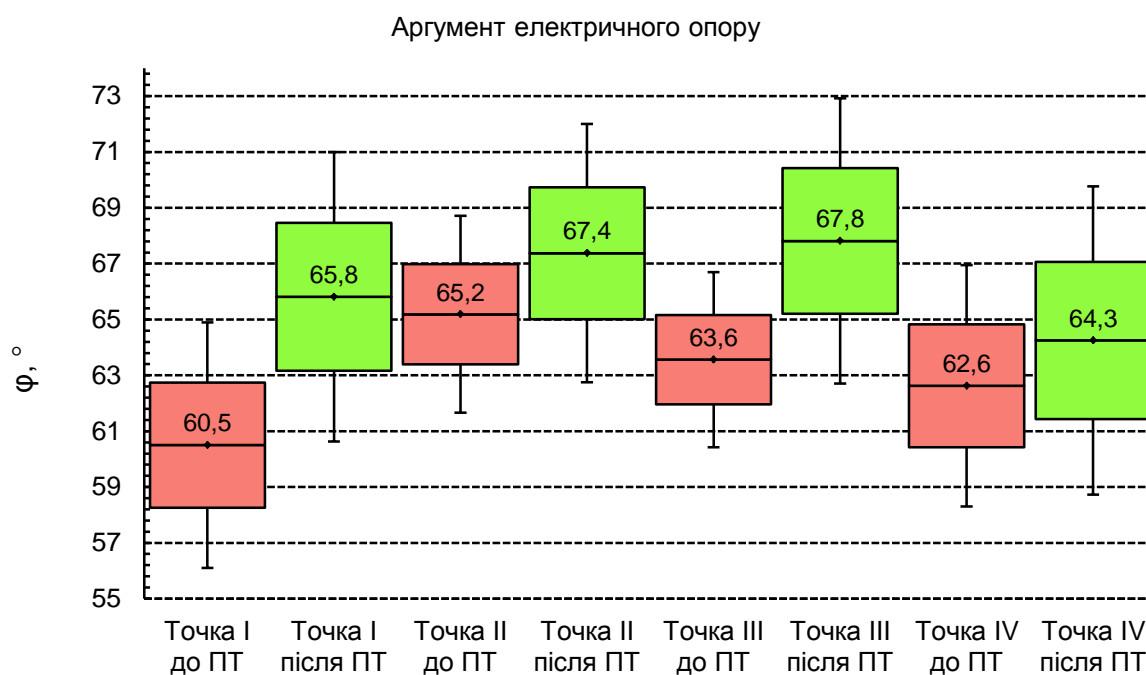


Рисунок 5 – Аргумент електричного опору шкірних покривів пацієнток з підвищеним ризиком ускладнень ПТ РГЗ,  $n = 16$

**Примітка.** Розподіл величин кожної групи вибіркової сукупності нормальний. Бокси включають значення стандартної похибки середнього арифметичного, вертикальні лінії за межами боксів – 95 % довірчий інтервал. Горизонтальна лінія всередині боксу – середнє арифметичне значення; ● –  $p < 0,05$  відносно вихідних показників.

### Conclusions/Висновки

1. У хворих на рак грудної залози групи ризику променевої терапії відмічено статистично вірогідне зниження ( $p < 0,05$ ) значення модуля комплексного електричного опору в середньому на 23,3 % та статистично вірогідне зростання ( $p <$

0,05) ємності електропровідності тканини в середньому на 29,8 % відносно вихідних показників в динаміці променевої терапії, що дозволяє розцінювати вказані зміни як можливі прогностичні критерії ускладнення променевої терапії.

2. Зростання електричної ємності електропровідності шкірних покривів у хворих на

грудної залози ймовірно обумовлене збільшенням площі мембран після опромінення, адже ємність конденсатора прямо пропорційна їх

площі, яка ймовірно збільшується за рахунок пошкоджувальної дії іонізуючого опромінення на клітинному рівні.

### Prospects for future research/Перспективи подальших досліджень

Встановлені зміни електропровідності шкірних покривів вказують на доцільність оцінки інформативності аналогічних показників у хворих на злоякісні новоутворення інших локалізацій, а

також дослідження залежності прогностичної цінності змін показників біоелектроімпедансу від стадії злоякісного процесу та режиму проведення променевої терапії.

### References/Список літератури

1. Bhushan A, Gonsalves A, Menon JU. Current state of breast cancer diagnosis, treatment, and theranostics. *Pharmaceutics*. 2021;13(723):1–24. DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13050723>
2. Mattingly AE, Ma Z, Smith PD, Kiluk JV, Khakpour N, Hoover SJ, Laronga C, Lee MC. Early postoperative complications after oncoplastic reduction. *Southern Medical Journal*. 2017;110(10):660–666. DOI: <https://doi.org/10.14423/SMJ.0000000000000706>
3. Topuzov EE, Agishev TT, Bozhok AA, Dashyan GA, Sadygova SN, Prikhodko EV, Arshba EA. Clinical and morphological characteristics of skin and subcutaneous fat damage after surgery and radiation therapy in patients with breast cancer (literature review). *Mammology*. 2017; 13 (21): 25–33. DOI: <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2017-13-1-25-33> [in Russian]
4. Bera TK. Bioelectrical impedance methods for noninvasive health monitoring: A Review. *Journal of Medical Engineering*. 2014;2014:1–28. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/381251>
5. Vavilov AYU, Khalikov AA, Kovaleva MS. Mathematical modeling of electrical parameters of biological tissue when assessing its damage by impedance measurement. *Problems of expertise in medicine*. 2006; 6 (22): 34–37. [in Russian]
6. Fedotov AA, Akulov SA. Measuring transducers of biomedical signals of clinical monitoring systems. *Radio and communication*. 2013. 250 p. [in Russian]
7. Nwosu AC, Mayland CR, Mason S, Cox TF, Varro A, Stanley S, Ellershaw J. Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) as a method to compare body composition differences according to cancer stage and type. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2019;30:59–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.02.006>
8. Antonyuk O, Dovgan M., Pohodylo E. Measurement of parameters of imitation of living tissues with known substitution schemes. *Measuring equipment and metrology*. 2014; 75: 69–72. [in Ukrainian]
9. Haverkort EB, Reijven PL, Binnekade JM, de van der Schueren MA, Earthman CP, Gouma DJ, de Haan RJ. Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in surgical and oncological patients: a systematic review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2015;69(1):3–13. DOI: <http://doi.org/10.1038/ejcn.2014.203>
10. Bell KE, Schmidt S, Pfeiffer A, Bos L, Earthman C, Russell C, Mourtzakis M. Bioelectrical impedance analysis overestimates fat-free mass in breast cancer patients undergoing treatment. *Nutrition in Clinical Practice*. 2020;35(6):1029–1040. DOI: <http://doi.org/10.1002/ncp.10438>
11. Yaruta VO. Measurement of electrical parameters of living tissues taking into account the resistive-capacitive impedance created by electrodes. *Information processing systems*. 2011; 4 (94): 231–234. [in Ukrainian]
12. Lukaski HC, Kyle UG, Kondrup J. Assessment of adult malnutrition and prognosis with bioelectrical impedance analysis: phase angle and impedance ratio. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2017;20(5):330–339. DOI: <http://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000387>
13. Herasym M, Pokhodylo Y. Invariant Transducers of Capacitive Sensor Parameters into Voltage. *Eastern European journal of Enterprise Technologies*. 2014; 2 (68): 28–32. DOI: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.23174>



14. Hladkykh FV, Kulinich HV, Sevastyanova VS. Characteristics of hematological and biochemical parameters in patients with stage IIb–IIIb breast cancer with late radiation complications. *Practical oncology*. 2020; 3 (1): 4–12. DOI: <http://doi.org/10.22141/2663-3272.3.1.2020.209819> [in Ukrainian]

15. Zar JH. *Biostatistical analysis* (5 ed.). Prentice-Hall, Englewood. 2014; 960 p.

(received 27.10.2021, published online 29.12.2021)

(одержано 27.10.2021, опубліковано 29.12.2021)

#### Conflict of interest/Конфлікт інтересів

Автори рукопису свідомо засвідчують відсутність фактичного або потенційного конфлікту інтересів щодо результатів цієї роботи з фармацевтичними компаніями, виробниками біомеди-

чних пристроїв, іншими організаціями, чий продукт, послуги, фінансова підтримка можуть бути пов'язані з предметом наданих матеріалів або які спонсорували проведені дослідження.

#### Acknowledgments/Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Стаття є фрагментом планової науково-дослідної роботи Державної установи «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва Національної академії медичних наук України» «Визначення факторів прогнозу та індивідуалізація комплексного лікування пізніх

променевих ускладнень» (номер державної реєстрації: 0118U001712, шифр теми: НАМН.03.19, прикладна, термін виконання: 2019–2021 рр., керівник – директор Інституту, доктор медичних наук, професор Красносельський М. В.).

#### Information about the authors/Відомості про авторів

**Кулініч Галина Василівна** – кандидат медичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник групи променевої патології та паліативної медицини відділу радіології, завідувачка відділення променевої патології та паліативної медицини; завідувачка відділу наукової організації розвитку радіологічної допомоги населенню, Державна установа «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва Національної академії медичних наук України»; вул. Пушкінська, буд. 82, м. Харків, 61024, Україна; доцент кафедри радіології та радіаційної медицини, Харківський національний медичний університет Міністерства охорони здоров'я України, пр. Науки, буд. 4, м. Харків, 61000, Україна;

тел.: +33 (067) 799-08-36,

e-mail: [kulinich.galina@gmail.com](mailto:kulinich.galina@gmail.com),

Web of Science: AAQ-2230-2020

**Прохорова Ельвіра Борисівна** – молодший науковий співробітник групи променевої патології та паліативної медицини відділу радіології, Державна установа «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва Національної академії медичних наук України»; вул. Пушкінська, буд. 82, м. Харків, 61024, Україна;

тел.: +33 (095) 737-92-13,

e-mail: [elvira.orlovskaya@ukr.net](mailto:elvira.orlovskaya@ukr.net),

**Гладких Федір Володимирович** – молодший науковий співробітник групи променевої патології та паліативної медицини відділу радіології, Державна установа «Інститут медичної радіології та онкології імені С. П. Григор'єва Національної академії медичних наук України», вул. Пушкінська, буд. 82, м. Харків, 61024, Україна; аспірант відділу експериментальної кріомедицини, Інститут проблем кріобіології і кріомедицини Національної академії наук України, вул. Переяславська, буд. 23, м. Харків, 61016, Україна; магістрант кафедри політології та державного управління факультету інформаційних і прикладних технологій Донецького національного університету імені Василя Стуса Міністерства освіти і науки України, вул. 600-річчя, буд. 21, м. Вінниця, 21021, Україна;

тел.: +38 (099) 782-78-72,

e-mail: [fedir.hladkykh@gmail.com](mailto:fedir.hladkykh@gmail.com),

Web of Science: M-5709-2017