

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий центр радіаційної безпеки Київського
національного університету імені Тараса Шевченка
Всеукраїнське об'єднання медичних фізиків та інженерів

**Медична фізика – сучасний стан, проблеми,
шляхи розвитку. Новітні технології**

Матеріали IX Міжнародної конференції
(Київ, 23–25 вересня, 2020 рік)

**Medical Physics –
the Current Status, Problems, the Way of
Development. Innovation Technologies**

Proceedings of IX International Conference
(Kyiv, September 23–25, 2020)

**Київ
2020**

Матеріали ІХ Міжнародної конференції «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології» відображають наукові, методичні та практичні результати досліджень, спрямованих на вдосконалення шляхів розвитку медичної фізики, подальшого просування новітніх технологій на ринку медичних послуг.

Конференція проводиться за ініціативою Навчально-наукового центру радіаційної безпеки Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Всеукраїнського об'єднання медичних фізиків та інженерів за участю фахівців із провідних закладів вищої освіти, медичних, наукових та регулювальних установ, а також представників МАГАТЕ, Міністерства охорони здоров'я, Академії медичних наук України тощо.

Мета конференції – об'єднати зусилля спільноти в галузі освіти, науки, охорони здоров'я та ядерного регулювання для ефективної підготовки фахівців із медичної фізики.

Proceedings of IX International Conference «Medical physics – the current status, problems, the way of development. Innovation technologies» are reflecting the scientific, methodical and practical results of scientific researches. Results are directed to improve the way of medical physics development in post-Soviet countries and further promotion of innovation technologies in the market of medical services.

The workshop is held by initiative of Taras Shevchenko National University of Kyiv and Ukrainian Association of Medical Physicists and Engineers with the participation of specialists of leading institutions of higher education, medical and scientific organizations, authorities and also representatives of IAEA, Ministry of Public Health of Ukraine, National Academy of Medical Science of Ukraine, etc.

The conference aim is cooperation of community in the area of enlightenment, science, public health and nuclear regulation for effective training of specialists in medical physics.

Організаційний комітет:

Голова	Губерський Л. , ректор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, (Україна);
Міжнародний	Макаровська О. , головний спеціаліст з радіаційної безпеки, відділ радіаційного, транспортного та безпечного регулювання інфраструктури радіаційних відходів та відділ безпеки транспортування МАГАТЕ (Австрія); Димитрова Т. , Пловдивський університет «Паїсій Гілендарський», вчений секретар Спілки вчених Болгарії – Пловдив (Болгарія); Зарединов Д. , головний радіолог, Міністерство охорони здоров'я (Республіка Узбекистан); Олко П. , керівник відділу прикладної фізики, Інститут ядерної фізики, Польська академія наук (Польська Республіка); Рахімжанова Р. , президент, Радіологічне об'єднання (Республіка Казахстан);
Київський національний університет імені Тараса Шевченка	Асламова Л. , директор, ННЦ радіаційної безпеки, експерт МАГАТЕ; Булавін Л. , завідувач кафедри молекулярної фізики фізичного факультету; Жилінська О. , проректор з наукової роботи; Ільченко В. , директор Інституту високих технологій; Куліш М. , завідувач кафедри фізики функціональних матеріалів фізичного факультету; Макарець М. , декан фізичного факультету; Нетреба А. , декан факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем; Сокур Л. , заступник директора ННЦ «Інститут біології та медицини»; Андрушко Л. , Присяжна О. , секретарі конференції;
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна	Баранник Є. , кафедра медичної фізики та біомедичних нанотехнологій фізико-технічного факультету.

**Спонсори конференції – ТОВ «НВО «Телеоптика»,
ТОВ «Торговий дім «Омега-Київ», Пилипенко М.**

Матеріали представлені в авторській редакції.

Organizing committee:

Chairman	Hubersky L. , Rector, Taras Shevchenko National University of Kyiv, (Ukraine);
International	Makarovska O. , Senior Radiation Safety Specialist, Division of Radiation, Transport and Waste Safety Regulatory Infrastructure and Transport Safety Section, Control of Radiations Sources Unit, IAEA (Austria); Dimitrova T. , Plovdiv University «Paisii Hilendarski», Scientific Secretary of the Union of Scientists in Bulgaria – Plovdiv (Bulgaria); Zaredinov D. , Chief radiologist, Ministry of Health, The Republic of Uzbekistan; Olko P. , Head of Division of Applied Physics, Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences (Republic of Poland); Rakhimzhanova R. , President, Radiological Society of Kazakhstan (Republic of Kazakhstan);
Taras Shevchenko National University of Kyiv	Aslamova L. , Director, TRC for Radiation Safety, Expert of IAEA; Bulavin L. , Head of Department of Molecular Physics, Physics Faculty; Zhylinska O. , Prorector (Scientific Work); Ilchenko V. , Director, Institute of High Technologies; Kulish M. , Head of Department of Functional Materials Physics, Physics Faculty; Makarets M. , Dean, Physics Faculty; Netreba A. , Dean, Faculty of Radio Physics, Electronics and Computer Systems; Sokur O. , Deputy Director for Scientific Work, Institute of Biology and Medicine; Andrushko L. , Prysiashna O. , Secretaries of Conference.
V. N. Karazin Kharkiv National University	Barannik E. , Department of Medical Physics and Biomedical Nanotechnologies, Faculty of Physics and Technology.

**Sponsors of conference – SPA Teleoptica Ltd,
«TH «OMEGA-KYIV» LTD, Pylypenko M.**

The proceedings were printed in the author's edition.

Шановні колеги!

Навчально-науковий центр радіаційної безпеки Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Всеукраїнське об'єднання медичних фізиків та інженерів щиро вдячні нашим спонсорам і колегам, а саме ТОВ «НВО «Телеоптика», ТОВ «Торговий дім «Омега-Київ», професору Пилипенко Миколі Івановичу за підтримку в організації та проведенні в 2020 році IX Міжнародної конференції «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології».

Завдяки їхньому захопленню медичною фізикою, провадженню інноваційних технологій та чудовим людським якостям ми мали можливість надрукувати матеріали конференції, а Ви тримати їх зараз у руках.

Навчально-науковий центр радіаційної безпеки Київського національного університету імені Тараса Шевченка запрошує у 2021 році на курси підвищення кваліфікації «Радіаційна безпека при здійсненні окремих видів діяльності в сфері використання ядерної енергії» <http://rb.univ.kiev.ua/> за напрямками:

1. Виробництво джерел іонізуючого випромінювання.
2. Використання джерел іонізуючого випромінювання (медицина, промисловість, наукові дослідження інші галузі народного господарства).
3. Перевезення радіоактивних матеріалів.
4. Поводження з радіоактивними відходами.

Запрошуємо на курси підвищення кваліфікації медичних фізиків «Забезпечення якості в радіології».

Маючи у своєму розпорядженні компетентний персонал, партнерські стосунки з провідними вітчизняними, міжнародними організаціями і фахівцями в галузі радіаційної безпеки та використовуючи кращий світовий досвід, акумульований у нормах безпеки МАГАТЕ, Міжнародної комісії з радіологічного захисту, інших міжнародних організацій, ми прагнемо зміцнити свою позицію як надійного постачальника послуг із забезпечення радіаційної безпеки.

З повагою

Оргкомітет конференції

1. Навчання та підготовка медичних фізиків *Education and training of medical physicists*

ПІСЛЯДИПЛОМНА ПІДГОТОВКА ІНЖЕНЕРІВ- ФІЗИКІВ ТА МЕДИЧНИХ ФІЗИКІВ НА ОСВІТНІЙ БАЗІ ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

А.С. Макієнко^{1,2*}, Л.О. Авер'янова³, В.П. Старенький¹

¹ ДУ «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва
Національної академії медичних наук України», Харків, Україна

² Харківський радіотехнічний коледж, Харків, Україна

³ Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків,
Україна *+380631052015, makienko.alla@gmail.com

Анотація. На сьогодні у зв'язку зі зростанням кількості хворих на рак та використанням новітнього та сучасного обладнання виникає потреба у кваліфікованих медичних фізиках та інженерах-фізиках. Тому вже багато років практикується підготовка цих спеціалістів у рамках спеціальності «Біомедична інженерія» у ХНУРЕ за участю ДУ «ІМРО ім. С. П. Григор'єва НАМН України», що має позитивні практичні результати.

Ключові слова: медичний фізик, інженер-фізик, опромінення, променева терапія, дозиметрія.

За даними Міністерства охорони здоров'я Україна знаходиться серед держав з високим рівнем захворюваності на рак. Щорічно близько 65 тисяч осіб помирають від раку, а 140 тисяч дізнаються про свою хворобу. При цьому в останні десятиліття спостерігається тенденція зниження середнього віку хворих. На прикладі раку грудної залози в Україні у 2018 р. діагностовано 14872 нових випадків, що становить 77,5 на 100 тис. населення. Загальна кількість померлих протягом 2018 року склала 5679 жінок (29,6 на 100 тис. населення), при цьому 9,4% вперше виявлених прожили менш як 1 рік [1]. Стає очевидною важливість ранньої діагностики та лікування, що, як наслідок, зумовлює потребу у кваліфікованих медичних фізиках для надання технічної

допомоги у покращенні якості роботи лікувально-діагностичних центрів онкологічного профілю [2].

Медичний фізик та інженер-фізик – це фахівець з вищою фізико-технічною освітою, який працює у співпраці з медичним персоналом в лікувальних установах, університетах, навчальних або науково-дослідних інститутах [3, 4]. Вони роблять великий внесок у безпечне та ефективне променеве лікування пацієнтів, які хворі на рак. Знання в області фізики, особливо радіаційної фізики, та розуміння того, як випромінювання взаємодіє з тканинами людини, а також складних технологій, які застосовуються сьогодні для лікування раку, дуже важливі для успішного проведення променевої терапії. Обов'язки медичного фізика та інженера-фізика пов'язані з п'ятьма основними областями:

- дозиметрією,
- плануванням лікування,
- контролем якості,
- вибором обладнання,
- радіаційною безпекою [5].

В Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) на кафедрі біомедичної інженерії (БМІ) проводиться підготовка фахівців з біомедичної інженерії. За роки навчання на цій кафедрі студенти вивчають базові дисципліни, які пов'язані з фізикою та медициною - загальну фізику, анатомію та фізіологію, біохімію, біофізику. Особливо важливим для галузі радіаційної онкології є вивчення систем медичної візуалізації та променевої терапії.

Спеціаліста потрібно готувати не тільки у галузі теоретичних знань з електроніки, фізики, біофізики, математики, комп'ютерних технологій. Їх потрібно навчити експериментальній роботі, вмінню обслуговування обладнання, працювати на ньому та усувати несправності. Тому отримавши потрібні та корисні знання, студенти на третьому та четвертому курсах проходять практику на базі ДУ «Інститут медичної радіології та онкології ім. С. П. Григор'єва НАМН України» у відділенні променевої терапії, групі

клінічної топометрії та центральній лабораторії радіаційної безпеки та дозиметрії медичного опромінення. На практиці кожен студент залучається до роботи відділень та знайомиться з обов'язками медичних фізиків.

У відділенні променевої терапії працює лінійний прискорювач Clinac 600 C, гамма-терапевтичний апарат РОКУС-АМ, рентгентерапевтичні апарати РУМ-17, РТА-02; група клінічної топометрії обслуговує рентген-симулятор «Acuity», планувальну систему Eclipse.

Перелік задач медичного фізика або інженера-фізика у відділеннях ДУ «ІМРО ім. С. П. Григор'єва НАМН України»:

- складання плану променевої терапії, вибір режимів фракціонування по радіобіологічним критеріям;
- проведення та комп'ютерна обробка результатів топометрії;
- розрахунок розподілу поглинених доз у тілі хворого;
- дозиметричне планування;
- аналіз та вивчення середньорічних та колективних доз;
- абсолютна та відносна дозиметрія;
- калібровка пучка опромінення;
- проведення індивідуального дозиметричного контролю опромінення у медичних працівників;
- проведення фантомних вимірювань;
- контроль радіаційної безпеки;
- дослідження щодо вивчення основних показників, які впливають на формування доз пацієнтів при променевій діагностиці, оцінка дозових навантажень пацієнтів, встановлення національних діагностичних рівнів для найбільш поширених видів рентгенодіагностичних досліджень, наукове обґрунтування шляхів оптимізації медичного опромінення пацієнтів та персоналу та інше.

Без медичних фізиків та інженерів-фізиків лікарі променевої терапії, які відповідають за лікування онкохворих, не зможуть забезпечити високі вимоги точності, гарантії якості та безпеки складних технологій, здійснювати відповідальні фізико-математичні розрахунки, наприклад, з

метою обробки та аналізу діагностичних зображень, дозиметричного планування і контролю в процесі променевого лікування.

Студенти, які пройшли практику після третього та четвертого курсів, оволодівають широким спектром необхідних теоретичних знань та практичних навичок для роботи на початкових інженерних посадах клінічних відділень та лабораторій. Поглиблена підготовка цих студентів у процесі навчання у магістратурі ще більше наближує їх до розуміння задач, покладених на медичних фізиків, та їх успішного виконання. Також на базі ДУ «ІМРО ім. С. П. Григор'єва НАМН України» студенти приймають участь у наукових дослідженнях, на основі яких пишуть та захищають атестаційні роботи бакалаврів та магістрів.

Така підготовка медичних фізиків та інженерів-фізиків практикується вже понад 15 років. За цей час були випущені висококваліфіковані спеціалісти, які зараз працюють інженерами-фізиками, медичними фізиками, інженерами-радіологами, науковими співробітниками, завідувачами лабораторій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рак в Україні 2017–2018. Бюлетень Національного канцер-реєстру України, бюл. №20.
2. Camila S. Melo, Larissa C.G. Oliveira and Paulo R. Costa Medical physics education and training in Brazil: current situation and future development // Medical Physics International Journal. – 2017. – №1. – Vol.5
3. В.А. Костылев, Б.Я. Наркевич Радиационная медицинская физика – фундаментальная основа медицинской радиологии // Радиология – практика. – 2007. – № 2.
4. Развитие специальности «Медицинская физика» в республике Беларусь // Онкологический журнал. – 2019.
5. Функции, обязанности и требования к образованию и профессиональной подготовке медицинских физиков клинической квалификации // МАГАТЭ. - Серия публикаций МАГАТЭ по здоровью человека № 25. - Вена 2014.

МІЖНАРОДНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПИТАНЬ МЕДИЧНОЇ ФІЗИКИ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ COVID-19

Л.І. Асламова*, Є.В. Куліч

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна, +380445213284, radbez@gmail.com*

Анотація. Міжнародні рекомендації з питань медичної фізики в умовах пандемії COVID-19 об'єднують матеріали для обміну знаннями та підтримки зусиль медичних фізиків з метою стримування розповсюдження COVID-19 та забезпечення безперервності надання медичних послуг. Ці рекомендації створені для допомоги медичним фахівцям, які здійснюють діяльність в галузі променевої терапії, ядерної медицини, діагностичних зображень тощо, під час глобальної пандемії. Вони включають розділи з питань використання комп'ютерної томографії грудної клітини для оцінки COVID-19, можливого дефіциту основних радіофармацевтичних препаратів для візуалізації через проблеми з логістикою, глобальні обмеження повітряного руху тощо.

Ключові слова: медична фізика, медичний фізик, пандемія COVID-19.

У грудні 2019 року новий зразок коронавірусу 2019-nCoV/SARS-CoV-2, що викликає хворобу COVID-19, було ідентифіковано із зразків нижніх дихальних шляхів кількох пацієнтів у місті Ухань, Китай [1]. Коронавірусна хвороба COVID-19 - це патогенна вірусна інфекція, яка інтенсивно розповсюджується. Вважається, що передається вона респіраторним шляхом під час тісного та незахищеного контакту. 3 лютого 2020 року Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) оголосила надзвичайну ситуацію в галузі охорони здоров'я, що викликає міжнародне занепокоєння, а 11 березня оголосила COVID-19 пандемією [2]. Загальну кількість підтверджених випадків, смертей, пов'язаних з COVID-19, постраждалих країн та загальну детальну статистику можна знайти на сайті ВООЗ - Коронавірусна хвороба (COVID-19) [2]. Усі сфери суспільства, включаючи системи охорони здоров'я, зазнали значних наслідків.

Зокрема, постачальники медичних послуг у всьому світі змушені вирішувати складні питання, приймати вкрай відповідальні та життєво необхідні рішення в умовах пандемії. Наприклад, швидко адаптувати стандартні процедури для допомоги пацієнтам із захворюванням на COVID-19, продовжуючи надавати послуги іншим хворим, відповідно до міжнародних та державних рекомендацій, наявних ресурсів, рекомендацій ВООЗ щодо програм запобігання та боротьби з інфекціями [3].

Медичні послуги продовжують надаватися протягом усієї пандемії, хоча і з кардинальними змінами щодо визначення пріоритетності допомоги та забезпечення безпеки пацієнтів та персоналу. Саме на медичних фізиків, лікарів-радіологів, рентген-лаборантів покладається забезпечення якісного проведення променевої діагностики та терапії.

Багато міжнародних установ оприлюднили свої передові напрацювання в умовах пандемії, зокрема і щодо питань медичної фізики. Одна з найперших публікацій, присвячених радіаційній онкології, вийшла з початкового епіцентру кризи, а саме з китайського онкологічного центру Хубей в Ухані [4]. У ній описуються нововведення в процедурах відстеження, контролю за різними етапами прояву інфекції, загальний робочий процес в онкологічному центрі, а головне, демонструється, як ці кроки можуть захистити пацієнтів та персонал під час піку спалаху хвороби.

Окрім друківаних матеріалів, міжнародні організації активно проводять онлайн семінари та конференції з метою як найшвидшого поширення досвіду серед світової професійної спільноти. Зокрема, для бажаючих доступні вебінари Міжнародної агенції з атомної енергії (МАГАТЕ) [5, 12].

Мільйони досліджень проводяться щорічно у всьому світі для діагностики хворих на рак, деменцію, серцево-судинні та інші захворювання. МАГАТЕ розробило керівництва для відділень ядерної медицини щодо допомоги при адаптації процедур з метою мінімізації ризику зараження COVID-19 серед пацієнтів, персоналу та населення [6]. Ці

керівництва також приділяють значну увагу ймовірному дефіциту основних радіофармацевтичних препаратів для візуалізації через проблеми з логістикою, глобальне обмеження повітряного руху. У документі викладаються рекомендації, що базуються на типовій процедурі, яку проходить пацієнт у відділенні ядерної медицини; запропоновано рекомендації на основі типової «подорожі» пацієнта відділенням.

МАГАТЕ в партнерстві з Продовольчою і сільськогосподарською Організацією Об'єднаних Націй пропонують країнам свою підтримку, експертні знання щодо використання найбільш точних лабораторних методів виявлення, відстеження, вивчення коронавірусу, зокрема, полімеразної ланцюгової реакції із зворотною транскрипцією в реальному часі (ЗТ-ПЛР в реальному часі) [7].

ЗТ-ПЛР в реальному часі - це заснований на ядерних технологіях метод виявлення присутності певного генетичного матеріалу будь-якого патогену, в тому числі й вірусу. На першому етапі виявлення генетичного матеріалу використовували радіоактивні ізотопні маркери, але в результаті подальшого вдосконалення цього методу ізотопні мітки були замінені спеціальними маркерами, найчастіше це флуоресцентні барвники. За допомогою цього методу можливо побачити результати практично відразу, ще в процесі дослідження. Проте, при проведенні звичайної ОТ-ПЦР результати доступні тільки після завершення дослідження.

Для того, щоб мінімізувати вплив на персонал, багато працівників відділень променевої онкології перейшли (де це було можливо) на дистанційну роботу, включаючи віртуальне відвідування лікаря, планування та перевірку плану лікування [8]. Інформація про ресурси та настанови щодо проведення процедур в умовах пандемії COVID-19 доступні через професійні товариства [9-13]. На даний час постійно з'являються нові випадки захворювань на COVID-19 у всьому світі, тому медичні фізики, лікарі-радіологи професійно та поступово налаштовують свою роботу в нових умовах.

Важливо відзначити, що мета всіх міжнародних рекомендацій не полягає в тому, щоб замінити будь-які локальні або національні принципи та правила чи надати вичерпних порад щодо всіх аспектів практики медичної фізики. Вони призначені виключно як порада для медичних закладів під час пандемії COVID-19.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chan JFW, Yuan S, Kok KH, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *Lancet*. –2020. – 395(10223):514–23.
2. WHO – coronavirus disease (COVID-19) Pandemic. Режим доступу: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>
3. WHO - Minimum requirements for infection prevention and control (IPC) programmes. Режим доступу: <https://www.who.int/infection-prevention/publications/min-req-IPC-manual/en/>
4. Wei W., Zhen D., Lei Y., et al. Radiotherapy workflow and protection procedures during the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) outbreak: Experience of the Hubei Cancer Hospital in Wuhan, China. *Radiother Oncol*. – 2020. – P.148. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.03.029>
5. Режим доступу: <https://www.iaea.org/covid-19>
6. Paez, D., Gnanasegaran, G., Fanti, S. et al. COVID-19 pandemic: guidance for nuclear medicine departments. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. – 2020. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04825-8>
7. Режим доступу: <https://www.iaea.org/ru/temy/covid-19>
8. Price A, Kim H, Henke LE, Knutson NC, Spraker MB, Michalski J, Hugo GD, Robinson CB, Green O. Implementing a Novel Remote Physician Treatment Coverage Practice for Adaptive Radiotherapy During the Coronavirus Pandemic. *Advances in Radiation Oncology*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2020.05.007>.
9. AAPM COVID-19 Information for Medical Physicists. Режим доступу: <https://w3.aapm.org/covid19/>
10. ASTRO COVID-19 Recommendations and Information. Режим доступу: <https://www.astro.org/Daily-Practice/COVID-19-Recommendations-and-Information>

11. ESTRO COVID-19 Resources. Режим
доступу <https://www.estro.org/About/Newsroom/COVID-19-and-Radiotherapy>
12. IAEA COVID-19: Webinars. Режим доступу:
<https://www.iaea.org/topics/health/infectious-diseases/covid-19/webinars>
13. IOMP COVID-19 Information Resource. Режим доступу:
<https://www.iomp.org/covid-19-information-resource/>

PEDAGOGICAL ASPECTS OF TEACHING STUDENTS ON THE COURSE «MEDICAL PHYSICS» AT KHARKIV NATIONAL MEDICAL UNIVERSITY

L.V. Batyuk*, G.O. Chovpan

*Department of Medical and Biological Physics and Medical Information
Science, Kharkiv National Medical University,
+380968058405, liliya-batyuk@ukr.net

Annotation: The concept of the organization of the educational process in teaching of medical physics at the Kharkiv National Medical University is considered.

Keywords: medical physics, medical hardware and software diagnostic complex, doctor, competence.

At the initial stage of training medical personnel (I and II courses of Kharkiv National University (KhNMU)), the role of physics is invaluable. The physics has contributes to the formation of such qualities of thinking of a future doctor as competence in choosing treatment approaches, flexibility, criticality, provides the information models that take into account physical processes occurring in the tissues and cells of the body and are actively used in medical practice. Physics as one of the fundamental disciplines likes as well as anatomy, chemistry, biology, and other specialized subjects, provides the necessary knowledge for conducting complex examinations of patients [1].

The purpose of the article is the development and theoretical substantiation of pedagogical and methodological support for the training of medical specialists, which the study of the course of

Medical and Biological Physics at KhNMU. Such support includes a professionally oriented basic physics course for future physicians, recommendations for the purposeful introduction of the main groups of technical devices and concepts of the Medical Hardware and Software Diagnostic Complex (MHSDC) into the content of special medical disciplines (Medical Informatics), as well as the provision of research and experimental work of medical students in the framework of their coursework preparation.

The cycle of work of a teacher with students includes the following main functions.

The first is the installation function, which is based on an introduction to the topic, setting goals, objectives, and a description of the practical usefulness, essence and interrelation of the main sections of the content material, recommendations for working with teaching aids. For the full assimilation of the material, it is necessary to provide students with textbooks and workbooks, terminological dictionaries [2], which would not be overloaded with unnecessary information, carried only the most necessary informational loads, had multifunctional, allowed the student to find the information that is of interest to him which have signs of a certain pedagogical technology and provided conditions for independent learning. Our lecture aids can be used as synopses, where the student will find the necessary comprehensive answer for each item of the work program [3, 4]. The second function is control and correction. It consists in ensuring control over the implementation of educational actions in the independent work of students, conducting individual consultations and implementing appropriate corrective actions. The third function is evaluative and expert advisory. It involves testing, assessing the knowledge and skills of students, organizing a dialogue to identify their main difficulties, the teacher's demonstration of correct actions, interaction, reference ways of working in the position of an expert or consultant. Among the methods that provide a significant strengthening of the developmental and professional role of training medical students in their professional education in medical physics, it is possible to single out a specially organized

implementation of individual and group research projects that include the main components of the MHSDC. It should be remembered that overloading with theoretical material can have the opposite effect, when, instead of a well-balanced understanding of the fundamentals of the subject, the student ceases to understand it at all. As a result, interest in studying the subject decreases, the overall academic performance of the student decreases, and interest in the study of medicine in general disappears [5].

The fourth function is pedagogical and educational. Given the lack of a clear understanding by students of what position they will work in after graduating from a medical university and uncertainty about social guarantees that should be provided by the state, the most important in the formation of high motivation for learning is teaching talent. The ability of the teaching staff of the University to interest the student in mastering the profession of a doctor, become a model for the student, a mentor to whom the student can turn for help.

Summarizing the few studies from the perspective of the presented problems of teaching Medical Physics and taking into account the specifics and complexity of teaching students at a medical university, a system of methodological conditions was proposed, which involves the phased inclusion of information in the I and II course of study at the Department of Medical and Biological Physics and Medical Information Science of KhNMU , possessing a certain developmental potential, as well as scientific and methodological significance for future medical professionals.

Building the content of the Medical Physics course, taking into account the principle of a tiered approach at this stage of training, ensures the selection of educational material, both by students and teachers, in terms of algorithms of its information capacity, and allows differentiating the depth of presentation of individual issues depending on their methodological and professional significance for narrow -directed specialization of the future doctor. The main directions of the course section regulate the content of Medical physics topics (“Radiation physics”, “Basics of dosimetry”, “Medical and biological applications of quantum-

mechanical phenomena”, “Electrodynamics”, “Fundamentals of medical equipment”, etc.) [6] and time, allotted for their study, and also distributed of the material between the basic and additional components of the course.

The condition of the motivational-target factor in the selection of educational material corresponds to the content of the course of Medical Physics and the possibility of its presentation, the psychological characteristics of students, associated, in particular, with their future professional activities of a doctor.

REFERENCES

1. Chovpan I., Chovpan G., Batyuk L.V. Methods of determination of initial level of students' knowledges on basic disciplines at higher medical educational institutions // ScienceRise: Pedagogical Education. – 2017. – № 5(13). – С. 46-50.
2. Книгавко В.Г., Зайцева О.В., Батюк Л.В. та інш. Тлумачний словник термінів з медичної та біологічної фізики. - Харків: МОЗ ХНМУ. – 2017. – 110 с.
3. Книгавко В.Г., Зайцева О.В., Батюк Л.В., Бондаренко М.А. Медицинская и биологическая физика. Лекции. Учебное пособие для иностранных студентов медицинских ВУЗов. – Харьков: ХНМУ. – 2014. – 620 с.
4. Knigavko V, Zaytseva O., Batyuk L., Bondarenko M. Medical and Biological Physics. Lectures. Textbook for foreign students of Medical Universities. – Kharkiv: Kh.N.M.U. – 2014. – 644 p.
5. Човпан Г.О., Човпан І.С., Батюк Л.В., Книгавко В.Г. Засоби поліпшення роботи зі студентами з англійською мовою навчання у медичних вузах України залежно від вхідного рівня знань та країни-донора Медична освіта. – 2017. – № 1(73). – С. 47-51.
6. Човпан Г., Книгавко В., Батюк Л. Особливості методики викладання медичної та біологічної фізики в медичних ВНЗ на прикладі розділу «Іонізуюче випромінювання» // Педагогіка і психологія професійної освіти. – 2016. – № 2. – С. 7–15.

ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В МЕДИЦИНІ В УМОВАХ COVID-19

А.О. Сесемко, К.В. Сесемко

Верховний суд, Київ, Україна, +380662199991, arkadiys@ukr.net

Анотація. Тези присвячені деяким особливостям формування та реалізації національної державної політики в сфері безпеки використання ядерної енергії, зокрема в сфері охорони здоров'я в умовах пандемії COVID-19. Одним із пріоритетних завдань сьогодення є вивчення та поширення передового досвіду для медичних фахівців, які працюють у галузях променевої терапії, ядерної медицини та діагностики, зокрема при комп'ютерній томографії грудної клітини, що широко застосовується при підозрі на коронавірусну інфекцію.

Annotation. These are devoted to some features of formation and implementation of the national state policy in the field of safety of nuclear energy use, in particular in the field of health care in the conditions of the COVID-19 pandemic .One of the priority tasks today is to study and disseminate best practices for medical professionals working in the fields of radiation therapy, nuclear medicine and diagnostics, in particular in chest computed tomography, which is widely used in suspected coronavirus infection.

Ключові слова: пріоритетні завдання, медицина, медичне опромінення, джерело іонізуючого випромінювання, рівень небезпеки, державна політика, правове регулювання, радіаційна безпека, дозвільна діяльність, пандемія, COVID-19.

Key words: priority tasks, medicine, medical irradiation, source of ionizing radiation, level of danger, state policy, legal regulation, radiation safety, permitting activity, pandemic, COVID-19.

Активне впровадження інноваційних медичних технологій з використанням джерел іонізуючого випромінювання вплинуло на збільшення в кілька разів колективної дози опромінення населення. Сьогодні джерела іонізуючого випромінювання широко використовуються не тільки в променевій терапії та рентгенодіагностиці, а й у інших галузях медицини. Розвиток отримала інтервенційна

радіологія, ПЕТ та ряд нових лікувальних та профілактичних радіаційних технологій [1].

З урахуванням наявного міжнародний досвіду, спираючись на комплекс національних правових норм щодо підвищення ефективності дії обмежувальних протоколів поведінки громадян під час пандемії, надійного забезпечення прав фізичних та юридичних осіб під час карантину, Кабінетом Міністрів України було затверджено низку невідкладних цілеспрямованих заходів щодо виваженого реагування суспільства на поширення в світі глобальної транснаціональної загрози - епідемії COVID-19. Зокрема, відповідно до статті 29 Закону України “Про захист населення від інфекційних хвороб” у постанові Кабінету Міністрів України від 22.07.2020 № 641 “Про встановлення карантину та запровадження посилених протиепідемічних заходів на території із значним поширенням гострої респіраторної хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2” [2].

На позачергових засіданнях Державної комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій, обласних та у м. Києві комісій, були ухвалені рішення “Про стан забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення України”, що безпосередньо спрямовані на стримування та подальшу стабілізацію епідемічної ситуації в країні та на її кордонах.

Згідно до вимог частини третьої ст.32 Закону України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку” ліцензіат несе всю повноту відповідальності за радіаційний і фізичний захист та безпеку ядерної установки, об'єкта, призначеного для поводження з радіоактивними відходами, іншого джерела іонізуючого випромінювання, зокрема й у медичній сфері, незалежно від діяльності та відповідальності постачальників і органу державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки.

Разом з тим, в умовах поширення пандемії COVID-19 в світі та Україні у відповідності з положеннями Конвенції про

фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок, на Держатомрегулювання України покладені обов'язки щодо забезпечення на всіх рівнях безперервності виконання функцій державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки, зокрема й при використанні джерел іонізуючого випромінювання в сфері охорони здоров'я.

Дещо ускладнюють ситуацію із забезпеченням безпечного використання джерел іонізуючого випромінювання в медицині ряд тимчасових обмежень, затверджених у протоколах поведінки фізичних та юридичних осіб в умовах пандемії. Зазначені обставини не повинні суттєво впливати на перебіг строків звернення за отриманням адміністративних послуг та надання цих послуг, безумовне дотримання вимог ядерної та радіаційної безпеки у сфері використання ядерної енергії в медицині. Однак, і в умовах карантину персонал, що має обов'язки реагування на аварійні ситуації з ризиком радіаційного фактору небезпеки, у разі необхідності, зобов'язаний діяти згідно аварійних планів об'єктів, з урахуванням медико-біологічної надзвичайної ситуації природного характеру державного рівня.

В умовах поширення пандемії COVID-19 важливою є роль МАГАТЕ щодо подальшого підвищення ефективності забезпечення правового регулювання безпечного використання джерел іонізуючого випромінювання в медицині. Зокрема, в червні поточного року МАГАТЕ підготувало та розповсюдило нове актуальне керівництво для дій медичних фізиків в сучасних умовах карантину [3]. Окрім основної інформації про ядерні або радіаційні надзвичайні ситуації, зазначене керівництво розроблено як допоміжний посібник для цих фахівців щодо реагування на ядерну чи радіологічну аварійну ситуацію.

Навчально-науковий центр радіаційної безпеки Київського національного університету імені Тараса Шевченка разом з Всеукраїнським об'єднанням медичних фізиків та інженерів (ВОМФІ) активно долучився до діяльності МАГАТЕ щодо подолання пандемії COVID-19.

Фахівці цих установ беруть участь у вебінарах МАГАТЕ, що об'єднують експертів для обміну знаннями та підтримки зусиль для стримування розповсюдження коронавірусу, забезпечення безперервності надання онлайн послуг з навчання та підвищення кваліфікації з радіаційної безпеки в умовах пандемії [4-6], поширення передового досвіду для медичних фахівців, які працюють у галузях променевої терапії, ядерної медицини та діагностики (комп'ютерна томографія грудної клітини широко застосовується при підозрі на COVID-19).

За результатами участі в зазначених вебінарах підготовлено огляд рекомендацій МАГАТЕ щодо подолання пандемії COVID-19. Зважаючи на щорічне проведення в світі понад 30 млн діагностичних досліджень онкохворих, осіб із серцево-судинними захворюваннями тощо, МАГАТЕ з метою мінімізації ризику зараження COVID-19 серед пацієнтів, персоналу та населення розробило методичні рекомендації та практичні настанови для фахівців відділень ядерної медицини [7].

Зважаючи на особливе значення юридичного супроводження нормативно-правового забезпечення функціонування державної системи фізичного захисту в умовах пандемії, Навчально-науковий центр радіаційної безпеки Київського національного університету імені Тараса Шевченка постійно поширює інформацію про заходи МАГАТЕ та відповідні рекомендації серед українських фахівців, які використовують джерела іонізуючого випромінювання в різних галузях, особливо в сфері охорони здоров'я.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.iaea.org/>
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 22.07.2020 № 641 “Про встановлення карантину та запровадження посилених протиепідемічних заходів на території із значним поширенням гострої респіраторної хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2”.

3. IAEA VIENNA, June 2020 “Pocket guide for medical physicists supporting response to a nuclear or radiological emergency”.
4. <https://www.iaea.org/covid-19>.
5. <https://www.iaea.org/topics/health/infectious-diseases/covid-19/webinars>.
6. <https://www.iaea.org/resources/webinar/covid-19-and-chest-ct-protocol-and-dose-optimization>
7. Paez, D., Gnanasegaran, G., Fanti, S. et al. COVID-19 pandemic: guidance for nuclear medicine departments. Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging (2020). <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04825-8>

КАРАНТИННІ МЕДФІЗИЧНІ АСОЦІАЦІЇ

І.П. Дряпаченко

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна
+380675380114, korohi00@gmail.com*

Анотація. В роботі розглядаються спроби і необхідність врахування та використання науково-технологічного досвіду при розв’язанні медико-соціальних проблем масштабу від самоізоляції особи до планетарної глобалізації. Розглядаються, майже дивовижні, аналогії виникнення, розвитку та регулювання ядерно-фізичної галузі й найостанніших подій перебігу всесвітньої коронавірусної пандемії з критичною залежністю від освіченості, інформатизації та соціальної свідомості суспільства. Об’єктивною реальністю стає зростання соціально-професійної участі медичних фізиків у супроводі здорового, безпечного, свободного життя і розвитку суспільства.

Ключові слова: глобалізація, ядерна зброя, пандемія, інформатизація, медична фізика, професійний науково-технологічний супровід.

Все нове – це дуже добре забуте старе. Прадавня банальна приказка була узагальнена великим філософом Гегелем проголошенням поступу людства по спіралі за наявності необерненого інтелектуального, технологічного і матеріального розвитку. З подякою за чудову філософську знахідку скористаємося нею.

У 1918 році у воюючу Європу прийшов грип, до речі, кажуть, теж з Китаю, який забрав життя декількох десятків мільйонів людей. Рівно через сто років (найулюбленіший аналітиками період діалектичної спіралі) коронавірусна інфекція через ті ж Китай, Європу і ...глобалізацію накрила всю планету. Для нас в Україні це й ще та сама кривава війна. На зараз офіційна статистика ВООЗ свідчить про без малого мільйон жертв covid-19, що, мабуть, все ж в десятки разів менша за 1918 рік. Це прямий результат цивілізаційного поступу людства, бо за експоненціального контактного розвитку інфікування був би повторений, якщо не перевищений, результат сторічної давнини.

Далі, як для мене, взагалі починається якась, дозвольте таке словосполучення, медфізична містика. Я маю на увазі не просто асоціативні паралелі щодо двох природних явищ – ядерного випромінювання й вірусної інфекції, а й однакові методи і засоби, необхідні для поводження з ними. Всі ми з вами бачили красиві вірусні кульки зі шпичками різноманітної форми. Ніхто, навіть з фізиків, не бачив частинок ядерного випромінювання, хоча за допомогою їх пучків з прискорювачів, повірте, роблять чудові фільтри, навіть і для ...пива. Ці невидимі «медфізичні» частинки поза сумнівом смертельно небезпечні і вимагають «шанобливого» поводження – *на відстані і в засобах індивідуального захисту*. Повірте, це пряма цитата із вимог радіаційної безпеки. Але як кажуть – краще один раз побачити, ніж сто раз почути.



Рис.1 АЕС Три Майл Айленд, США (1979 р.).

Зараз всі ми бачимо світлини і відео ковідних, як їх називають, медпрацівників в захисному одязі. З досвіду носіння кожним з нас простої маски можна тільки здогадуватися, як важко працювати, ба більше, щось робити в цих ізолюючих костюмах. Я хочу для порівняння навести світлини 40-річної давнини щодо ліквідації наслідків радіаційної аварії на одному з блоків атомної електростанції в США

(Рис.1). Майже в космічних скафандрах люди швабрами миють приміщення. Проїшло сім років і трапилась аварія на ЧАЕС. Тут, вибачте, було вже не до підлоги. Розкидані смертоносні уламки тепловиділяючих елементів треба було прибрати. Не швабрами, але теж нехитрими – лопатами (Рис.2), одягнені відповідно солдати (саме тоді із голлівудських фільмів прийшло до нас слово – кіборг) намагалися, краще в межах тридцяти секунд, підхопити їх на даху і скинути вниз. Ходка, вибачте, була одна й закривала трирічний термін призову. Не зміг обійти ще одну світлину щодо цих подій 1986-го року. Через одну гіпотетичну небезпеку під зруйнованим реактором шахтарі і метробудівельники



Рис. 2 ЧАЕС (1986 р.).



Рис.3 Роботи на ЧАЕС (1986 р.).

форсовано робили тунель для створення кількадециметрової бетонної прокладки під четвертим блоком. Вже тоді молоді люди користувалися засобами індивідуального захисту, як антиприклад для сьогоденної коронавірусної ситуації (Рис.3).

Як протилежний приклад, якщо не наслідування, а усвідомленої необхідності, я

наведу сучасні світлини двох китайських дівчат, які тільки звільнилися від засобів захисту після, мабуть, багатогодинної праці в ковідних умовах (Рис.4).

Але найбільше враження, яке й вмотивувало цю доповідь, призвела інформація зі Сполучених Штатів про створення секретної групи американських вчених і мільярдерів, яка просуває «Манхетенський проект» по Covid-19 [1]. Після подвійного перекладу я дозволю собі фрагментарне цитування. Ці вчені та їх прихильники



Рис. 4 Китайські медсестри після зміни.

називають свою роботу "Манхетенським проектом епохи ізоляції", відсилаючи до роботи групи вчених часів Другої світової війни, які брала участь в розробці атомної бомби. На

цей раз вчені об'єднують мізки і гроші, щоб витягти квінтесенцію з неортодоксальних ідей, зібраних з усього світу. Вони називають себе Scientists to Stop Covid-19 (Вчені за зупинку Covid-19), і в їх число входять хіміки-біологи, імунобіологи, нейробіолог, хронобіолог, онколог, гастроентеролог, епідеміолог і вчений-ядерник. "Немає сумнівів, що я найменш кваліфікований з них", - говорить про себе і про вчених, що входять в проект, біолог Майкл Росбаш, лауреат Нобелівської премії 2017 року. Групу очолює Том Кехілл, 33-річний лікар, який став венчурним інвестором. У нього виявилося досить високих зв'язків, щоб вплинути на рішення уряду у війні проти Covid-19. Розповідаючи про шляхи доктора Кехілла, газета зазначає, що спочатку він захопився інвестиціями, особливо в області медико-біологічних наук. Він вважав, що зможе надати більший вплив, якщо буде виявляти перспективних вчених і допомагати їм вирішувати проблеми - як наукові, так і фінансові, ніж якщо сам буде займатися дослідженнями [2].

На підтвердження не тільки асоціативним зв'язкам ядерної і медичної фізики наведу свіжі приклади їх продуктивної взаємодії. Так науковці Північно-Західного університету (Іллінойс, США) отримали надстійкі до радіації речовини, ввівши атоми селену всередину молекул природного пігменту меланіну. Це поєднання дозволило захистити окремі клітини і мікроорганізми від смертельних доз іонізуючого випромінювання. Відомо: в шкірі людини меланін виступає в ролі головного захисту від радіації - він ефективно вловлює УФ-випромінювання.

Дана властивість навіть змусила співробітників NASA розглянути природні джерела меланіну як один із засобів захисту від космічної радіації.

Вчені спробували зрозуміти, яка з п'яти природних різновидів цього пігменту - жовтий феомеланін, коричневий еумеланін, чорні алломеланін і нейромеланін або ж бежевий піомеланін - найкраще поглинає рентгенівське випромінювання....

Завдяки селеномеланіну (Рис.5) вдалося уникнути появи безлічі пошкоджень в ДНК клітин (захист від радіації в

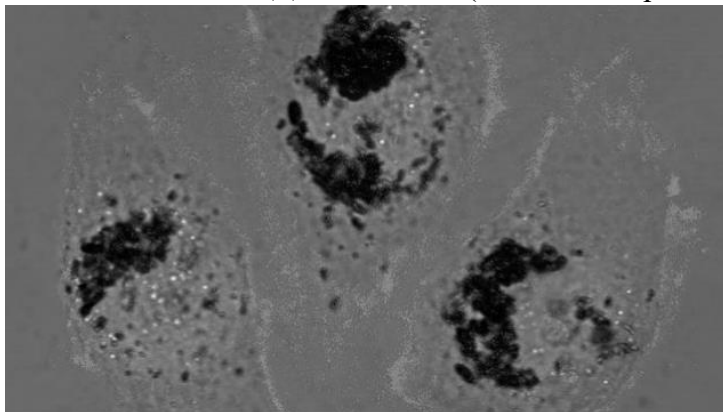


Рис. 5 Клітини людини, оброблені наночастинками селеномеланіну

середньому працював у 2-3 рази краще, ніж при використанні еумеланін феомеланина). Більш того, клітини продовжили розмножуватися тільки в тих випадках, коли в місці їх існування були наночастинки з селеномеланіну [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Роб Коупленд / The Wall Street Journal // <https://www.wsj.com/articles/the-secret-group-of-scientists-and-billionaires-pushing-trump-on-a-covid-19-plan-11587998993>
2. <https://www.inopressa.ru/article/28Apr2020/wsj/scientists.html>
3. Mark Heiden / New biomaterial could shield against harmful radiation // <https://news.northwestern.edu/stories/2020/07/new-biomaterial-could-shield-against-harmful-radiation-selenomelanin/>

**ASSESSMENT OF DOSE LOADS AND RADIATION
RISKS OF PATIENTS AFTER PET/CT SCANNING**

D. Zaredinov¹, M. Li^{2,*}

¹*Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan*

², **Tashkent Institute of Postgraduate Medical Education Tashkent,
Uzbekistan, +(99)(890)9084737, marina.li@uzliti-en.com*

Abstract: this article presents data on positron emission tomographic studies, combined with computed tomography, radiation doses and risks of patients who underwent diagnostic examinations at the private PET/CT center "New Life Medical" in Tashkent. This center is the first in Uzbekistan, opened in 2018. Equipped with its own cyclotron and a department for the production of radiopharmaceuticals.

Key words: positron emission tomography, computed tomography, single irradiation, PET/CT diagnostics, effective patient dose, radiopharmaceutical, oncological morbidity.

Relevance. The implementation of the state Program for the further development of the oncological service and the improvement of oncological care for the population of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021, approved by the decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated April 4, 2017 No. PP-2866, contributes to increasing the acceptability of the positron emission tomography (PET) diagnostic procedure for the population [1]. One of the most common methods of radionuclide diagnostics today is positron emission tomography combined with computer tomography (PET/CT). PET/CT allows you to study not only metabolic processes in tumors, but also to visualize the morphological structure of various neoplasms. Hybrid PET/CT technology combines functional and anatomical imaging, provides a clear picture of the body's functioning and is widely used for oncological imaging and detection of inflammatory diseases, as well as in some neurological, cardiological examinations and vascular imaging. World experience shows that according to the

results of PET scanning, the treatment plan is changed for 43.1% of patients [2].

The capabilities of PET/CT-diagnostics largely depend on the arsenal of radiopharmaceuticals (RFP): different compounds and radionuclides are required to study different organs and diagnose different diseases. The injected RFP is quantitatively determined by the degree of accumulation in the studied organ or in the entire body of the patient. The PET method has found the greatest application in oncology for the diagnosis and staging of the disease, as well as for planning and evaluating the effectiveness of anticancer treatment [3].

However, the high diagnostic information content of this method is associated with high doses of radiation to patients [4]. But it should be noted that in terms of the effect on the body, PET examination is not more harmful than the usual CT scan, and the possible benefits of early diagnosis may be equal to the saved life [5].

The effective dose is used in the radiation protection system as a measure of the risk of long-term consequences of exposure to ionizing radiation. It is calculated taking into account the relative biological effectiveness of different types of radiation and different radiosensitivity of organs and tissues. In medical exposure, this value makes it possible to compare the patient's exposure levels for different diagnostic methods, which is especially important in combined studies.

According to foreign sources of information, the effective doses in PET/CT - diagnostics reach 20-30 mSv per study, while the equivalent doses in individual organs and tissues may exceed the effective dose by several times [6].

In Uzbekistan, there is no information on the structure of diagnostic procedures and on the radiation doses of patients during PET/CT examination, because the development of this area of nuclear medicine has just begun.

The aim of the investigation was to assess the dose loads and radiation risks of patients during hybrid diagnostic PET/CT studies.

Materials and research methods. For the research, data from the private PET/CT center "New Life Medical" in Tashkent were used. This center uses a radiopharmaceutical - fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG), which contains the radioactive isotope Fluorine-18.

Information was obtained by interviewing the personnel of PET diagnostics departments, analyzing work logs, PET/CT scanning protocols, which contained information about the RFP activities administered, patient radiation doses.

The effective dose of patients from a combined PET/CT scan was determined as the sum of the doses of internal radiation from the injected radiopharmaceutical and external radiation from the X-ray CT scan. The internal dose of the patient also depended on the RFP activity, half-life and the radiation energy of the radionuclide. The dose of external radiation to the patient was determined by the scanning area of the patient's body and the parameters of the CT examination.

The effective dose (mSv) of internal irradiation of the patient from the injected RFP was calculated by multiplying the value of the activity of the RFP (MBq) administered to a patient by the dose coefficient (mSv/MBq). The dose coefficient is the effective dose from the administration of 1 MBq of the given RFP to the patient. For ^{18}F -FDG, the dose factor is 0.019 mSv/MBq [7-8].

Determination of the standard effective dose (mSv) of external exposure from CT scanning was determined by multiplying the DLP value (dose length product - the product of the dose by the length, mGy cm) by the dose coefficient of the investigated area of the human body (mSv/(mGy cm)).

Results and discussion. At present, medical cyclotron of the private PET/CT center "New Life Medical" produces only one radioactive isotope Fluorine-18, although the technical capabilities allow the production of other short-lived radioactive isotopes, if necessary and with a minor upgrade of the cyclotron. Then the RFP is synthesized - ^{18}F -FDG, which is used for the diagnosis of cancer.

In 2019, a PET/CT scan was performed on 2600 patients with malignant neoplasms or suspected of having them. According to age, patients were distributed as follows: up to 18 years old - 90 patients (3.5%), 18-64 years old - 1898 people. (72.9%), 65 years and older - 615 people. (23.6%). The scatter of ^{18}F -FDG activities administered to patients in the study of the patient's whole body was from 100 to 351 MBq, on average - 280 MBq. The average effective dose received by patients with a single PET/CT scan was: up to 18 years old - 7 mSv, 18-64 years old - 20 mSv, 65 years and older - 22 mSv.

The effective doses of internal irradiation of patients in whole body studies ranged from 3.8 to 7.4 mSv.

Modern PET/CT - devices allow you to obtain a combined image of the distribution of RFP in the patient's body and CT scanning in one procedure. The X-ray CT image during PET examination is used to correct the attenuation (weakening) of radioisotope radiation in the patient's body, as well as to anatomically link the distribution of the RFP to certain organs. The latter implies that the CT scan area cannot be smaller than the PET scan area, most often they coincide. These tasks are performed in a low-dose CT scan mode. The diagnostic mode allows for complete CT diagnostics, but generates a higher radiation dose for the patient. External radiation doses from CT scans for whole body PET/CT scans were in the range of 6-25 mSv.

The radiation risk of long-term stochastic (carcinogenic and hereditary) consequences for the health of a patient of a certain age group during medical exposure was calculated on the basis of the effective dose using the nominal International Commission on Radiological Protection (ICRP) risk coefficients adjusted for age-related radiosensitivity and amounted to: for patients under 18 years old - $91.77 \cdot 10^{-5}$ (9.1 cases per ten thousand people), 18-64 years - $102.6 \cdot 10^{-5}$ (10.2 cases per ten thousand people), 65 years and older - $12.54 \cdot 10^{-5}$ (1, 2 cases per ten thousand people).

According to the international scale of radiation risks, the data obtained can be classified as a low lifetime risk to a patient's

health associated with medical intervention in the form of diagnostic tests or treatment procedures.

Conclusions:

As a result of the work, the effective doses of patients with a single PET/CT examination of the whole body were estimated, which averaged 17 mSv.

The contributions of doses from internal and external radiation to the total radiation dose of a patient during a single PET/CT examination were evaluated. External exposure due to CT scanning makes the greatest contribution to the total dose of radiation to the patient in the study of the whole body: from 65 to 80%.

The obtained calculations of radiation risks to the health of patients with PET/CT scanning were assessed as low according to the international scale.

According to the current regulatory and legal documents of the Republic of Uzbekistan on ensuring the radiation safety of the population, the appointment and conduct of medical radiodiagnostic and radiotherapy procedures should be justified, since radiation can cause radiation damage to the patient's health.

Thus, the assessment of dose loads during a single PET/CT examination is extremely relevant and necessary for calculating the annual effective dose.

REFERENCES

1. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan No. PP-2866 dated April 4, 2017 "On measures for the further development of the oncological service and the improvement of oncological care for the population of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021".
2. Kostylev V.A. Status and development prospects of positron emission tomography methods in Russia // Medical Physics. - 2015. - No. 2. - P. 5-16.
3. Santiago Jonas Francisco I. Positron emission tomography with computed tomography (PET / CT) // Tutorial. - Moscow, 2017.- 132 p.
4. Golikov V.Yu., Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Sarycheva S.S. Additions and changes in the assessment of effective doses of external exposure to patients in medical research // Radiation hygiene. –2019. - T 12, No. 43 - P. 120-132.

5. Menyailo A.N, Chekin S.Yu., Kascheev V.V. Lifetime radiation risk as a result of external and internal exposure: an assessment method // Radiation and risk. - 2018. - Т 27, No. 1. - P. 8–21.
6. Vodovatov, A.V., Kamyshanskaya A.V., Drozdov A.A. A new approach to the definition of a standard patient to optimize the protection of patients from medical exposure // Radiation hygiene. –2014. - Т 7, No. 4. - P. 104-116.
7. Methodological instructions.6 / 1 / 3151-13 “Assessment and accounting of effective doses in patients during radionuclide diagnostic studies. - Moscow, 2014. -37 p.
8. Kashcheev V.V., Pryakhin E.A. Medical diagnostic exposure: the problem of radiation safety // Radiation and risk. - 2018. - Т 27, No. 4. - P. 49–64.

МЕТОДИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ КУЛЬТУРИ БЕЗПЕКИ

**Ю.М. Скалецький¹, М.М. Риган², С.В. Протас¹,
П.М. Михайленко¹, Р.П. Брухно³, А.М. Штаюра⁴**

¹ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М.Марзєєва НАМН
України», Київ, Україна

²Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ,

³Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

⁴Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна, yns53@i.ua; +38067 368 48 05

Анотація. У роботі обговорюються проблеми методичної підтримки процесу впровадження культури безпеки і шляхи її вирішення.

Ключові слова: культура безпеки, методичне забезпечення, безпечне лікування середовище.

Сьогодні практично повсюдно визнано, що формування всеосяжної культури безпеки є необхідною умовою ефективного забезпечення довгострокової безпеки практично в усіх сферах [1, 2]. Охорона здоров'я не є винятком [3].

Хоч світова спільнота відзначила вже 30-ту річницю створення концепції культури безпеки [4], а напрацювання з культури безпеки сягають сотень видань, але це переважно

грунтовні праці для фахівців з промислової безпеки, охорони праці, безпеки пацієнтів [5].

МАГАТЕ, яке було ініціатором розробки та впровадження у сфері використання ядерних технологій концепції культури безпеки і яке сформувало практично найдосконалішу теоретичну і методичну базу щодо культури безпеки [6], також досі не опрацювало документа, прийнятного за обсягом і простотою для широкого загалу працівників різних рівнів освіти та практичного досвіду.

У зв'язку з цим навіть вітчизняні атомні електростанції [7] та підприємства атомної енергетики інших країн намагаються заповнити цю нестачу, пропонуючи свої методичні документи з культури безпеки.

Тобто залишаються надзвичайно витребуваними практично у всіх сферах людської діяльності документи з методики впровадження і покращення культури безпеки.

Зважаючи на це, у 2016 році Міжнародна організація праці (МОП) видала керівництво з формування культури охорони праці [8], але суть його зводиться лише до пояснення того, як останні конвенції та інші документи МОП можна використати для постійного підвищення культури безпеки та гігієни праці.

Більш розширене трактування процесу впровадження культури безпеки та гігієни праці надає у своєму недавньому виданні Британський інститут охорони праці і здоров'я [9]. Серед іншого в цьому керівництві наводяться приклади належних практик покращення культури безпеки в окремих компаніях.

Близьке за структурою керівництво з упровадження культури безпеки Міжнародної палати судноплавства [10]. При цьому велика увага в ньому приділяється культурі звітування, і насамперед реєстрації майже інцидентів. Але загалом документ нагадує заяву цієї міжнародної інституції про прихильність культурі безпеки.

Аналогічне за тематикою видання департаменту транспорту США [11] також має більше просвітницьку, ніж

практичну спрямованість. Позитивним у ньому є алгоритм розробки стратегії з покращення культури безпеки.

Керівництво Міжнародної асоціації соціального забезпечення, відоме як «VISION ZERO» [12], хоч і призначене для формування культури безпеки, однак містить лише загальні рекомендації щодо її формування.

Велика робота з аналізу досвіду багатьох галузей з упровадження культури безпеки представлена в посібнику, підготовленому для працівників нафтогазової сфери Росії, де також викладено складні для розуміння поняття простою мовою [13]. Та знову ж таки і цей документ страждає на відсутність конкретних підходів до мобілізації людського чинника на користь безпеки.

При тому, що ВООЗ у багатьох випадках демонструє прихильність культурі безпеки, окремого документа про те, як розвивати таку культуру на користь безпеці пацієнтів і персоналу, поки що не представила.

Рекомендовані ВООЗ контрольний перелік з хірургічної безпеки, контрольний перелік з безпечних пологів, керівництво з гігієни рук в охороні здоров'я можна вважати лише окремими інструментами формування безпечного лікарняного середовища.

Вдалою спробою заповнити цю прогалину в медичній сфері є спільна розробка відповідного керівництва Американським коледжем керівників охорони здоров'я і Національним фондом безпеки пацієнтів [14].

Можна погодитися з авторами зазначеного документа, що він є корисним інструментом для керівників з оцінки та просування в лікарняних закладах концепції культури безпеки. Проте для медичного персоналу цей документ навряд чи буде цінним.

Таким чином, об'єднавши позитивні елементи кожної з вищеперелічених робіт, є можливість у найближчому майбутньому укласти надзвичайно витребуваний практикою своєрідний «буквар» з формування і покращення культури безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Развитие культуры безопасности. Рабочий документ. Пункт 2 повестки дня. Будущие подходы к управлению факторами риска для авиационной безопасности. Вторая конференция высокого уровня по авиационной безопасности (HLCAS/2). Монреаль, 29–30 ноября 2018 г. URL : <https://www.icao.int/Meetings/HLCAS2/Documents/PROMOTING%0SECURITY%20CULTURE.RU.pdf>.
2. Volkan Arslan. Safety culture assessment and implementation framework to enhance maritime safety. Volkan Arslan, Rafet Emek Kurt, Osman Turan, Louis De Wolff. Transportation Research Procedia 14 (2016) 3895 – 3904. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516304847>.
3. Gandhi TK. Zero harm in health care. TK Gandhi, D Feeley, D Schummers. NEJMCatalyst Innovations in Care Delivery. 2020 Mar/Apr;1(2). [Published online February 19, 2020]. URL : <https://catalyst.nejm.org/doi/abs/10.1056/CAT.19.1137>
4. Human and Organizational Aspects of Assuring Nuclear Safety — Exploring 30 Years of Safety Culture. Proceedings of an International Conference Vienna, Austria, 22–26 February 2016. IAEA, V ENNA, 2019. URL : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1810_web.pdf
5. Barre C. Safety Culture. From Understanding to Action. C. Barre, F. Berrocal, D. Besnard. Institut pour une culture de sécurité industrielle. 2018. 131 p. URL : https://www.icsi-eu.org/documents/88/csi_1801-safety_culture_from_understanding_to_action.pdf.
6. Safety culture in nuclear installations Guidance for use in the enhancement of safety culture. IAEA. Vienna: IAEA. 2002. 98 p. URL : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1329_web.pdf.
7. Культура безопасности. Учебное пособие. К.: НАЭК «Энергоатом». 2005. 63 с.
8. Формирование культуры охраны труда. МОТ. 2016. URL : https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/ed_norm/normes/documents/publication/wcms_525546.pdf.
9. Promoting a positive culture. A guide to health and safety culture. Institution of Occupational Safety and Health. 2015. URL : https://www.academia.edu/34269044/Promoting_a_Positiveculture_A_guide_to_health_and_safety_culture.
10. Implementing an effective safety culture. Basic Advice for Shipping Companies and Seafarers. International chamber of shipping. 2013. URL : <https://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/safety->

security-and-operations/implementing-an-effective-safety-culture.pdf?sfvrsn=8/.

11. Safety Culture: A Significant Influence on Safety. U.S. Department of Transportation. 2017. 56 p. in Transportation. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/32538/dot_32538_DS1.pdf.

12. VISION ZERO. Семь «золотых правил» производства с нулевым травматизмом и с безопасными условиями труда. Руководство для работодателей и менеджеров. МАСО. 2017. Режим доступа: http://visionzero.global/sites/default/files/2017-11/5-Vision_zero_Guide-Web.pdf.

13. Навигатор по основам культуры безопасности. Демченко В., Сотникова Ю. Нафтогазстройпрофсоюз России. 2019. Режим доступа: http://www.rogwu.ru/content/bl_files_docs/%D0%9A%D0%91%2004.04.19%20%D0%BD%D0%B0%2014.40%20%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%87%D0%B0%D1%82.pdf/.

14. Leading a Culture of Safety: A Blueprint for Success. American College of Healthcare Executives. The National Patient Safety Foundation at the Institute for Healthcare Improvement. 2017. URL: https://www.osha.gov/shpguidelines/docs/Leading_a_Culture_of_Safety-A_Blueprint_for_Success.pdf.

ПРО ДЕЯКІ АСПЕКТИ НАДАННЯ ДОЗВОЛУ (САНІТАРНОГО ПАСПОРТУ) НА РОБОТИ З РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ ТА ІНШИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**О.М. Рубан, С.В. Бірюков, Д.О. Байраченко,
С.В. Ковальова**

Головне управління Держспродспоживслужби в м. Києві, м. Київ

Анотація. Відповідно до законодавства дозвіл на проведення робіт з джерелами іонізуючого випромінювання є документом дозвільного характеру. Видача дозволу (санітарного паспорту) здійснюється через центри надання адміністративних послуг, утворені згідно із Законом України «Про адміністративні послуги».

Ключові слова: дозвіл, санітарний паспорт, адміністративна послуга, джерело іонізуючого випромінювання, радіаційна безпека.

Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (далі – Держпродспоживслужба) відповідно до покладених на неї завдань у випадках, встановлених законодавством, видає документи дозвільного характеру, передбачені Законом України «Про Перелік документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності» від 19.05.2011 №3392-VI (далі – Закон) [1].

Законом до вищевказаного переліку документів дозвільного характеру включено дозвіл на проведення будь-яких діагностичних, експериментальних, випробувальних, вимірювальних робіт на підприємствах, в установах, організаціях, діяльність яких пов'язана з використанням біологічних агентів, хімічної сировини, продукції та речовин з джерелами іонізуючого та неіонізуючого випромінювання і радіоактивних речовин.

Головне управління Держпродспоживслужби в м. Києві є територіальним органом Держпродспоживслужби, повноваження якого поширюються на територію міста Києва.

У відповідності до Законів України «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» від 06.09.2005 №2806-IV [2], «Про адміністративні послуги» від 06.09.2012 5203-VI [3], розпорядження Кабінету Міністрів України КМУ від 16.05.2014 №523-р «Деякі питання надання адміністративних послуг органів виконавчої влади через центри надання адміністративних послуг» [4], Головне управління здійснює видачу документів дозвільного характеру, в т.ч. дозволу (санітарного паспорту) на роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання (далі - ДІВ), через міський та районні центри надання адміністративних послуг.

У відповідності до Закону наказом Головного управління від 16.12.2019 №55-АГ затверджена інформаційна картка адміністративної послуги з видачі дозволу (санітарного паспорта).

Інформаційна картка містить інформацію про Головне управління, як суб'єкт надання адміністративної послуги, та центри надання адміністративних послуг (найменування, місцезнаходження, режим роботи, телефон, адреса електронної пошти та веб-сайту), нормативно-правові акти, якими регламентується надання адміністративної послуги, вичерпний перелік документів, необхідних для отримання адміністративної послуги, порядок та спосіб їх подання, термін надання та умови отримання адміністративної послуги, розмір та порядок внесення плати (адміністративного збору) за адміністративну послугу, можливі способи отримання відповіді (результату).

Також у інформаційній картці наведений перелік підстав для відмови у наданні адміністративної послуги.

Визначений строк надання адміністративної послуги з видачі дозволу (санітарного паспорту) становить 10 робочих днів.

Нормативними актами, що регламентують порядок видачі дозволу (санітарного паспорта) є «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України», затверджені наказом МОЗ України від 02.02.2005 №54 (далі – ОСПУ-2005) та Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур», затверджені наказом МОЗ України від 04.06.2007 №294 (далі – ДСанПіН 6.6.3.150-2007) [5, 6].

У відповідності до п.1.13 ОСПУ-2005, дозвіл – дозвільний документ, що видається державною санітарно-епідеміологічною службою МОЗ України у формі санітарного паспорту на право проведення робіт з джерелами іонізуючих випромінювань в установах України, який засвідчує виконання вимог санітарного законодавства щодо забезпечення протирадіаційного захисту персоналу в робочих приміщеннях і на робочих місцях, а також щодо протирадіаційного захисту населення від діяльності з ДІВ [5].

Згідно п.1.5 ДСанПіН 6.6.3.150-2007, санітарний паспорт – дозвіл державної санітарно-епідеміологічної служби України на право проведення робіт з джерелами іонізуючого випромінювання в лікувально-профілактичних закладах фізичними особами - суб'єктами підприємницької діяльності, які здійснюють рентгенологічні процедури, що засвідчує виконання вимог санітарного законодавства щодо забезпечення протирадіаційного захисту персоналу та пацієнтів [6].

Головним управлінням за період 2017-2019 рр. було видано 527 дозволів (санітарних паспортів). За 8 місяців 2020 року за результатом розгляду 271 заяви та доданих до них документів суб'єктам господарювання видано 153 дозволів (санітарних паспортів) та надано 118 відмов з їх видачі.

У значній кількості обґрунтованою підставою для відмови в оформленні дозволу (санітарного паспорта), було не надання суб'єктом господарювання документів, що передбачені інформаційною карткою адміністративної послуги, в т.ч. копії документів, що підтверджують рівень знань персоналом норм і правил з радіаційної безпеки, необхідний для роботи з джерелами.

Слід відзначити, що вимоги до проведення навчання і перевірки знань з питань радіаційної безпеки у персоналу і посадових осіб, які забезпечують радіаційну безпеку, суб'єктів діяльності з виробництва, використання джерел іонізуючого випромінювання тощо, визначені Порядком проведення навчання і перевірки знань з питань радіаційної безпеки у персоналу і посадових осіб суб'єктів окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії, затвердженим наказом Державної інспекції ядерного регулювання України від 02.10.2014 №143 [7].

Також відмови надавались на підставі негативного висновку за результатами обстежень приміщення суб'єктів господарювання, в яких проводяться роботи з джерелами іонізуючих випромінювань медичного, промислового або науково-дослідного характеру.

Перше за все це стосується приміщень, що потребують проведення ремонтних робіт, не обладнаних вентиляційними системами згідно вимог нормативних документів, в яких не дотримуються встановлені вимоги до стаціонарних засобів радіаційного захисту.

У відповідності до вимог статей 22, 23 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» від 24.02.1994 №4004-ХІІ, у процесі експлуатації виробничих, побутових та інших приміщень, споруд, обладнання, устаткування, транспортних засобів, використання технологій їх власник зобов'язаний створити безпечні і здорові умови праці та відпочинку, що відповідають вимогам санітарних норм. Підприємства, установи, організації, що виробляють, зберігають, транспортують, використовують радіоактивні речовини та джерела іонізуючих випромінювань, здійснюють їх захоронення, знищення чи утилізацію, зобов'язані дотримувати норм радіаційної безпеки, відповідних санітарних правил, а також норм, установлених іншими актами законодавства, що містять вимоги радіаційної безпеки [8].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про Перелік документів дозвільного характеру у сфері господарської діяльності» від 19.05.2011 №3392-VI.
2. Закон України «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» від 06.09.2005 №2806-IV.
3. Закон України «Про адміністративні послуги» від 06.09.2012 №5203-VI.
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України КМУ від 16.05.2014 №523-р «Деякі питання надання адміністративних послуг органів виконавчої влади через центри надання адміністративних послуг».
5. Наказ МОЗ України від 02.02.2005 №54 «Про затвердження державних санітарних правил «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України».
6. Наказ МОЗ України від 04.06.2007 №294 «Про затвердження Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур».

7. Наказ Державної інспекції ядерного регулювання України від 02.10.2014 №143 «Про затвердження Порядку проведення навчання і перевірки знань з питань радіаційної безпеки у персоналу і посадових осіб суб'єктів окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії».

8. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» від 24.02.1994 №4004-XII.

ОЦІНКА ДОЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПАЦІЄНТІВ ПРИ КОМП'ЮТЕРНІЙ ТОМОГРАФІЇ

Л.Л. Стадник¹, О.В. Носик¹, О.І. Богуславська²

*¹ДУ «Інститут медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва
НАМН України», м. Харків,*

²Державна інспекція ядерного регулювання України, м. Київ

Анотація. Використання КТ апаратів передбачає проведення комплексного контролю якості, аналізу режимів опромінення пацієнтів, верифікацію дозиметричних параметрів та оцінку дозових навантажень пацієнтів. Метою роботи є оцінка дозових навантажень пацієнтів для стандартних протоколів КТ досліджень. В Україні було проведено національне анкетування КТ-центрів. Дози пацієнтів проаналізовано в одиницях CTDI і DLP. Аналіз дозових навантажень пацієнтів показав суттєвий розкид (до 5,5 разів) як значень CTDI, так і DLP, для усіх видів досліджень. Середні значення CTDI та DLP для КТ голови, грудної клітини та черевної порожнини близькі до доз пацієнтів при КТ-дослідженнях в провідних країн світу. Для оптимізації дозових навантажень пацієнтів насамперед необхідно запровадити дозиметричний контроль CTDI та DLP на етапі інсталяції обладнання та у подальшому проводити їх періодичний контроль.

Ключові слова: комп'ютерна томографія, дозові навантаження пацієнтів, CTDI, DLP.

Актуальність. Комп'ютерна томографія (КТ) стала одним з основних методів верифікації низки захворювань за рахунок високої діагностичної інформативності. За останню декаду КТ апарати були значно удосконалені, з'явилися нові

методи обробки зображень, що дозволило розширити спектр використання КТ в діагностиці. Однак, це призвело до збільшення колективних ефективних доз пацієнтів, й, відповідно, радіаційних ризиків виникнення онкологічних захворювань [1, 2]. Окрім цього, використання високотехнологічного обладнання передбачає проведення комплексного контролю якості роботи КТ-апаратів, аналіз режимів опромінення пацієнтів, верифікацію дозиметричних параметрів та оцінку дозових навантажень пацієнтів. Тому в галузі радіаційного захисту пацієнтів впровадження дозиметрії КТ-досліджень є одним з пріоритетних питань.

Мета роботи – оцінити дозові навантаження пацієнтів для стандартних протоколів КТ досліджень.

Матеріали та методи. В Україні було проведено перше національне анкетування КТ-центрів. Підготовлено та направлено 3 види питальників щодо характеристик КТ-сканерів, структури КТ досліджень, режимів опромінення пацієнтів та дозиметричних параметрів. Було зібрано більш 500 анкет з 112 кабінетів КТ, що складає більш 25% усіх апаратів (усіх форм власності) і являє собою репрезентативну вибірку. Дози пацієнтів проаналізовано в одиницях CTDI (дозовий індекс комп'ютерного томографу) і DLP (добуток доза-довжина сканування) для чотирьох стандартних протоколів: КТ голови без контрасту; рутинне дослідження грудної клітини; однофазне КТ-дослідження черевної порожнини та малого тазу й онкопротокол. Анкети, що містили неповні або некоректні дані, були виключені з аналізу.

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами анкетування встановлено, що в країні використовується більш 460 сканерів, з яких біля 60% знаходиться у приватній власності, що не дозволяє відповідним чином проводити оптимізацію радіаційної безпеки пацієнтів. За кількістю рядів детекторів домінують сканери, що мають матрицю з 16 рядів детекторів/зрізів - 48%, менш 16 зрізів - 20%, 64 зрізи - 22%, 128 і більше зрізів - менше 3%. Разом з тим, необхідно відзначити, що в світовій практиці

сканери, що мають 16 зрізів і менш, практично не використовуються для діагностики низки патологій [3].

Аналіз дати виготовлення та інсталяції апаратів показав, що біля 60% томографів були виготовлені понад 10 - 15 років назад, і тільки 16% апаратів - менш п'яти років. У той же час за даними анкетування 43 % томографів були інстальовані в медичних установах України менш 5 років. Різниця в роках виготовлення та інсталяції сканерів пов'язані з тим, що більшість КТ-апаратів, які надходять в Україну, були декілька років у використанні. Це потребує посилення законодавчої бази України щодо контролю КТ апаратів.

Аналіз дозових навантажень пацієнтів показав суттєвий розкид (до 5,5 разів) як значень CTDI, так і DLP, для усіх видів досліджень. Середні значення CTDI та DLP для КТ голови, грудної клітини та черевної порожнини близькі до доз пацієнтів при КТ-дослідженнях в провідних країн світу (Великобританія, Німеччина, США, тощо) [4]. Між тим, середні значення DLP для онкопротоколу у 2,0 -2,3 рази вище за дози у вказаних країнах, що пов'язано з некоректним вибором режимів дослідження. Необхідно акцентувати увагу на те, що в Україні значення CTDI та DLP, що висвічуються на моніторі під час КТ процедури, не є верифікованими, тобто не були підтверджені методами дозиметрії з використанням спеціальних іонізаційних камер для вимірювань для КТ та фантомів. Тому, для оптимізації дозових навантажень пацієнтів насамперед необхідно запровадити дозиметричний контроль CTDI та DLP на етапі інсталяції обладнання та у подальшому проводити їх періодичний контроль.

Висновки.

1. Необхідно забезпечити впровадження в практику програми контролю якості КТ-апаратів, яка повинна включати контроль технічного стану КТ-сканеру, програмного забезпечення, проведення комплексу дозиметричних вимірювань.
2. Розробити національні стандартні протоколи КТ досліджень та рекомендації щодо оптимізації протоколів КТ-досліджень

3. Організувати проведення верифікації значень дозиметричних величин CTDI і DLP як на етапі інсталяції обладнання, так й у разі заміни програмного забезпечення для КТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European Commission. Radiation protection 154: European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. – Luxembourg: Office for official publications of the European communities, 2008. – 96 p
2. ICRP Publication 102. Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDCT). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. – 2007. – Vol. 37, №1. – ICRP Publication 102. – 79 p.
3. U.S. Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for 10 Adult CT Examinations / K.M. Kanal, P.F. Butler // Radiology: Volume 284: Number 1—July 2017: **120-133**
4. European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging: EUCLID http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/D2.1_Report-and-review-on-existing-clinical-DRLs_final_published-on-website.pdf

DIELECTRIC BIOMARKERS FOR ASSESSING RADIATION DAMAGE TO BLOOD CELLS BEFORE AND AFTER RADIATION THERAPY

L.V. Batyuk^{1*}, N.N. Kizilova²

^{1*}*Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine,
+380968058405 liliya-batyuk@ukr.net*

²*V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,
n.kizilova@gmail.com*

Annotation. The paper deal with the use the parameters of dielectric permittivity of erythrocyte of healthy donors and cancer patients before and after radiation therapy as biomarkers for building a model of a medical test system that allows tracking the dynamics of changes in the state of blood cells of patients during treatment.

Key words: dielectric relaxation, radiation therapy, erythrocytes, model, biomarkers.

Disruption of hydration processes and changes in the water balance in cells and tissues of body after exposure to ionizing radiation is one of the many problems that arise with the use of radiation therapy during treatment and its solution is impossible without an analysis of the adaptive and compensatory mechanisms, the clarification of which in the clinic is difficult. In this regard, experimental studies are of particular interest. Measurement of the dielectric parameters of a cell can become a used test in assessing the functional response of the body to radiation therapy [1, 2]. It can be used to study morph-functional changes in cells that occur in response to changes in the structure and viscosity of membranes, as well as to the metabolism of pathogenic agents (hypoxia, trauma, inflammation, etc.) which as a rule, usually cause the development of one or another type of edema after therapy. The parameters of interest to the doctor, quite often, cannot be measured directly, and the information necessary for the doctor for the correct therapy of oncological disease can be obtained only if the corresponding mathematical models are implemented. The availability of modern personal computers allows at present to implement rather complex mathematical models and methods of medical diagnostics and radiation therapy. Since the content of erythrocytes is a liquid hydrophilic system, which includes water (65%), the structural rearrangements of the membranes cause a change in the ratio of free and bound water and are accompanied by changes in the dielectric parameters of cells. These changes are recorded by microwave dielectrometry in the frequency range corresponding to the dispersion region of water molecules and allow the use of the dielectric permittivity of biological objects as a physical criterion in assessing structural disturbances caused by various factors [3, 4].

The objective of this study are to develop firstly is physically based model of registration of the changes of parameters the dielectric permittivity for erythrocytes under the influence of radiation therapy; secondly, showing how you can to use our data to evaluate the model; and to establish practical correction factors

based on a few simple media parameters for the simple test-system. The calculations were based on the Debye model. The study of the dielectric characteristics of the suspension of erythrocytes and the shadows of erythrocytes of donors and cancer patients before and after radiation therapy in the temperature interval from 1 to 50 °C was performed the method of microwave dielectrometry of the resonator type at a frequency of 9.2 GHz. The study had been involved the group of patients with breast cancer and lung cancer. The group with breast cancer (62 people) received postoperative radiation therapy in the classical fractionation mode - a single focal dose per tumor was 6 Gy, the total focal dose was 45 Gy. A group of patients with lung cancer (36 people), received radiation therapy as an independent course in the classical fractionation mode: a single focal dose per tumor was 1.8-2.2 Gy, the total focal dose was 45-50 Gy.

The linear dependence of the real (ε') and imaginary (ε'') parts of the complex dielectric constant on the erythrocyte concentration indicates that the dielectric properties of the solvent do not depend on the cell concentration. After calculations the dielectric relaxation time of water molecules τ and the change in the free activation energy of the dipole relaxation of water molecules in the studied systems was found using the relation given in [5]. It is shown that the structural transitions of erythrocyte membranes of cancer patients in the temperature range of 8-15°C, 18-21°C, 32-35°C and 42-46°C are accompanied by a change of the water permittivity of the membranes and the ratio of free and bound by erythrocytes water. The obtained values dependence of the dielectric relaxation of water molecules from temperature suggest the existence of an aqueous phase, similar to the phase of a bulk solution, but with a relaxation time that is less than the time of reorientation of water molecules in solution. With the development of the tumor process, there is an increase in the hydration of erythrocyte membranes (increase in the thickness of the hydrate layer), which slows down the diffusion of water through the membrane. After radiation therapy, the degree of hydration of erythrocyte membranes decreases as a result of their

structural and molecular rearrangements. The mathematical model is a system of differential equations, which was solved under different initial and boundary conditions [6]. The parameters that were obtained in experiments and published in scientific articles were used as input parameters of the model [7]. The output parameters of the model were also compared with experimental data, for example, the intervals of change of temperature-dependent the dielectric parameters ε_s and f_d (the static dielectric constant and the frequency of the dielectric relaxation of water in the solution) the suspensions and shadows of erythrocytes patients obtained during calculations and experiments were compared.

The obtained results contain and illustrate three main points characteristic of test development:

1. At primary processing of the dielectric data obtained by taking parameters of cells before and after radiation therapy, the approximation of the measured data important.

2. Identification of mathematical models at the theoretical level, that is, the construction of models based on well-known theoretical premises of the "behavior" of the objects under study and adequate only within a fairly narrow class of problems.

3. Identification of the parameters of a mathematical model or the search for the most adequate model for a given criterion by establishing "hidden" parameters of the object or process under study, which are the parameters of the frequency of dielectric relaxation of water molecules in erythrocyte membranes, which the model opens access to. Moreover, as a rule, the model parameters identified on the basis of laboratory measurements have the most essential medical meaning. The data obtained are biomarkers of the model for the integral assessment of structural changes that occur at the erythrocyte-water interface and can be used as a test system that characterizes the dynamics of changes in the state of patients' erythrocytes during treatment.

REFERENCES

1. Batyuk L.V., Kizilova N.N. Novel monitoring system for quantitative estimation of efficient medical treatment of diseases based on dielectric

- properties of blood samples // Bulletin of V. Karazin Kharkiv National University, Series «Mathematical Modelling. Information Technology. Automated Control Systems». – 2019. – № 43. – P.4-10.
2. Kizilova N. Multidisciplinary approaches in cancer diagnosis and treatment: towards patient-specific predictive oncology. // AS Cancer Biology. – 2019. – Vol.3, №8. – P. 1-2.
3. Batyuk L.V., Gatash S.V., Gorobchenko O.A., Nikolov T.O. The study of hydration of erythrocyte membranes before and after radiation therapy // Biophys. Bull. – 2003. – № 2(13). – P.72-78.
4. Ballario C., Bonincontro A., Cametti C. et al. Microwave dielectric properties of human erythrocytes ghosts in normal and pathological state (Homozygous beta-thalassemia) // Phys. Med Biol. – 1984. – Vol.3, №4. – P.717-729.
5. Глестон С., Лейдер К., Эйринг Г. Теория абсолютных скоростей реакций. – М., ИИЛ. – 1948.
6. Batyuk L., Kizilova N. Modeling of dielectric permittivity of the erythrocytes membrane as a three-layer model, In: Development trends in medical science and practice: the experience of countries of Eastern Europe and prospects of Ukraine. – Riga, Baltija Publishing. – 2018. – P. 18-37.
7. Batyuk L., Kizilova N. Dielectric properties of red blood cells for cancer diagnostics and treatment // AS Cancer Biology. – 2018. – Vol.2, №10. – P. 55-60.

ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ ПРИ АТИПИЧНОЙ ЗЛОКАЧЕСТВЕННОЙ ХЕМОДЕКТОМЕ ШЕИ

**Р.И. Рахимжанова, Г.О. Рыскулова, К.К. Ибраев,
Н.А. Базарбаев, Г.А. Скакова, Г.К. Канафин,
С.Е. Нефедкина, Г. Хизат**

*Корпоративный фонд «University Medical Center» «Республиканский
диагностический центр», г.Нур-Султан*

Аннотация. В данной работе авторами продемонстрировано динамическое наблюдение методом визуализации ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ редкого случая злокачественной хемодектомы шеи атипичной локализации.

Ключевые слова: злокачественная хемодектома, ПЭТ/КТ, радиофармпрепарат, метаболизм, ^{18}F -ФДГ, SUV, пациент, опухоль.

Summary: In this article, we want to demonstrate dynamic observation by PET/CT imaging with ^{18}F -FDG of a rare case of malignant chemodectoma of the neck atypical localization.

Введение. Параганглиома шеи или хемодектома - заболевание, развивающееся, преимущественно, из рецепторных клеток каротидного гломуса и ganglion nodosum блуждающего нерва, являющихся производными мезодермальных элементов третьей жаберной дуги и нервных элементов, происходящих из нервного гребня эктодермы, которые дают начало хеморецепторам клетки [1, 2]. В большинстве случаев имеет доброкачественное течение, хотя встречаются и злокачественные формы, которые трудно поддаются морфологической верификации [3].

Хемодектома – редкое внеорганное заболевание головы и шеи, составляющее 0,5-0,6% всех опухолей данной локализации, в основном выявляющееся у лиц старше 40-50 лет и редко у пожилых людей [3]. Злокачественные хемодектомы наблюдаются у 15-20% больных. В 2-9% хемодектома может малигнизироваться с образованием метастазов [4]. Наличие метастазов в лимфатические узлы, а также наличие отдалённых метастазов говорит о злокачественном характере опухоли и имеет неблагоприятный прогноз.

Выделяют каротидные параганглиомы, пагаганглиомы блуждающего нерва (вагальные) и атипичные параганглиомы. Каротидные пагаганглиомы наблюдаются наиболее часто – 62-90% из всех случаев заболеваний. Вагальные и атипичные параганглиомы наблюдаются значительно реже [3, 5-8].

Каротидный гломус представляет собой хеморецептор, стимулируемый гипоксией, гиперкапнией и ацидозом. Выделяют 3 типа опухолей каротидного гломуса: семейная (10-15%), спорадическая (80-85%) и гиперпластическая, которая развивается у пациентов с хронической гипоксией (высокогорные районы, ХОБЛ, пороки сердца и др.) [9], а также 4 варианта роста: 1) не изменяющей область развилки общей сонной артерии; 2) распространяющийся на наружную

сонную артерию; 3) захватывающий внутреннюю сонную артерию; 4) окутывающий все сонные артерии [10]. Параганглиомы атипичной локализации располагаются на боковой поверхности шеи вблизи сосудисто-нервного пучка, но вне его фасциального футляра. Они отличаются упорным местным рецидивированием и более частым метастазированием [10].

Ошибки при первичной диагностике параганглиом шеи достигают 90%, что связано и с редкостью данного заболевания, и с недостаточными знаниями практических врачей об этой группе больных. В специальный инструментальный комплекс обследования в настоящее время входят УЗИ, КТ, МРТ, ангиография, радиоизотопное исследование, бронхоскопия [11, 12].

Материалы и методы. Представляем клинический случай двукратного (от 21.01.2019г. и 22.07.2019г.) обследования пациента методом Позитронно-эмиссионной томографии, совмещённой с компьютерной томографией с использованием фтордезоксиглюкозы, меченной радиоактивным атомом ^{18}F (далее ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ).

Пациент Е., мужчина 45 лет с диагнозом: «Злокачественная хеMODEKТОМА шеи слева StII (T2N0M0)», перенёс оперативное лечение (04.09.2018г. – футлярно-фасциальное иссечение клетчатки шеи) и последующую дистанционную лучевую терапию. Данные постоперационного патогистологического и иммуногистохимического исследования: злокачественная параганглиома низкой степени дифференцировки, в выделенных лимфоузлах метастатического поражения не выявлено. Далее пациенту проведено исследование ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ от 21.01.2019г., при котором в паравerteбрально слева, вдоль тел C1-C3 позвонков определяется мягкотканое образование, с нечеткими неровными контурами, максимальными размерами до 58x12x7мм, смещающее сосудистый пучок влево и с неравномерной аккумуляцией РФП (SUVmax 2,05), что расценено, как метаболически мало

активное образование шеи слева, не исключающее рецидив заболевания (рисунок 1).

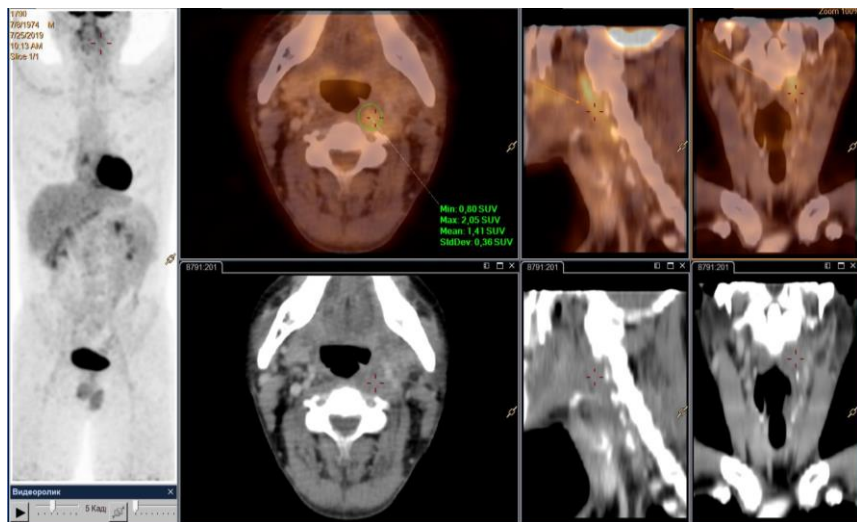


Рис.1. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ от 21.01.2019г.

Последующее ультразвуковое триплексное исследование сосудов шеи от 04.02.2019г. патологии не выявило, и пациент специфического лечения не получал, жалоб не предъявлял. При контрольном исследовании ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ от 22.07.2019г. определяется мягкотканое образование с нечёткими контурами от основания черепа до тела С4 позвонка слева, максимальными размерами до 74x16x14 мм, с диффузным накоплением РП (SUVmax 3,53), что расценено, как отрицательная динамика в виде увеличения метаболической активности и размеров ранее наблюдавшегося образования (Рис. 2).

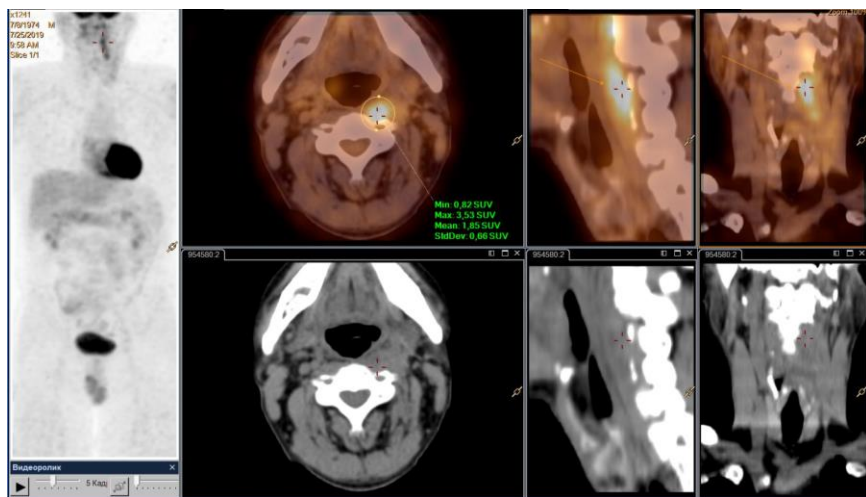


Рис. 2. ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ от 22.07.2019 г.

Результаты и обсуждения. Клетки опухолей нейроэндокринной системы характеризуются гиперэкспрессией рецепторов соматостатина, чем оправдано применение РФП на основе синтетических аналогов соматостатина в целях диагностики этих новообразований [14, 15, 13]. В связи с этим, рекомендуется всем пациентам с НЭО (особенно при высокодифференцированных и умереннодифференцированных НЭО) выполнить ПЭТ-КТ с ^{68}Ga -DOTA-ТОС, DOTA-NOC, DOTA-TATE (DOTA конъюгаты рецепторов соматостатина для оценки рецепторного статуса и уточнения распространенности процесса [15, 16].

^{18}F -ФДГ является препаратом для неспецифической метаболической визуализации, поэтому неэффективна при высокодифференцированных НЭО, однако успешно используется для диагностики распространенной нейробластомы и феохромоцитомы, злокачественной параганглиомы (особенно с SDHB-мутацией в гене), низкодифференцированных НЭО. ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ рекомендуется в случае низкодифференцированных НЭО или недоступности более специфических радиофармпрепаратов

[17]. В нашем клиническом случае захват опухолью ^{18}F -ФДГ был обусловлен низким уровнем дифференцировки опухолевой ткани и прогрессированием заболевания – за 6 месяцев захват опухолью ^{18}F -ФДГ увеличился на 58% (рост SUVmax с 2,05 до 3,53).

Заключение. Метод ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ оказался информативен при низкодифференцированной злокачественной хемодектоне, поэтому мы считаем, что данный метод радионуклидной диагностики можно рекомендовать при низкодифференцированных НЭО с целью контроля проводимой терапии, выбора дальнейшей тактики ведения и лечения пациента. Однако нужны дальнейшие исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pryse-Davies J., Dawson I.P., Westbury G. Some morphologic, histochemical, and chemical observations on chemodectomas and the normal carotid body, including a study of the chromaffin reaction and possible ganglion cell elements. *Cancer* 1964;17:185–202.
2. Shamblin W.R., Remine W.H., Sheps S.G., Harrison H.G. Carotid body tumor (chemodectoma): clinicopathologic analysis of 90 cases. *Am J Surg* 1971; 122:732 – 9.
3. Дудицкая Т. К. Параганглиомы шеи: клиника, диагностика и лечение. Дис. д-ра мед. наук. М.; 2000.
4. Wang S.J., Wang M.B., Barauskas T.M., Calcaterra T.C. Surgical management of carotid body tumors. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000; 123:202–6.
5. Дан В. Н., Матякин Е. Г., Коков Л. С., Кармазановский Г. Г. и др. Предварительная эмболизация при хирургическом лечении хемодектом шеи. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2000; 2: 109–115.
6. Залуцкий И. В., Белоцерковский И. В., Акинфеев В. В. Хирургическое лечение параганглиом шеи. Материалы XIII Российского онкологического конгресса. М.; 2009; 21–22.
7. Зотиков А. Е., Алексанян В. М., Бадретдинов И. А. Возможности хирургического лечения параганглиомы шеи, распространяющейся до основания черепа. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2012; 4: 107–111.

8. Ключихин А. Л., Буниатян А. А. Случай злокачественной параганглиомы полости носа. Российская ринология. 2012; 4: 23–24.
9. Sajid M.S., Hamilton G., Baker D.M. A multicenter review of carotid body tumour management. Eur J Vasc Endovasc Surg 2007 Aug; 34:127.
10. Матякин Е. Г., Дан В. Н., Шубин А. А., Вельшер Л. З., Дудицкая Т. К. Параганглиомы шеи (хемодектомы). М.; 2005.
11. Москаленко Ю. Д., Спиридонов А. А., Клионер Л. И. и др. Реконструктивная хирургия сонных артерий при радикальном удалении каротидных хемодектом. Клиническая хирургия. 1985; 7: 15–17. 76
12. Хмельницкий О.К., Черемных А.А., Крейчман Г.С. Дифференциальная диагностика феохромоцитом и хемодектом. АПУД-система: достижения и перспективы изучения в онкорadiологии и патологии. Сб.науч.трудов. Обнинск; 1988; 73-77.
13. Yao J.C., Hassam M., Phan A. et al. One hundred years after "carcinoid": epidemiology of and prognostic factors for neuroendocrine tumors in 35,825 cases in the United States. J Clin Oncol 2008; 26:3063-72.
14. 99. Irene Virgolini et al. Procedure guidelines for PET/CT tumour imaging with 68Ga-DOTA-conjugated peptides: 68Ga-DOTA-TOC, 68Ga-DOTA-NOC, 68Ga-DOTA-TATE (Eur J Nucl Med Mol Imaging (2010) 37:2004-2010 DOI 10.1007/s00259-010-1512-3).
15. Neuroendokrine Tumoren Klassifikation, Klinik und Bildgebung Neuroendocrine tumors Classification, clinical presentation and imaging H.F. Raue & K. Frank-Raue DOI: 10.1007/s00117-019-0574-x.
16. Irene Virgolini et al. Procedure guidelines for PET/CT tumour imaging with 68Ga-DOTA-conjugated peptides: 68Ga-DOTA-TOC, 68Ga-DOTA-NOC, 68Ga-DOTA-TATE (Eur J Nucl Med Mol Imaging (2010) 37:2004-2010 DOI 10.1007/s00259-010-1512-3).
17. Hicks, R.J., et al. Eur J Nucl Med Mol Imaging (2019) 46: 2112.

ОЦІНКА ЯКОСТІ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ КРИТЕРІЯМИ

В.П. Старенький^{1,2}, О.В. Носик^{1,2}, Б.І. Мельник¹

¹*Харківський національний медичний університет, Харків, Україна*

²*ДУ «Інститут медичної радіології та онкології*

ім. С.П. Григор'єва НАМН України», Харків, Україна

Анотація. Обов'язковим елементом контролю якості є періодичний аналіз рентгенограм лікарями експертами за критеріями якості

діагностичних рентгенографічних знімків. В роботі проведено візуальну оцінку рентгенограм(плівкових та цифрових) ОГК групою досвідчених рентгенологів за обраними критеріями.

Ключові слова: рентгенографія, якість зображень, критерії якості зображень.

Вступ. Рентгенографія органів грудної клітки (ОГК) залишається найважливішим методом в діагностиці патології легень та середостіння. З понад 19 млн. рентгенологічних досліджень, виконаних в Україні за 2018 р., частка профілактичних та діагностичних досліджень ОГК склала близько 6,5 млн. Проте в Україні продовжує існувати проблема неякісних знімків, що пов'язано з відсутністю програм контролю якості рентгенографічних досліджень та методики об'єктивної оцінки рентгенівських зображень. У провідних країнах світу обов'язковим елементом контролю якості є періодичний аналіз рентгенограм лікарями експертами за критеріями якості діагностичних рентгенографічних знімків [1, 2].

Мета роботи – оцінити якість рентгенівських зображень за європейськими критеріями.

Матеріали та методи. В роботі проведено візуальну оцінку рентгенограм(плівкових та цифрових) ОГК групою досвідчених рентгенологів за обраними критеріями. На кожен апарат було відібрано не менше 30-ти рентгенограм пацієнтів. Аналіз якості рентгенівських знімків проводився за 10-ма основними критеріями запропонованими ЄС у Керівництві з якості рентгенографічних зображень. Виконання кожного з критеріїв оцінювалося експертами за двобальною системою: 1 – критерій виконується; 0 – критерій не виконується. Таким чином, при виконанні всіх критеріїв максимальна оцінка знімку складала 10 балів. Даний метод дозволяє одержати об'єктивний висновок у виявлених недоліках [3].

Результати досліджень та їх обговорення. В результаті аналізу знімків виконаних на аналогових (плівкових) апаратах встановлено, що знімки мають найнижчу діагностичну цінність – узагальнений бал складав 5,1. Низька якість

зображення пов'язана з високим рівнем зношеності апаратів, низькою якістю рентгенологічних плівок, вичерпавших свій ресурс екранів. Тобто майже 50% знімків можуть призводити як до хибно позитивних так і до хибно негативних результатів діагностики й повинні відбраковуватися. Узагальнений бал цифрових знімків склав 8,6. Це свідчить про хороший стан апаратів, використання сучасних систем візуалізації з широким динамічним діапазоном, що практично виключає випадки відбракування зображень. Однак 10-15% знімків не відповідають у повній мірі усім критеріям й потребують подальшої оптимізації, шляхом усунення причин систематичного невиконання окремих критеріїв та проведенням додаткової пост обробки зображень.

Висновки.

1. Невідповідність 50% показників зображення відмічено для аналогових апаратів , що призводить до втрати необхідної діагностичної інформації при рентгенографічному дослідженні.
2. Кількісна оцінка якості рентгенограм експертами дозволить об'єктивно оцінити якість діагностичних зображень.
3. При оптимізації рентгенографії ОГК передусім необхідно усувати причини систематичного невиконання окремих критеріїв для групи зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бонтрагер К. Руководство по рентгенографии с рентгеноанатомическим атласом / К. Бонтралер. – М.: Интелмедтехника. – 1998. – 821 с.
2. European Guidelines on quality for diagnostic radiographic images, EUR 16260 EN. – Luxembourg: European Communities, 1996. – 96 p.
3. Бодня И.Ф. Технические условия рентгенографии / И. Ф. Бодня. – Харьков, 2005. – 104 с.

ОРГАНІЗАЦІЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКАНУЮЧОГО ІОННОГО МІКРОЗОНДУ

**С.В. Лисоченко^{1,2}, В.В. Ільченко¹, О.І. Кухаренко^{1,2},
М.Г. Толмачов²**

¹*Інститут високих технологій Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

²*Центр колективного користування Київського національного
університету імені Тараса Шевченка і фірми "Т.М.М." ТОВ, Київ,
Україна, 0503534382, lysoch@gmail.com*

Анотація. Запропоновані заходи організаційного характеру по радіаційному захисту і проведено моніторинг розподілу іонізуючого випромінювання в експериментальному залі унікальної установки скануючого іонного мікрозонду. Показано зменшення можливого рівня опромінення персоналу на робочих місцях до фонового рівня.

Annotation. Organizational measures on radiation protection are proposed and the distribution of ionization fields in the experimental hall of the unique installation of the scanning ion microprobe is monitored. There duction of possible staff irradiation level in the workplace to the background level of radiation has been shown.

Ключові слова: радіаційний захист, прискорювач, рівень опромінення.

Keywords: radiation protection, accelerator, irradiation level.

Скануючий іонний мікрозонд (СІМ) є унікальною установкою в Україні, що дозволяє проводити на сучасному рівні дослідження у різноманітних галузях науки та техніки, таких як електроніка, матеріалознавство, біологія тощо (рис. 1). Сьогодні СІМ використовується спільним науковим центром, засновниками якого є Київський національний університет імені Тараса Шевченка та фірма ТОВ «Т.М.М.». Основними напрямками роботи центру є підвищення ефективності проведення наукових досліджень та створення сприятливих умов для підготовки фахівців високого рівня – магістрів і кадрів вищої кваліфікації (кандидатів, докторів) з міждисциплінарних наук. За порівняно невеликий час з

моменту початку робіт в центрі було виконано значну кількість важливих досліджень у галузях напівпровідникової електроніки, біології, підготовлені магістри за спеціальністю «високі технології».

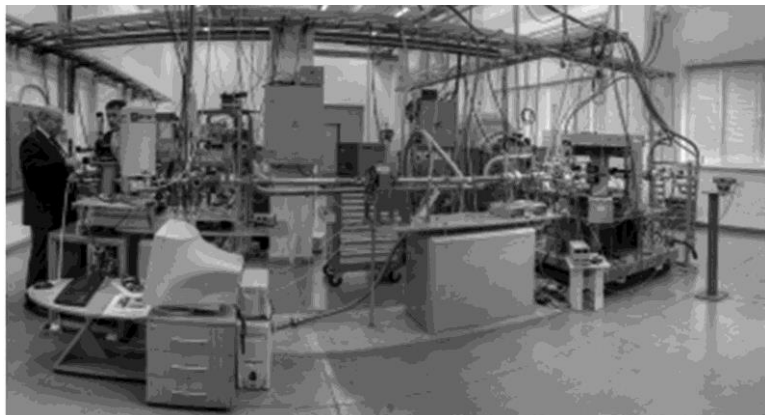


Рисунок 1. Загальний вигляд експериментального залу установки скануючий іонний мікрозонд

Наведені вище особливості установки СІМ, а саме унікальність конструкції і використання в навчальному процесі обумовлюють необхідність проведення організаційних заходів з метою безумовного виконання вимог НРБУ-97 [1] та ОСПУ-2005 [2]. Для цього, разом зі співробітниками навчально-наукового центру радіаційної безпеки Київського національного університету імені Тараса Шевченка <http://rb.univ.kiev.ua/> були розроблені організаційні заходи, а також проведено моніторинг та аналіз розподілу іонізуючих полів по площі експериментального залу. Серед основних організаційних заходів зазначимо наступні: для співробітників категорії «А» обов'язкові щорічне навчання та перевірка знань з радіаційної безпеки; щорічне проходження медичного огляду; повне обмеження доступу до експериментальної зали осіб під час роботи прискорювача, крім персоналу категорії «А»; виконання інструкцій з радіаційної безпеки під час експлуатації установки; розробка інструкції та виконання дій під час аварійних ситуацій;

встановлення контрольних рівнів, дозиметричний контроль під час виконання робіт; отримання дозвільних документів на право виконання робіт; реєстрація джерела випромінювання та отримання санітарного паспорту.

Як обов'язкові додаткові заходи, було визначено проведення інструктажів для студентів, аспірантів при кожному їх перебуванні в експериментальному залі СІМ без ввімкнення прискорювача.

При моніторингу іонізуючих випромінювань враховувалось, що СІМ є джерелом, що генерує протони і α -частинки з енергією до 1,8 MeV та за певних умов нейтронів, гамма та рентгенівського випромінювання. Типовий експеримент на прискорювачі проходить в два етапи. Перший етап включає розробку мапи та режиму опромінення. Другий – опромінення зразка персоналом категорії «А». Ядерні реакції на мішені та в елементах конструкції прискорювача, і відповідно виникнення нестійких радіоактивних елементів можливе при енергії пучка протонів порядку 5MeV і більше. При проведенні науково-дослідних робіт з використанням СІМ при взаємодії пучка протонів або α -частинок з речовиною, виникають кванти рентгенівського та гамма випромінювань. Тому при проведенні моніторингу основну увагу було приділено пошуку місць, в яких зазначене випромінювання значно перевищує природний радіаційний фон. На схемі розміщення основних елементів установки СІМ (рис. 2) зірочками показані знайдені центри виникнення такого опромінення. Як і слід було очікувати, такими місцями виявилися елементи установки СІМ, на яких можливе взаємодія між пучком заряджених часток з елементами установки. З урахуванням останнього було проведене перепланування розміщення робочих місць персоналу категорії «А» (позначено на рис. 2 літерою «А»). В підсумку це дозволило зробити рівень опромінення персоналу на робочих місцях під час проведення робіт з застосуванням прискорювача наближеним до фонового.

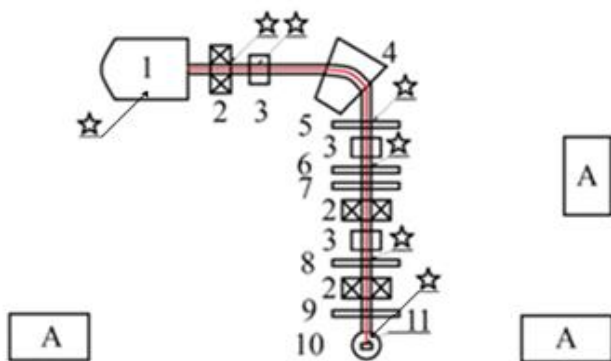


Рисунок 2. - Схема розміщення основних елементів установки СІМ в експериментальному залі. 1 – прискорювач іонів, 2 – магнітна квадрупольна лінза, 3 – камера візуального контролю пучка іонів, 4 – 90⁰ магніт, 5 – щілини стабілізації пучка, 6 – круглі об’єктні апертури, 7 – прямокутні об’єктні щілини, 8 – кутовий коліматор, 9 – електромагнітна система сканування пучка іонів, 10 – мішенева камера, 11 - пучок протонів, що падає на зразок, «А» – робочі місця персоналу категорії «А», ☆.- центри виникнення рентгенівського випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), Постанова МОЗ України від 01.12.1997 № 62.
2. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, Наказ МОЗ України від 02.02.2005 № 54.

ПРОБЛЕМИ КУЛЬТУРИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ В МЕДИЧНІЙ РАДІОЛОГІЇ: ПРІОРИТЕТНА РОЛЬ МЕДИЧНИХ ФІЗИКІВ

**М.І. Пилипенко¹, В.П. Старенький², Л.О. Аверьянова³,
Л.Л. Стадник²**

¹Харківський медичний національний університет, Харків, Україна,

²ДУ «Інститут медичної радіології та онкології
ім. С.П. Григор'єва НАМН України», Харків, Україна,

³Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків,

*Іонізуюча радіація — це племін
зірок, то ж ставмося до неї з
благоговійною увагою, щоб вона
гріла людей, а не спопеляла.*

Безпека – одна з найбільших цінностей людини. Однак саме внаслідок чималих проблем міжнародної, державної,

техногенної безпеки і порушення безпеки праці мільйони людей гинуть, страждають через травми та професійні хвороби. Людство саме через ці проблеми щороку зазнає збитків на сотні мільярдів доларів.

Пошук нових підходів до запобігання війн, катастроф, виробничого травматизму і професійних хвороб продовжується. Двадцять років тому Міжнародним агентством з атомної енергетики (МАГАТЕ) був сформований новий концептуальний підхід до визначення безпеки атомних електростанцій (АЕС) як поняття, що містить у собі детермінанти загальнолюдської і професійної культури. Поняття техніки і психології безпеки АЕС переросли в концепцію культури безпеки, яка сьогодні стала одним із фундаментальних принципів забезпечення безпеки у ядерній галузі. Отже, МАГАТЕ дещо випередило інші міжнародні організації у сфері використання культурологічних цінностей при вирішенні конкретних прикладних завдань у сфері забезпечення безпеки.

Згодом виявилось, що гуманізація системи безпеки є проявом загальносвітових тенденцій. Це підтверджує також аналіз напрацювань, отриманих у ході проведення Міжнародного року культури світу (2000 рік), Міжнародного року діалогу між цивілізаціями (2001 рік) і на Саміті тисячоліття (6–8 вересня 2000 року), з переосмислення ролі та місця культури в житті людини, сім'ї, сучасної цивілізації. Саме в результаті цього аналізу з'являються такі терміни, як «культура миру», «культура міжнародної безпеки», «культура національної безпеки». Ці словосполучення — свідчення того, що саме людині, яка покликана приймати відповідальні рішення, що можуть мати серйозні наслідки для безпеки, яка безпосередньо буде виконувати небезпечні операції чи опосередковано впливати на безпеку, делегуються права контролю за безпекою у вигляді самоконтролю.»

Це незаперечний факт, визнаний у всьому світі: медична радіологія — клінічна спеціальність, що змінила медицину.

Сучасна медична практика просотана радіаційними технологіями. Наразі щорічно у світі проводиться понад 2 млрд. рентгенівських і ядерномедичних діагностичних досліджень, і більше ніж 6 млн. радіотерапевтичних процедур, і ця тенденція йде вгору. Така ситуація зумовлена, вочевидь, провідною роллю радіологічного обстеження хворого в установленні чи підтвердженні діагнозу, слідкуванні за перебігом захворювання, ефективністю обраного лікування і можливим розвитком ускладнень, тобто можна стверджувати, що нині роль радіології у наданні адекватного лікування визначальна.

Медична радіологія створена фізиками, і тому без фізиків не може існувати. Це очевидний факт, але часом забутий. Хоча променева терапія «живе» на межі багатьох дисциплін, її залежність від фізики найсильніша. Під цим ми маємо на увазі не тільки залежність від підтримки клінічної фізики, щоб переконатися, що опромінення керується безпечно та точно, але насамперед залежність від наукової та дослідницької сторони фізики взагалі та медичної фізики окрема. Необхідно вважати і поважати медичну фізику як фізику в медицині, щоб підкреслити її важливість.

Променева терапія (ПТ) є однією з найскладніших і найбільш високотехнологічних галузей медицини. Не менш як половина всіх хворих на рак потребують променевої терапії [1]. Серед новітніх методів ПТ можна назвати модульовану за інтенсивністю та об'ємно модульовану ПТ, стереотаксичну радіохірургію і томотерапію. Променева терапія під контролем зображень забезпечує точний моніторинг мішені в режимі реального часу, що дозволяє використовувати автоматичну корекцію підведення струменя при рухах хворого. Створені поєднані методи дозиметрії *in vivo* та на фантомі для перевірки забезпечення бездоганності лікування. ІТ-системи для ПТ, зокрема онкологічні інформаційні системи (ОІС) і системи планування лікування (СПЛ) продовжують розширюватися і ускладнюватися, щоб впоратися з досить значними обсягами інформації, необхідними для створення

кращих моделей оптимізації лікування і переходу до більшої інтеграції всіх необхідних складових процесу та забезпечення більшої ефективності роботи.

Але триваюча швидка еволюція технологій призводить не тільки до континуума нових розробок, але і нових проблем. Системи стають все більш автоматизованими, складними і критично залежними від програмного забезпечення. Їхні потенційні точки відмови або обмеження звичайних діапазонів клінічних експлуатаційних параметрів стають менш інтуїтивно зрозумілими. Отже, кожне з цих досягнень створює свій власний потенціал проблем. Тому, щоб гарантувати безпеку і високу якість лікування, кожен несе відповідальність ретельного системного прийняття, оцінки, клінічної реалізації та комплексного контролю якості (КЯ).

Відповідний ресурс персоналу і подальше навчання критично необхідні для розвитку і безпечного впровадження будь-якої нової технології як пріоритетні завдання. У променевій терапії — мультидисциплінарній і кооперативній спеціальності, що використовує для лікування складне обладнання, — вимоги і рекомендації щодо забезпечення якості обов'язково мають ґрунтуватися на всіх складових: медичних, фізичних і технічних, оскільки ці аспекти ПТ тісно взаємопов'язані. А це означає, що мають значення як чинники стосовно пацієнта (діагностика, рішення, показання для опромінювання, подальший догляд), так і ті, що належать до технічних аспектів проведення ПТ. І всі вони мають бути об'єктами для контролю якості (КЯ). Доки не буде усвідомлено, що забезпечення якості в ПТ є нагальним для досягнення безпеки і ефективності лікування, не з'явиться розуміння необхідності системного підходу до забезпечення якості (ЗЯ). Це потребує впровадження всеохопних програм ЗЯ, що враховують всі аспекти процесу ПТ.

В радіотерапії наслідки аварійного опромінення можуть бути дуже серйозними. Аварійним опроміненням відповідно до Міжнародних основних стандартів безпеки для захисту від іонізуючої радіації і безпечного поводження з джерелами

радіації є, зокрема, таке: «будь-яке терапевтичне опромінення або не того пацієнта, або не тих тканин, або за допомогою помилкового радіофармпрепарату, або в дозі чи з її фракціонуванням, істотно відмінних від призначених лікарем, і які можуть призвести до надмірно гострих або вторинних ефектів» [2, 3].

Підвищення рівня радіотерапевтичних технологій та підготовки фахівців дозволяє значно обмежити негативні наслідки променевого лікування та забезпечити належну ефективність надання онкологічної допомоги громадянам.

МАГАТЕ здійснює глобальний моніторинг технологічного стану радіотерапевтичних центрів в різних країнах світу, актуальна інформація представлена в базі даних Директорії радіотерапевтичних центрів (DIRAC) [4]. За даними DIRAC у світі зараз використовується 14217 апаратів дистанційної променевої терапії (ДПТ), причому кількість апаратів ПТ щорічно зростає на понад 6,3%. Натомість в Україні відбувається лише скорочення радіотерапевтичних потужностей [5], що свідчить про відсутність таких пріоритетів у галузі охорони здоров'я України.

Так, за даними DIRAC в Україні в 2019 р. було лише 83 апаратів ДПТ (гамма-терапевтичних апаратів та лінійних прискорювачів), на яких пройшли лікування приблизно 45 тис. хворих. І це є максимально можлива кількість пацієнтів, які можуть зараз бути проліковані в Україні. Тоді як, за даними Національного Канцер-реєстру України [6] середньорічна кількість нових випадків раку в Україні сягає 140 тис., тобто серед них принаймні 70 тис. пацієнтів потребують променевої терапії. Якщо у 2014 р. рівень охоплення променевим лікуванням був на рівні 40%, то вже у 2019 році він впав до 30%. Тобто близько половини хворих, які потребували променевого лікування, у 2019 році його не отримали.

Між тим, ситуація з ПТ становиться дуже напруженою у зв'язку з тим, що серед 55 наявних апаратів дистанційної гамма-терапії третина потребують перезарядки джерела ^{60}Co , тобто лікування онкохворих на таких апаратах є

неефективним. З 2016 р. старі гамма-терапевтичні апарати поступово виводяться з експлуатації, і, на жаль, не відбувається їх еквівалентна заміна на лінійні прискорювачі або на сучасні гамматерапевтичні апарати. В результаті парк радіотерапевтичного обладнання в Україні неухильно скорочується (рис. 1).

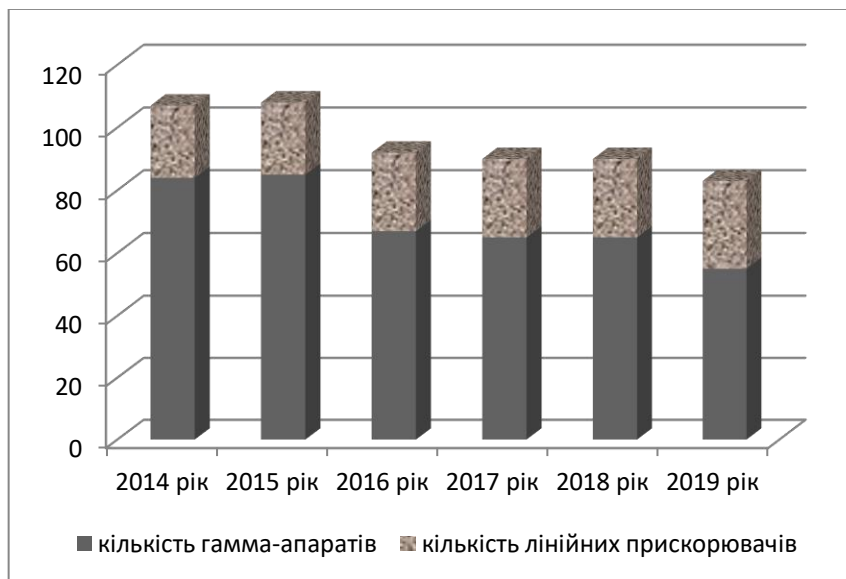


Рис. 1 – Динаміка змін кількості апаратів ДПТ в Україні

Всі ці негативні тенденції не можуть не вплинути на річні обсяги променевого лікування. На рис. 2 показана 6-річна динаміка змін кількості пацієнтів, які отримали лікування на апаратах променевої терапії. Встановлено, що за останні роки кількість пролікованих пацієнтів знизилась на 13 тисяч, що свідчить про погіршення якості комплексного лікування онкохворих в Україні з відповідним зниженням показників виживаності. Між тим, починаючи з 2014 року кількість померлих від раку в Україні збільшилась в 1,4 рази. Це обумовлено багатьма негативними чинниками, серед яких очевидно є низька доступність та якість променевого лікування в Україні.

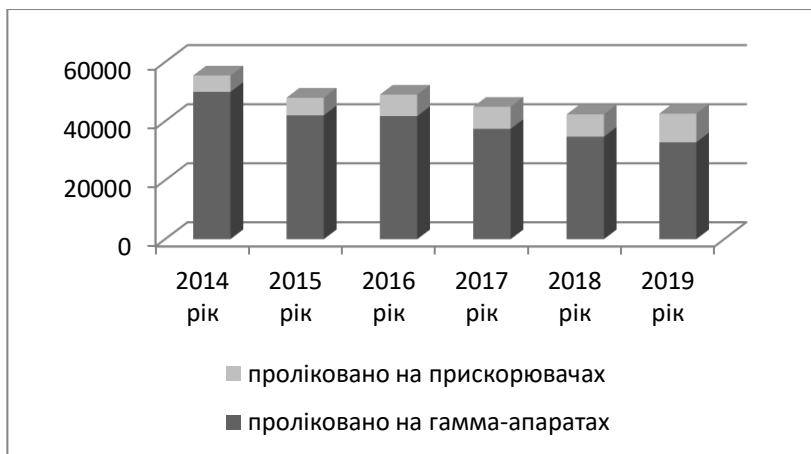


Рис. 2 – Динаміка змін кількості пацієнтів, які отримали ДПТ в Україні.

Як видно з рис. 2, співвідношення кількості пацієнтів, пролікованих на гамма-терапевтичних апаратах та на лінійних прискорювачах складає: тільки 23% пацієнтів отримали високотехнологічне сучасне лікування на лінійних прискорювачах, тоді як всі інші лікувались на апаратах дистанційної гамма-терапії за спрощеними 2D технологіями та навіть за відсутності комп'ютерних систем планування.

Другою за значимістю проблемою, яка пов'язана із забезпеченням якості променевої терапії онкологічних хворих є підготовка кадрів високого рівня кваліфікації для відділень променевої терапії, особливо серед медичних фізиків і інженерів для відділень променевої терапії.

В Україні підготовка фахівців за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» проводиться в 17 закладів вищої освіти готують, однак лише три університети заявили набір на освітню програму «Медична фізика». Кількість набраних студентів для підготовки фахівців з медичної фізики мізерна, враховуючи потреби України, – тільки 12 бакалаврів та 10 магістрів. Вочевидь відсутнє державницьке бачення важливості розвитку цієї спеціальності. Аналіз освітньо-професійних програм за

спеціальністю 105, де представлена медична фізика, показує, що зміст та обсяг викладання дисциплін, пов'язаних безпосередньо з роботою у променевій терапії, абсолютно не задовольняє потреб галузі. Відсутня відповідна практична підготовка. І, нажаль, не факт, що студенти, які отримають освіту за даної спеціальністю, будуть працювати у медичних закладах у відділеннях променевої терапії та променевої діагностики медичних закладів України.

В той же час у рамках спеціальності 163 «Біомедична інженерія» в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ) дисципліна «Системи променевої терапії» зайняла достойне місце серед дисциплін професійної та практичної підготовки та викладається у тому числі англійською мовою. Не зважаючи на те, що спеціальність «Біомедична інженерія» є суто інженерно-технічною, а не фізичною, саме випускники ХНУРЕ за спеціальністю даної кафедри за час навчання набувають практичного досвіду і найбільш успішно працюють на посадах інженерів-фізиків у відділеннях променевої терапії різних медичних центрів України.

Важливим елементом в системі забезпечення ефективності променевої терапії є впровадження програми контролю якості. Це повинно бути не тільки документально оформлена Настанова з якості, а реально діючий процес із залученням до проведення всебічного аудиту якості ПТ фахівців найвищого рівня.

МАГАТЕ пропонує усім країнам організовувати на базі провідних медичних закладів Центри компетенції в галузі ПТ з залученням відомих фахівців для проведення комплексних перевірок медичних закладів з відділеннями променевої терапії щодо якості організації та проведення променевої терапії на усіх етапах: від діагностики пухлинних захворювань, визначення протоколу променевої терапії, проведення передпроменевої підготовки та дози-метричного планування променевого лікування, якості відпуску процедур тощо [7].

Одним з найбільш важливих етапів променевої терапії є забезпечення якості клінічної дозиметрії і дозиметричне планування ПТ, за який відповідає медичний фізик (інженер-фізик) відділення променевої терапії.

МАГАТЕ з 1969 р. впровадило в практику багатьох країн світу міжнародну програму щодо аудиту якості дозиметричного калібрування радіаційних струменів на апаратах дистанційної променевої терапії – незалежний поштовий ТЛД-аудит МАГАТЕ/ВООЗ. За період 1969-2019рр. МАГАТЕ було проведено біля 13,6 тисяч аудитів для 4400 апаратів променевої терапії з 2300 онкологічних закладів 135 країн світу. У зв'язку з тим, що участь в аудиті МАГАТЕ/ВООЗ для медичних закладів є добровільним, то відповідальність медичних установ країн за виявлення причин помилок в променевої терапії була досить низькою. Для ряду країн світу МАГАТЕ в рамках програм технічної допомоги оказало підтримку в створенні національних систем незалежного поштового ТЛД-аудиту якості калібрування апаратів променевої терапії.

В Україні міжнародний ТЛД-аудит МАГАТЕ/ВООЗ апаратів дистанційної променевої терапії був впроваджений з 1998 р., ДУ «Інститут медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва НАМНУ НАМН України» є національним координатором даної програми. Завдяки виконанню двох міжнародних проектів з ДУ «Інститут медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва НАМНУ» та технічній підтримці МАГАТЕ в рамках цих проектів в Україні була створена можливість щодо організації та впровадження національного ТЛД-аудиту якості дозиметричного калібрування для усіх апаратів дистанційної променевої терапії медичних онкологічних закладів України.

В період з 2004 по 2013 рр. в рамках виконання міжнародних проектів з МАГАТЕ досягнуті такі результати:

- Інститутом було отримане необхідне дозиметричне обладнання та розроблений комплект методичних документів щодо організації національного поштового ТЛД-аудиту;

- в онкологічні заклади України були безкоштовно передані 25 комплектів дозиметричного обладнання, які містили: клінічний дозиметр UNIDOS E з двома іонізаційними камерами, стандартний водний фантом;

- проведено чотири учбові семінари з питань клінічної дозиметрії та дозиметричного планування, загалом для 65 медичних фізиків відділень променевої терапії.

Загальна технічна допомога МАГАТЕ (у фінансовому еквіваленті) для забезпечення якості проведення променевої терапії та організації незалежного контролю якості дозиметричного калібрування склала більш ніж 500 тис. доларів.

В 2017 р. Держатомрегулювання України сумісно з МОЗ України видали спільний Наказ № 51/151 «Про затвердження Загальних правил радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині», згідно з яким перевірка якості роботи апаратів дистанційної променевої терапії в рамках програми міжнародного ТЛД-аудиту МАГАТЕ/ВООЗ або національного ТЛД-аудиту є обов'язковою і має проводитися не рідше одного разу на 2 роки. Наприкінці 2018 р. після остаточного узгодження усіх документів в Держатомрегулювання, МОЗ та НАМН України про-ведення національного ТЛД-аудиту якості стало обов'язковим заходом для усіх медичних онкологічних закладів незалежно від форм власності.

Між тим, для лабораторії (Центральна лабораторія радіаційної безпеки та дозиметрії медичного опромінення ДУ ІМРО), яка проводить національний ТЛД-аудит якості калібрування апаратів дистанційної променевої терапії дуже важливо наявність референтної установки дистанційної гамма-терапії з джерелом ^{60}Co . Якщо активність джерела ^{60}Co буде дуже низька, а заміна радіо-активного джерела не буде здійснена, то проведення національного ТЛД-аудита стане під загрозою зриву.

Хоча завдяки технічній підтримці МАГАТЕ в рамках між-народних проектів результати міжнародного і

національного ТЛД-аудиту в Україні стали значно краще, а кількість виявлених помилок при опроміненні ТЛД-капсул знизилась з 30-53% до 10-15%, проте навіть така кількість помилок є неприпустимо високою, адже якщо такі ж похибки мають місце при опроміненні пацієнтів, то це може спричинити серйозні наслідки у виді радіаційних уражень (при перевищенні призначених доз), або у відновленні онкологічного процесу (при занижених дозах).

Таким чином, проблема підготовки молодих фахівців, які планують працювати медичними фізиками, а також перепідготовка працюючих фізиків з урахуванням постійного оновлення парку апаратів променевої терапії, впровадження нових систем дозиметричного планування, залишається дуже серйозною.

Іншим важливим напрямком в медичній радіології, де участь медичних фізиків дуже необхідна, є діагностична радіологія та комп'ютерна томографія. На жаль, досі у відділеннях рентгенівської діагностики не передбачені посади медичних фізиків. Разом з тим, відповідно до досвіду більшості розвинених країн необхідно створення центрів/відділів медичної фізики при обласних Департаментах охорони здоров'я. Тоді, в Україні стане можливим організація постійного контролю забезпечення якості виконання рентгенодіагностичних досліджень з оцінкою якості діагностичного зображення та отриманих доз пацієнтами, а також впровадження концепції «національних діагностичних референтних рівнів» (ДРР) для оптимізації радіаційного захисту населення. Проведення зіставлення доз пацієнтів з національними ДРР дасть можливість виявляти, які види досліджень є недоцільними за якістю зображення та отриманими пацієнтами дозами.

В Україні проведення щорічних флюорографічних досліджень є досі обов'язковою процедурою для усього дорослого населення. За даними проведеного національного анкетування обласних рентгенологічних служб в 2011-2013рр. в Україні щорічно проводиться біля 21 млн

профілактичних та діагностичних флюорографій, при цьому середнє значення вхідних поверхневих доз дорослого пацієнта на плівкових флюорографах за результатами проведених вимірювань становило 4,1 мЗв, а на окремих флюорографах досягало 25 мЗв, тоді як згідно з Нормами радіаційної безпеки України НРБУ-97 при профілактичних обстеженнях річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв [8].

За проведеними оцінками очікуваний ризик додаткових випадків радіаційно-індукованих раків легень при використанні плівкових флюорографів може становити 3500 випадків на 1 рік. Тобто такий вид досліджень не тільки не дає користі для пацієнтів, а й завдає шкоди.

ВООЗ ще в 1994 році рекомендувала скасувати флюорографічний скринінг на туберкульоз як неефективний і економічно недоцільний, достатньо проводити рентгенографію критичним групам серед персоналу та населення [9].

В роботі Е. Ж. Hall вказано: «Рентгенографія грудної клітки, призначувана людям з підозрою на якесь захворювання, несе в собі користь, яка вочевидь перевершує пов'язаний з цим ризик. Подібне ж обстеження, призначуване для всезагального контролю стану здоров'я населення, такого співвідношення користі і ризику не має. Мільйони цілком нормальних здорових індивідуумів опромінюються без будь-якої для них користі, тільки щоб випадково виявити в когось із них якесь порушення... І тому, безперечно, це не виправдовує опромінення мільйонів людей, у яких результат обстеження виявиться негативним. Розумним компромісом може бути обмеження щорічної *рентгенографії* грудної клітки тільки завзятим курцям і робітникам, чия професія пов'язана з ризиком, наприклад, таких як шахтарі уранових копалень або робітники азбестових виробництв» [10].

В Інституті фтизіатрії та пульмонології імені Ф.Г. Яновського професор В.М. Мельник у 2000 р. провів доскіпливе дослідження корисності флюорографічного скринінгу на туберкульоз і дійшов такого висновку:

«...економічна недоцільність скринінгової флюорографії очевидна, особливо за нинішніх кризових умов. Адже на гроші, витрачені на виявлення флюорографічним методом 1 хворого [на туберкульоз], можна вилікувати 22,68 пацієнтів, які самі звернуться до лікаря із симптомами хвороби. Ось чому за кордоном відмовилися від скринінгової флюорографії» [9].

В Наказі МОЗ України від 17.05.2008 № 254 «Про затвердження Інструкції про періодичність рентгенівських обстежень органів грудної порожнини» указано про необхідність забезпечення проведення профілактичних та діагностичних рентгенівських обстежень органів грудної порожнини *«певних категорій населення»* України (п.2.1), однак в самій Інструкції перераховані практично всі категорії населення, що приводить до обов'язкового призначенням дослідження для всіх пацієнтів.

Надто важливою в рентгенодіагностиці є проблема контролю опромінення черевної порожнини і ділянки таза вагітних чи можливо вагітних жінок, оскільки при опроміненні ембріона чи плоду виникають тяжкі наслідки для народженої дитини у вигляді злоякісних пухлин і вад розвитку органів. Нажаль не усі рентгенологи знають «правило десяти днів». Між тим, це правило активно застосовується в країнах Заходу ще з 70-х років минулого сторіччя і полягає воно в рекомендації проводити жінкам такі дослідження протягом перших 10 днів місячного циклу, коли вагітність гарантовано відсутня.

На жаль, така впертість у непослуху до доведених фактів стимулюється в Україні як лікарями, так і організаторами охорони здоров'я. Тільки впровадження контролю рентгенівських апаратів та доз пацієнтів на регулярній основі, що повинні виконувати медичні фізики, дало б можливість змінити ситуацію в рентгенодіагностиці.

Останнього часу МАГАТЕ ввела у вжиток нове поняття *культура безпеки* замість *гарантія безпеки*. Така заміна особливо доречна для медицини як найбільш гуманної царини людської практики, кредо якої — «не зашкодь» пацієнту.

Оскільки існують ризики дії низьких доз радіаційного опромінення у вигляді індукції виникнення смертельних злоякісних пухлин у дітей і дорослих або уроджених вад при їх дії на зародок чи плід, лікарі мають усвідомлювати свою відповідальність за зменшення можливості виникнення такої шкоди як для суцільних, так і ненароджених. *Культура безпеки* є категорією *моральною*, а не технологічною, і тому роль людської *моральності* в забезпеченні безпеки в цьому разі є базовою, наріжною, фундаментальною. А оскільки медики повсякчас діють в психологічному полі, логічно виправданим буде визначити створення умов безпеки пацієнта за радіологічних процедур культурою *медичного опромінювання*.

Тут доречно навести вислів К. Маркса: «Будь-які технологічні досягнення наче б оплачуються моральною деградацією». Тобто, які б нові технічні відкриття не впроваджувалися в практику медичної радіології, без підвищення культури безпеки персоналу та без впровадження системи контролю якості проведення досліджень з залученням медичних фізиків, такий прогрес призведе до збільшення не виправданого радіаційного ризику для населення.

Завершити цей огляд все ж доречно цитатою із Антуана де Сент-Екзюпері: «Я вірю, настане день, коли невідомо чим хвора людина віддасться в руки фізиків... Не питаючи ні про що, ці фізики візьмуть у нього кров, виведуть якісь постійні, перемножать їх одну на іншу. Потім, звірившись з таблицею логарифмів, вони вилікують однією єдиною пігулкою. І все ж, якщо я захворію, то звернуся до старого сільського лікаря, він гляне на мене краєм ока, пощупає пульс і живіт, послухає. Потім кашляне, розкуривши трубку, потре підборіддя і посміхнеться мені, щоб краще втамувати біль. Зрозуміло, мене захоплює наука, але мене захоплює і мудрість».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Atomic Energy Agency (2011), "Planning National Radiotherapy Services: A Practical Tool, Human Health Series", IAEA, Vienna, No. 14, available at: <https://www.iaea.org/publications/>

[8419/planning-national-radiotherapy-services-a-practical-tool](https://www.iaea.org/publications/8419/planning-national-radiotherapy-services-a-practical-tool)

2. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, Safety Series, BSS № 115. – Vienna: IAEA, 1996. – 354 p.
3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. – Vienna: IAEA, 2014. – 354 p.
4. International Atomic Energy Agency Division of Human Services: Directory of Radiotherapy Centres (DIRAC), available at: <https://dirac.iaea.org/>.
5. Radiation Therapy Equipment 2017-2025 - Global Market Analysis, Trends, and Forecasts Report 2019 - Varian and Elekta Rule the Radiotherapy Equipment Market (2019), *Research and Markets*, available at: https://www.researchandmarkets.com/reports/338872/radiation_therapy_equipment_market_analysis
6. Рак в Україні, 2018 – 2019. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби (2020). БЮЛЕТЕНЬ НАЦІОНАЛЬНОГО КАНЦЕР-РЕЕСТРУ УКРАЇНИ № 21. Режим доступу: <http://www.ncru.inf.ua/>.
7. Всесторонні аудити практики променевої терапії: засіб для підвищення якості (Група аудиту забезпечення якості в радіаційній онкології (КВАТРО), МАГАТЕ, Публ. № 1297, Відень, 2008,- 92 с.
8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. – К.: Відділ поліграфії Укр. Центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997. – 121 с.
9. Всесвітня Організація Охорони Здоров'я.
10. E. J. Hall. Radiation and life, 1984.
11. Tuberculosis programme, 1994.

**ДЕРЖАВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЯДЕРНОЇ ТА РАДІАЦІЙНОЇ
БЕЗПЕКИ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ
COVID-19: ВИКЛИКИ, РИЗИКИ, ПРОБЛЕМИ, РІШЕННЯ**

О.В. Вісков, Р.Ф. Тріпайло

*Державна інспекція ядерного регулювання України, Київ, Україна,
+380342751303, o.viskov@gmail.com*

Анотація. Розглянуто питання здійснення державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки в умовах пандемії COVID-19 в контексті діяльності закладів охорони здоров'я.

Annotation. The issue of state regulation of nuclear and radiation safety in the condition of the COVID-19 pandemic in the context of the activities of health care facilities is considered.

Ключові слова: Державне регулювання, COVID-19, ліцензування, державний нагляд.

За останні 20 років в Україні була вибудована достатньо дієва модель державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки. Чітку і планомірну роботу як регулюючого органу, так і суб'єктів провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ), порушило запровадження протипандемічних заходів у відповідь на небезпеку розповсюдження коронавірусу SARS-CoV-2.

Тут слід зауважити, що відповідно до діючих в країні Норм радіаційної безпеки (НРБУ-2005), медичне опромінення відноситься до радіаційно-гігієнічних регламентів другої групи, а протирадіаційний захист при ньому базується на принципах виправданості, оптимізації і неперевищення. І от два із цих принципи – виправданості та оптимізації були піддані серйозному випробуванню під час COVID-19. До запровадження в практику широкого застосування експрес-тестів та ПЛР тест-систем, для непрямої діагностики SARS-CoV-2 використовувались (і продовжують використовуватись) рентгенографічні методи, зокрема, КТ-дослідження. Фактично, в окремих регіонах країни КТ-дослідження органів грудної клітини перетворились мало не на скринінговий метод досліджень.

Тобто, з одного боку, маємо ознаки порушення основоположних принципів радіаційної безпеки, а з іншого, НРБУ-97 не пропонує нам жодної альтернативи. Дійсно, вважати ситуацію «аварійним опроміненням» ми також не можемо, оскільки в ній відсутня основна ознака радіаційної аварії – втрата регулюючого контролю над джерелом.

І тут постає питання пріоритетів: реальна загроза життю і здоров'ю людини від COVID-19 чи потенційна шкода її здоров'ю від застосування радіаційних методів діагностики? Насправді, ми можемо лише констатувати, що в умовах

пандемії, діючі в країні норми радіаційної безпеки виявились недостатньо гнучкими. А в слід за ними, недостатньо гнучкими виявились і регулюючі вимоги.

Ми маємо усвідомлювати, що «машина» державного регулювання є доволі інертною і оперативно змінити регулюючі вимоги та процедури у відповідь на загрози, що швидко розвиваються – дуже важко. Тим більше в умовах, коли і заклади охорони здоров'я, і сам регулюючий орган опинились в непростій ситуації.

За спостереженнями Держатомрегулювання, під час COVID-19 прослідковуються наступні ризики щодо суб'єктів провадження діяльності з використання ДІВ:

- тимчасова, або постійна втрата кваліфікованого персоналу у ліцензіатів;

- потенційна втрата контролю над ДІВ через економічні (фінансові труднощі, тимчасове чи на завжди закриття підприємств) та організаційні (призупинення надання послуг з навчання персоналу, радіаційного контролю, технічного обслуговування та ремонту, поводження з РАВ тощо) чинники;

- свідоме вимушене обмеження застосування положень норм та правил радіаційної безпеки ліцензіатами.

При цьому сам регулюючий орган також отримав ряд викликів, зокрема:

- тимчасову втрату кваліфікованого персоналу в регулюючому органі;

- обмеження щодо можливості здійснення заходів державного нагляду та примусу;

- потенційна втрата регулюючого контролю над ДІВ через відсутність ефективної та достовірної комунікації між регулятором та ліцензіатом;

- здійснення регулювання в умовах, коли не всі традиційні регулюючі положення норм та правил можливо застосувати;

- питання етики застосування заходів примусу.

Держатомрегулювання не має готових протоколів для діяльності в умовах пандемії, тому перелаштовувати свою роботу довелося оперативно. За короткий час було:

- розроблено процедури участі у вебінарах, учбових курсах та інших національних та міжнародних заходах з метою підтримки належної кваліфікації персоналу регулятора;
- впроваджено в роботу систему електронного документообігу, що дозволило працювати дистанційно, отримувати, підписувати, відправляти документи, приймати заяви й ліцензійні пакети в електронному вигляді;
- розроблено новий веб-сайт регулятора із максимально-доступною інформацією для ліцензіатів;
- проведено аналіз регулюючих процедур інспектування та ліцензування, необхідних ресурсів, компетенцій, потрібних для виконання функцій регулювання в нових умовах, проведена оцінка слабких і сильних сторін.

Тим не менше, вважаємо, що досягнутого – не достатньо. Держатомрегулювання України необхідно розробити нову комунікаційну стратегію для діяльності в умовах пандемії з метою покращення взаємодії на всіх рівнях – всередині самого регулюючого органу, з ліцензіатами, іншими органами влади та громадськістю.

Держатомрегулювання усвідомлює нарізлу необхідність спрямувати свої зусилля на розширення номенклатури ІТ-інструментів, зокрема, розгортання інформаційних систем регулятора на веб-платформах: «Регістр ДІВ», «Облік РАВ», «Облік індивідуальних доз опромінення», «Електронне ліцензування», «Державний нагляд», портали знань, дистанційні навчальні курси, а також процедури визнання експертів, осіб, до повноважень яких віднесено відповідальність за радіаційну безпеку у ліцензіата та багато іншого.

Практика державного регулювання повинна також передбачати нові можливості з підвищення компетенцій та знань в сфері радіаційної безпеки, перегляд національних

стратегій і технічних можливостей, планування підготовки кадрів.

В контексті ліцензування Держатомрегулювання України необхідно розробити спеціальні процедури для окремих закладів охорони здоров'я, які знаходяться на вістрі боротьби з захворюваннями, що сягають масштабів пандемії.

З одного боку, важливо в максимально стислі терміни видати відповідний дозвіл на використання необхідного для лікарні обладнання чи технології, а з іншого – бути впевненим, що це обладнання чи технологія буде використовуватись у безпечний спосіб.

Окреме проблемне питання – проведення інспекційних перевірок. На сьогоднішній день реалізувати програму перевірок в повному об'ємі просто неможливо. Це пов'язано із введеними обмеженнями щодо службових поїздок через проблеми із транспортним сполученням та заборонами на відвідування окремих медичних закладів. Держатомрегулювання здійснює пошук альтернативних шляхів проведення перевірок, зокрема, віддалених, дистанційних, віртуальних чи електронних.

В будь-якому випадку, такі перевірки не передбачені діючими регулюючими процедурами і ці процедури необхідно буде переглядати.

Необхідно також впроваджувати механізми більш ретельної підготовки до проведення інспекцій – організація відео-конференцій з ліцензіатами для перевірки документів і проведення співбесід з ключовими персоналіями ліцензіатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»: Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997, № 62.

ПРИВЕДЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЗІ ЗМІННИМ ПЕРЕРІЗОМ ДО СТАЛОГО

**Д.О. Бєлих, В.І. Богорад, Т.В. Литвинська,
В.А. Полудненко, І.А. Калита,
О.Л. Колодійчук, К.О. Крячок**

*Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної
та радіаційної безпеки» (ДП «ДНТЦ ЯРБ»), Київ, Україна,
+380 (44) 422-49-70, do_belykh@sssc.ua*

Анотація. Представлений спосіб приведення біологічного захисту зі змінним перерізом до еквівалентного захисту зі сталим перерізом, розраховано свинцевий еквівалент багатопустотної залізобетонної плити товщиною 220 мм у наближенні рівномірного розподілу часу знаходження людей за цим захистом (плитою) для гальмівного спектру випромінювання з максимальним значенням енергії 100 кеВ.

Ключові слова: багатопустотна плита, біологічний захист, приведення, розподіл знаходження, функція.

При проведенні розрахунків біологічного захисту від іонізуючого випромінювання, в тому числі рентгенівських кабінетів, важливе значення має оцінка захисних властивостей огорожуючих конструкцій зі змінною товщиною поперечного перерізу. Яскравим прикладом такого захисту може слугувати багатопустотна плита перекриття типу ПК [1] (а також інші стандарти, що були чинні до [1]), яка доволі часто зустрічається в розрахунках захисту рентгенівських кабінетів. Дослідження [2], яке було проведене Державним підприємством «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» показують, що багатопустотні плити перекриття зустрічається в будівлях рентгенівських кабінетів в 61 % випадків. Отже актуальність методики, яка дозволить перевести такий захист до еквівалентного суцільного, полягає у можливості отримання максимально наближеного до реалістичного розподілу дозових полів за

захистом, та як наслідок може бути дієвим інструментом оптимізації радіаційного захисту.

В [3] представлено просту методику приведення захисту зі змінним поперечним перерізом, а саме: розглядати такий захист з товщиною рівною мінімальному значенню товщини в поперечному перерізі. Наприклад, багатопустотна плита перекриття товщиною 220 мм з повздовжніми циліндричними отворами діаметром 159 мм буде виглядати як монолітна залізобетонна плита товщиною 61 мм (220-159 мм), зображено на рисунку 1. Перевага цього методу приведення – незалежність від розподілу знаходження людей за захистом. Розподіл знаходження людей розуміється, як вірогідність перебування особи у певному місці зі всіх можливих відносно захисту, або як частка проміжку часу перебування особи у певному місці біля захисту. При цьому важливо підкреслити, що мова іде про особу, що отримує найбільшу дозу опромінення, з числа тих, хто може знаходитись біля захисту. Розподіл знаходження людей залежить від зайнятості суміжного приміщення (наприклад: постійне перебування персоналу, епізодичне перебування). Незалежність методу обумовлена вибором найгіршого - консервативного варіанта. До недоліків такого підходу можна віднести те, що для приміщень з малою зайнятістю (коридор) таке приведення може бути занадто консервативним.

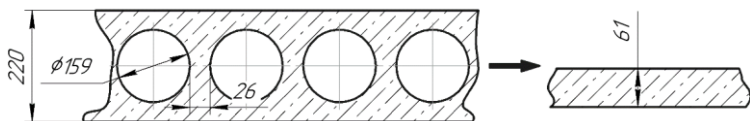


Рисунок 1 – Приведення багатопустотної плити перекриття за методом [3].

В цій роботі пропонується методика приведення біологічного захисту зі змінним перерізом до сталого, яка враховує змінність перерізу. В її основі лежить використання функції розподілу знаходження людей за захистом. Основні наближення, які використовуються в методиці:

- 1) розрахунок дози виконується для точки;

2) зміна інтенсивності випромінювання, за рахунок зміни відстані від джерела, а також кута падіння по довжині та висоті захисту (ширині у випадку захисту зверху або знизу) не враховується (зазвичай в розрахунках захисту обирається найменша відстань від джерела випромінювання до захисту, це дозволяє значно спростити розрахунки та робить їх більш універсальними), фактично приймається, що точка розрахунку не виходить з певної ізодозної поверхні, яка за наближенням 2 має форму площини за відсутності захисту, зміна форми ізодозної поверхні може бути тільки за рахунок зміни товщини поперечного перерізу біологічного захисту.

За таких припущень дозу, яку отримає найбільш опромінена людина за захистом зі змінним поперечним перерізом у продовж часу T на певній відстані від джерела, можна представити таким чином:

$$D = \sum_i P_i \cdot \Delta t_i, \sum_i \Delta t_i = T, \quad (1)$$

де: P_i – потужність дози в конкретній точці, яка позначається індексом i ; Δt_i – частина загального часу T , упродовж якого людина знаходиться в точці i .

Вираз (1) можна переписати наступним чином і отримати:

$$D = \sum_i P_i \cdot \frac{\Delta t_i}{T} \cdot T = \sum_i P_i \cdot f_i \cdot T \xrightarrow{D=P \cdot T} P = \sum_i P_i \cdot f_i, \quad (2)$$

де: f_i – функція розподілу знаходження людей за захистом (очевидно, що $\sum_i f_i = 1$); P – середня потужність дози.

Дуже зручно при розрахунках біологічного захисту користуватися величиною кратності ослаблення (зазвичай позначається K), або оберненою до K величиною – коефіцієнтом проходження (функція проходження – transmission function [3], позначається B). Фактично B – відношення дози або потужності дози в певній точці за захистом до дози або потужності дози в цій точці за відсутності захисту. Отже якщо поділимо вираз (2) на P_0 – значення потужності дози в певній точці за відсутності

захисту, приймаючи до уваги наближення 2, отримаємо наступний вираз:

$$\frac{P}{P_0} = \sum_i \frac{P_i \cdot f_i}{P_0} \xrightarrow{P/P_0=B} B = \sum_i B_i \cdot f_i \quad (3)$$

де: B – середнє значення функції проходження, B_i – локальне значення функції проходження.

В являє собою функцію від товщини захисту (позначимо як x) для певної енергії випромінювання та матеріалу захисту. Розбивши захист зі змінним перерізом на малі частини, зі сталою товщиною x_i можна порахувати B_i , далі помноживши B_i на значення f_i в межах частини i підсумувавши по усім частинам отримаємо B , з якого можна визначити середнє (еквівалентне) значення x .

Основна складність використання цього методу полягає у визначенні функції розподілу знаходження людей за захистом. В загальному випадку її можна визначити за допомогою спостереження за людиною (наприклад аналіз потоків людей аналітичними системами відеоспостереження).

Як приклад, розрахуємо значення x для багатопустотної плити, яка слугує верхнім перекриттям в рентгенівському кабінеті, де експлуатується рентгенівський апарат з номінальною напругою прискорення 100 кВ. Припустимо, що зверху знаходиться коридор. Очевидно, що в цьому випадку для таких приміщень з малою зайнятістю функцію розподілу знаходження людей можна вважати сталою. Отже, кожне значення $f_i = 1/n$, де n – це кількість частин, на які розбивається захист. У випадку сталої f , приймаючи до уваги однаковість форми подовжнього перерізу плити в одній з площин, доцільно розбивати плиту за поперечним перерізом (вид якого вказаний на рисунку 1) на прямокутники шириною Δl_i і сталою висотою x_i . Використовуючи $B(x)$ при 100 кВ для бетону з [3] отримаємо еквівалентне значення $x = 81$ мм замість 61 мм.

Це дозволяє більш реалістично оцінювати захист із складною конфігурацією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2-6-53:2008. Конструкції будинків і споруд. Технічні умови. Плити перекриттів залізобетонні багатопустотні для будівель і споруд. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ, Мінрегіонбуд України 2009. 23 с.
2. Белих Д. О., Литвинська Т. В., Белов Я. Ю. Аналіз проблем вхідної інформації при проведенні експертизи з ядерної та радіаційної безпеки влаштування рентгенівських кабінетів. Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології : тези доп. VIII міжнародна конференція (м. Київ, 26-27 вересня 2019 р.). Київ, 2019. С. 111–113.
3. NCRP (2004). Structural Shielding Design for Medical Use of X-rays Imaging Facilities. NCRP report no. 147, USA.

ДО ПИТАННЯ ОЦІНОК ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ

Т.О. Павленко

*ДУ "Інститут громадського здоров'я ім О.М. Марзеева НАМНУ", Київ,
Україна, +380445139412, travlenko@ukr.net*

Анотація. Рекомендації МКРЗ щодо нових дозових коефіцієнтів привели до проблеми з лімітами доз та контрольними рівнями в ситуації планового опромінення. Міжнародна експертна група проаналізувала всю наявну інформацію і оцінила наслідки застосування цих коефіцієнтів для практики. Комітет стандартів безпеки МАГАТЕ, розглянувши доповідь експертів, надав рекомендації для розрахунків доз опромінення на робочих місцях і оцінки доз персоналу.

Ключові слова: дозові коефіцієнти, радон, персонал, доза опромінення.

Члени Міжнародного комітету стандартів радіаційної безпеки (RASSC) МАГАТЕ на 47-му засіданні в листопаді 2019 р., заслухавши висновки міжнародної експертної групи, надійшли згоди щодо застосування нових дозових коефіцієнтів Публікації 137 МКРЗ [1] та надали відповідні

рекомендації для національних регуляторів та практики. Дискусія з цього питання тривала кілька років.

У 2018 році МКРЗ опублікувала нові, вищі за попередні конверсійні коефіцієнти для розрахунку дози від радону, які безпосередньо впливають на оцінки доз опромінення персоналу. Для більшості робочих місць МКРЗ рекомендує використовувати коефіцієнт переходу для радону-222 і його ДПР у $3 \text{ мЗв/мДж год м}^3$ (приблизно 10 мЗв/WLM), що еквівалентно $6,7 \text{ нЗв/Бк год м}^3$ з коефіцієнтом рівноваги 0,4 [1]. Якщо перерахувати величину референтних рівнів BSS [2] – 300 Бк/м^3 для будинків та 1000 Бк/м^3 для робочих місць у дози, то відповідні величини будуть складати 14 та 13 мЗв/рік. При розрахунках доз опромінення персоналу застосування цих дозових коефіцієнтів може приводити до величин, більших за приведені у GSR частина 3 (BSS) [2], і значно перевищувати 20 мЗв у рік. Це потенційно може впливати на виробничі процеси (кількість зайнятих людей) чи термін надання послуг однією особою (наприклад, медицина) і потенційно приводить до збільшення кількості контрольованих робочих місць та людей, класифікованих як персонал.

Ця проблема не стосується існуючої ситуації опромінення, коли опромінення радоном контролюється через контрольні рівні, а не дози. В цьому випадку Комітет рекомендує користуватися поточними контрольними рівнями, які виражені в одиницях активності радону-газу, а саме: 300 Бк/м^3 для будинків і 1000 Бк/м^3 для робочих місць [2].

Інша ситуація складається з планованою ситуацією опромінення (персонал). В цьому випадку для розрахунків доз МАГАТЕ рекомендує використовувати коефіцієнт 10 мЗв/WLM для робочих місць, якщо інший конверсійний коефіцієнт не виправданий умовами праці та специфічними характеристиками аерозолі (наприклад, уранові шахти). Для офісних приміщень (наприклад, кабінети у медичних закладах) дози опромінення розраховуються за умови, що контрольний рівень $1000 \text{ Бк/м}^3 = 10 \text{ мЗв/рік}$.

Необхідно зазначити, що країни можуть самостійно встановлювано контрольні рівні, нижчі за рекомендовані BSS, проте ці величини добре узгоджені і досить низькі для подальших дій щодо оптимізації радіаційного захисту робітників, включаючи персонал.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ICRP, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides, Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46 (3/4)
2. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. General safety requirements part 3 (GSR Part 3) (IAEA, Vienna, 2014) Режим доступу: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>.

ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ КОМУНІКАЦІЙ ЩОДО РАДОНОВИХ РИЗИКІВ

М.А. Фризюк, М.В. Аксьонов, Т.О. Павленко

*Державна установа "Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва
Національної Академії медичних наук України",
+38044 513 9412; m.friziuk@gmail.com*

Анотація. Представлені загальні принципи комунікації щодо ризиків від радону як невід'ємної частини національного плану дій. Розглянуто стратегію комунікації, зазначені зацікавлені сторони, канали інформування, важливі аспекти та правила процесу комунікації.

Ключові слова: комунікація щодо ризиків від радону, стейкхолдери, план дій щодо радону.

Комунікація щодо ризиків – це процес інформування людей про потенційні небезпеки для них самих, їх власності або суспільства. Науковці визначають комунікацію щодо ризиків як науково обґрунтований підхід до ефективного надання інформації в ситуаціях високого стресу, високої стурбованості чи протиріч [1].

Процес комунікації є необхідною умовою реалізації права кожної людини бути проінформованою щодо дії факторів, які становлять небезпеку для її життя і здоров'я, та права на участь у прийнятті рішень щодо управління ризиком, пов'язаним з дією цих факторів [2].

Теорія та практика комунікації щодо ризиків може включати розв'язання конфліктів, оцінку ризику, оцінку ефективності процесу надання інформації тощо [1].

Комунікація щодо ризиків від радону є специфічною вимогою Основних стандартів безпеки МАГАТЕ (вимога 50) [3]. Згідно з цією вимогою, уряд повинен надавати інформацію про радон в приміщенні та пов'язані з ним ризики для здоров'я. Для цього уряд має забезпечити:

а) збір інформації про рівні радону в житлових та інших будівлях з постійним перебуванням людей за допомогою відповідних заходів, таких як репрезентативні радонові дослідження;

б) надання населенню та іншим зацікавленим сторонам відповідної інформації щодо ризиків для здоров'я, обумовлених опроміненням радоном, включаючи підвищені ризики, пов'язані з курінням.

Однак відповідальний орган влади не повинен обмежуватись простим наданням інформації, щоб гарантувати, що інформація отримана та взята до уваги. Комунікація щодо радонових ризиків є одним з ключових напрямків діяльності плану дій. Вона повинна здійснюватись на всіх етапах його реалізації [4].

Ефективна комунікація щодо ризиків передбачає багатосторонній інформаційний потік за участю стейкхолдерів (stakeholders). По суті, стейкхолдери – це всі потенційні учасники реалізації плану дій, починаючи з органів державної влади, міністерств, регулюючих органів, бізнесу і закінчуючи ЗМІ, громадськими організаціями та населенням (рисунок 1).

Як видно з рисунка 1, щоб надати певну інформацію за допомогою відповідних засобів різним зацікавленим сторонам, корисно згрупувати їх відповідно до їх потреб та

характером їх участі. Державні або регіональні зацікавлені сторони, ймовірно, будуть задіяні на ранніх етапах реалізації плану дій. Населення є ключовою зацікавленою стороною і також дає важливий внесок на ранніх етапах шляхом участі в дослідженнях рівнів радону у будинках і надання громадської думки (реакції) на проекти керівництв щодо захисту від радону та інш. Будівельна промисловість представляє важливих партнерів, оскільки вони будуть надавати експертний внесок з точки зору практичних аспектів стосовно здійснення протирадонових заходів – реконструкції будинків, внесення поправок в методи будівництва тощо, а також можливостей вирішення проблеми радону при продажу нерухомості. Крім того, вони будуть цінними вторинними посередниками щодо комунікації з населенням. Експерти/науковці, ймовірно, будуть задіяні впродовж всього терміну реалізації плану дій, оскільки вони надають експертний внесок на ранніх етапах оцінки ризиків та розробки політики захисту від радону, а потім працюють над усуненням прогалин у знаннях та вдосконаленням цієї політики.



Рисунок 1 – Деякі ключові зацікавлені сторони

Комунікація щодо ризиків від радону є спільним інтересом політиків і зацікавлених сторін на місцевому та національному рівнях. Цей процес стикається з багатьма проблемами та вимагає різних стратегій та підходів щодо інформування в залежності від аудиторії. Національні та

регіональні департаменти, місцеві органи охорони здоров'я та некомерційні організації мають співпрацювати для обміну знаннями, досвідом, ресурсами та ідеями, які будуть стимулювати проведення вимірювань рівнів радону та здійснення захисних заходів.

Ефективна стратегія інформування про ризики вимагає врахування демографічного і соціально-економічного контексту населення та використання як кількісних, так і якісних підходів до інформування. Вона повинна мати чіткі і досяжні цілі та створити основу для зміни поведінки людей. Дії мають бути зосереджені на інформуванні про радон різних цільових аудиторій і переконанні цих аудиторій вжити заходів. Ця стратегія повинна являти собою спільні зусилля за участю як технічних експертів (наприклад, фахівців та вчених у галузі радіаційного захисту, епідеміологів), так і експертів з інформування (наприклад, соціологів, психологів, журналістів) [5,6].

Національна стратегія комунікації щодо радонових ризиків завжди залежить від фактичної ситуації в країні (масштабів проблеми, законодавства, рекомендацій, рівня дій, людських ресурсів та інш.), загальної мети плану дій щодо радону (наприклад, зниження середнього рівня в країні або просто високих концентрацій радону), встановлених часових рамок, доступних бюджетних ресурсів тощо. Комунікація має бути безперервним процесом [4].

Важливим аспектом в процесі комунікації щодо ризиків є попередня оцінка обізнаності щодо радонових ризиків в цільовій аудиторії. Наступним кроком є підвищення рівня обізнаності та підтримка/пропаганда дій щодо зниження опромінення людини радоном. Для досягнення цієї мети буде ефективним рішенням цільова, скоординована і комплексна кампанія опитування та інформування, яка може з часом змінюватись. Вона вимагає ретельного планування та стратегічного підходу. Найважливіше, що це потребує виділення фінансових і людських ресурсів [5]. Основні

правила комунікації щодо ризиків, що можуть бути ефективно застосовані стосовно дії радону, включають [1]:

- залучення населення як повноцінного партнера, врахування специфіки аудиторії;
- ретельне планування з наступною оцінкою ефективності програм;
- врахування думок та емоційного сприйняття ризику населенням;
- чесний, відкритий процес інформування;
- координація зусиль та співпраця з різними партнерами;
- врахування потреб ЗМІ;
- чітка, емоційно забарвлена побудова повідомлень для населення.

Що стосується конкретно питання радону, то тут головна проблема, яку слід враховувати при впровадженні системи інформування про ризики, полягає в *недооцінці населенням небезпеки, пов'язаної з дією радону* [2].

З метою комунікації необхідно використовувати різні канали для надання повідомлень про ризики від радону, наприклад, через соціальні мережі, семінари, вебінари, публічні форуми, виступи перед громадськістю в школах та установах, цільові радіокампанії, кампанії в ЗМІ, розповсюдження брошур і книжок поштою та через організації, особисті зустрічі з громадянами біля їх домівок, які проводять співробітники соціальних служб, використання шляхів комерційної реклами, а також партнерські відносини з різними відомствами та неурядовими організаціями [6,7].

Треба мати на увазі, що дії щодо радону не принесуть швидкого виграшу. План дій є багаторічною програмою на 10 і більше років.

Таким чином, системи комунікації, яка забезпечить формування належного сприйняття ризику від радону населенням країни, є обов'язковим та важливим компонентом для реалізації плану дій щодо радону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. United States Environmental Protection Agency (US EPA). Risk communication. URL : <https://www.epa.gov/risk/risk-communication>
2. Осадча, О. М. "Risk communication" як один з основних інструментів екологічної політики при захисті населення від опромінення радоном // Наукові записки НаУКМА. 2000. Т. 18. Спеціальний випуск. Ч. 2. С. 329-334.
3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 3. Vienna : IAEA, 2014. 436 p.
4. Fojtikova I. Communication strategies. Key rules and basic concepts // IAEA Regional Workshop on Support of Member States in Developing and Implementing National Programmes for the Control Public Exposure to Radon. Sofia, Bulgaria, 13-17 October 2014. 42 p. URL : http://www.radon.bg/radon/documents/Fojtikova-Radon_Communication_Sofia2014.pdf.
5. WHO Handbook on Indoor Radon: a Public Health Perspective / ed. by H. Zeeb and F. Shannoun. Geneve : WHO, 2009. 94 p.
6. Cheng W. Radon risk communication strategies: a regional story // Journal of Environmental Health. 2016. Vol. 78 (6). P. 102-107.
7. Осадча О. М. Правові, методологічні та організаційні проблеми інформування населення про радіаційні ризики на прикладі радону // Наукові записки НаУКМА. 2003. Т. 22. Ч. 3. Природничі науки. С. 420-425.

ОБЛАДНАННЯ КОМПАНІЇ «КАНБЕРРА ПАККАРД» ДЛЯ ДОЗИМЕТРИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕДИЧНОЇ РАДІОЛОГІЇ

С.В. Самочерних

ТОВ «Канберра Паккард», Київ, Україна, s.samochnykh@cpce.net

Анотація. У статті проаналізовано технічні характеристики устаткування, яке застосовується при променевій терапії, в діагностичній радіології, для забезпечення контролю якості проведення процедур із використанням ДІВ та контролю якості апаратів.

Ключові слова: Устаткування, променева терапія, гарантія якості, дозиметрія, дозиметр, фантом, діагностична радіологія.

Компанія Канберра Паккард здійснює продаж, установку, гарантійне і післягарантійне обслуговування устаткування виробництва ряду компаній США, Великої Британії, Італії та Німеччини в галузях атомної енергетики, ядерної фізики, променевої терапії, ядерної медицини, радіоекологічного моніторингу та радіології.

Продукція німецької компанії PTW-Freiburg призначена для вирішення основних завдань по гарантії якості радіотерапії та зниження дозового навантаження на пацієнтів і персонал.

Збільшення дози на об'єм злоякісної пухлини без перевищення толерантної дози на оточуючі здорові тканини є ключем до поліпшення клінічних результатів. Сучасні вимоги по точності підведення дози в межах 5% вимагають проведення ретельної дозиметрії і контролю якості променевої терапії - це єдиний спосіб мінімізувати різницю між дозою, що запланована та реально підведена.

Програма Гарантії якості в променевій терапії виділяє дозиметричний супровід як одну з основних позицій, що забезпечують точність підведення запланованої дози і отримання очікуваного клінічного результату.

До терапевтичних апаратів для контактної і дистанційної променевої терапії необхідні набори обладнання для проведення абсолютної (калібрування джерел випромінювання) і відносної (просторові профілі розподілення терапевтичних пучків). Останнім часом все ширше застосовуються набори для in-vivo (пряма дозиметрія пацієнта під час сеансу опромінення) дозиметрії.

Одним з ключових приладів при проведенні дозиметрії є клінічний дозиметр UNIDOS webline (виробництва PTW-Freiburg), що є сучасним універсальним дозиметром з мікропроцесорним управлінням, який знайшов широке застосування в медичній радіології, дозиметрії та захисті від іонізуючого випромінювання. UNIDOS webline використовує

в якості детекторів різні види іонізаційних камер і твердотільних детекторів, серед яких:

- стандартна іонізаційна Фармер-камера об'ємом 0.6 см^3 - для фотонів і високоенергетичних електронів;
- водонепроникна камера типу Semiflex об'ємом 0.125 см^3 - для використання у водних фантомах;
- плоско-паралельна камера об'ємом 0.02 см^3 - для м'яких рентгенівських променів до 100 кеВ;
- іонізаційна Маркус-камера - для електронів високих енергій;
- дозиметричні діоди і алмазний твердотільний детектор - для спеціальних застосувань, коли потрібні малі розміри детектора;
- СТ-камера довжиною 15 см -для вимірювання розподіленої дози в комп'ютерній томографії;
- циліндрична камера об'ємом 30 см^3 і сферичні камери об'ємом 1 л і 10 л - для контролю ефективності захисту при вимірюванні різних рівнів дози і потужності дози на робочих місцях персоналу.

Для проведення абсолютної дозиметрії і аналізу терапевтичних пучків, калібрування вимірювальних камер відповідно до протоколів ICRU, пропонується понад 10 типів фантомів. Фантими різних типів забезпечують швидке і якісне проведення всього комплексу дозиметричного забезпечення в рамках програми гарантії якості.

Основними типами фантомів, які пропонує компанія PTW-Freiburg, є:

- Механізовані водні фантими з трьох-координатним (MP3), двох-координатним (MP2) і одно-координатним (MP1) прецизійним позиціонуванням детектора з точністю до 0,1 мм.
- Спеціалізовані механізовані водні фантими для дозиметрії малих полів (апарати для стереотаксії, томо- та протонної терапії).
- Стаціонарні водні фантими для швидкого проведення абсолютної дозиметрії на заданій глибині.

- Твердотільні пластинчасті фантоми, виготовлені з акрилу (70 кВ – 50 MB) або з RW3 (Co^{60} – 25 MB) водноеквівалентного пластику типу "тверда вода".
- Спеціалізовані фантоми: для дозиметрії в брахітерапії, для вимірів дози в повітрі.

200-літровий аналізатор дозового поля MP3, з комп'ютерним управлінням, призначений для проведення повного обсягу вимірювань і аналізу пучків в променевої терапії, для дозиметрії будь-яких типів прискорювачів, джерел Co^{60} і Cs^{137} . Має розміри аналізованого поля 50 x 50 см в горизонтальній площині, точність позиціонування іонізаційної камери +/- 0.1 мм, швидкість переміщення 5 см/сек. Аналіз 45 см профілю займає приблизно 25 секунд. Система аналізу терапевтичних пучків на базі фантома MP3 поставляється разом з двоканальним дозиметром і програмним пакетом MERNYSTO, який відповідає за накопичення даних, їх обробку і передачу в плануючі системи різних фірм-виробників.

Найсучасніший аналізатор дозового поля моделі BeamScan має наступні корисні функції:

- вбудовані електроніка
- відсутність кабелів всередині бункеру
- полегшена верифікація SSD
- встановлення рівнів одним дотиком
- передача даних за допомогою WiFi
- нова система TRUFIX для полегшення встановлення детекторів
- новий вбудований електрометр.
- ще більша швидкість використання без втрати якості

Невід'ємною частиною забезпечення контролю якості в променевій терапії є проведення щоденного контролю параметрів пучка апарату. Найбільш універсальним приладом компанії PTW-Freiburg, який спеціально був розроблений для даних цілей, є QUICKCHECK webline. Прилад має чутливе поле з 13 іонізаційними камерами і дозволяє за короткий час

виміряти дозу, потужність дози, час експозиції, провести аналіз симетричності поля, статичних і динамічних клинів.

Особливим завданням у програмі контролю якості променевої терапії є контроль якості і верифікація планів IMRT. Для цих цілей компанія PTW-Freiburg випустила лінійку фантомів і матриць OCTAVIUS:

- OCTAVIUS® I - для проведення верифікації IMRT при нерухомому гантрі прискорювача.
- OCTAVIUS® II - октогональний фантом з матрицею для верифікації планів IMRT під різними кутами гантрі.
- OCTAVIUS® III - система для забезпечення верифікації планів і контролю лікування в реальному часі та проведення ін-віво дозиметрії.
- OCTAVIUS® 4D - перший в світі фантом, який обертається синхронно з гантрі і забезпечує верифікацію IMRT планів на підставі прямих вимірювань.

Крім цього, в арсеналі приладів і програм PTW-Freiburg є широкий спектр засобів для проведення контролю якості багатопелюсткових коліматорів, систем портальних зображень, проведення незалежної верифікації, контролю положення ізоцентра.

Дозиметрія в діагностичній радіології має аналогічні завдання з дозиметрією в променевої терапії. Основними напрямками є:

- Дозиметрія пацієнтів при проведенні діагностичних досліджень.
- Проведення абсолютної дозиметрії.
- Проведення контролю якості апаратів.

Для проведення дозиметрії пацієнтів застосовуються апарати серії PTW DIAMENTOR. Прилади DIAMENTOR застосовуються для визначення добутку дози на площу в діагностичній радіології. Датчик DIAMENTOR надягається на розтруб рентген-апарата після вихідного вікна або фільтра. Моделі DIAMENTOR M2 і M4 комплектуються двома камерами і можуть вимірювати два рентген-діагностичних апарата одночасно або використовуватися на апаратах з двома

рентгенівськими трубками. Обидві моделі мають опцію послідовного інтерфейсу для зв'язку з комп'ютером, а модель DIAMENTOR M2 може бути укомплектована вбудованим принтером для друку результатів вимірювання. Прилади даної серії задовольняють вимогам міжнародного стандарту IEC 580.

Дозиметри DIADOS спеціально розроблені для проведення дозиметрії в діагностичній радіології і використовуються для визначення дози, потужності дози, дози в імпульсі і часу опромінення діагностичних рентген-апаратів відповідно до DIN 6809 і IEC SC62C. У DIADOS використовуються не іонізаційні камери, а напівпровідникові детектори. Крім вигаду у вазі і розмірах, це дає наступні переваги:

- завдяки малому розміру, детектор не вносить збурення в основні зони налаштування управління опроміненням і автоматичного контролю яскравості;
- не потребують коригування на щільність повітря, тобто не потрібно купувати радіоактивні калібрувальні джерела й проводити поправку на атмосферний тиск і температуру;
- напівпровідникові детектори не вимагають високої напруги для роботи.

Для проведення контролю якості апаратів застосовуються різні спеціалізовані та універсальні прилади, самим затребуваним з яких є NOMEX. Це універсальний інструмент для контролю якості в діагностичній радіології, який дозволяє аналізувати всі типи рентген-апаратів, в тому числі і з високочастотними генераторами. Великий динамічний діапазон дозволяє проводити вимірювання і для флюороскопії з низькою потужністю дози і для радіографії з високою потужністю дози. NOMEX визначає напругу і силу струму рентгенівської трубки, фактор ослаблення і має можливість вимірювати розподілену по довжині дозу, що знайшло застосування в дозиметрії комп'ютерних томографів.

Особлива увага у всіх розробках компанії PTW-Freiburg приділяється системам контролю якості. Сертифікат якості

ISO 9001 означає, що розробка, виробництво і сервісне обслуговування продукції здійснюється відповідно до вимог вищого міжнародного стандарту якості, забезпечуючи високу точність, безпеку і надійність в роботі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс, режим доступу: <https://xstrahl.com/ru/>
2. Електронний ресурс, режим доступу: <https://www.ptwdosimetry.com/en/>
3. Електронний ресурс, режим доступу: <http://www.dosimetrics.de/>

ГІДРИД ТИТАНУ ЯК МАТЕРІАЛ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ

**І.А. Морозов¹, М.М. Коротенко², О.В. Бездорожєв¹,
А.В. Степаненко¹, Г.С. Цукров³**

¹ Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Київ, Україна

² ДП «НАЕК «Енергоатом», Київ, Україна

³ НТТУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, +380681000268, igor.morozov.kyiv@gmail.com

Анотація. Представлені експериментальні дані щодо дослідження нейтроннозахисних властивостей воденьвмісних матеріалів. Показано, що гідрид титану ПІМ НАН України може бути альтернативою матеріалу RX-277 при використанні його у якості захисту від нейтронів системи зберігання відпрацьованого ядерного палива Запорізької АЕС.

Ключові слова: гідрид титану, водень, захист від радіаційного опромінення.

В системі зберігання відпрацьованого ядерного палива (ЗВЯП) Запорізької АЕС, а саме у захисній кришці герметичного кошика, використовується матеріал RX-277 виробництва США [1, 2]. Головною функцією цього матеріалу є захист навколишнього середовища від нейтронного опромінення. Значна вартість RX-277, короткий термін зберігання (6 місяців), труднощі з його приготуванням для

залівки в захисну кришку, вимагають пошуку нових, дешевих та ефективних матеріалів захисту.

Основним завданням захисних матеріалів є ослаблення потоків нейтронів і фотонів у речовині. Нейтрони ефективно сповільнюються ядрами легких елементів (маса ядра атома Гідрогену і нейтрону практично рівні і при їх зіткненні енергія нейтронів гаситься до енергії теплового руху атомів), а фотонне випромінювання (гамма-кванти) ослаблюється ядрами важких елементів (металів, наприклад) [3]. Таким чином, для створення ефективних матеріалів захисту необхідно використовувати хімічні елементи з різною атомною вагою. Таким вимогам відповідають сполуки металів з воднем – гідриди металів. Їх основною особливістю є висока щільність атомів Гідрогену в кристалічній ґратці металу.

Як видно з таблиці 1 гідрид титану має одні з найвищих показників по щільності Гідрогену, а відносна низька ціна титану, практично необмежений термін зберігання, простота використання робить його практично беззаперечним лідером у виборі матеріалу для захисту від нейтронного опромінення.

Таблиця 1.

Вміст Гідрогену в різних сполуках [4]

Речовина	Щільність, кг/м ³	Об'єм Н ₂ (л) в 1см ³ гідрида	Число атомів Н в 1см ³ , *10 ²²
VH ₂	4630	1,946	10,53
TiH ₂	3779	1,685	9,12
AlH ₃	1480	1,647	8,92
HfH ₂	11370	1,402	7,58
ZrH ₂	5680	1,356	7,34
H ₂ O	1000	1,236	6,69
парафін	952	0,753	4,07
H ₂ , рід.	77,2	0,859	4,65
H ₂ , газ.	0,13	-	0,01

В Інституті проблем матеріалознавства НАН України (ІПМ) розроблена технологія отримання гідриду титану, який відповідає формулі TiH_{1,99}, тоді як Запорізьський титано-магнієвий комбінат (ЗТМК) виробляв гідрид титану із складом

TiH_{1,5-1,6}. (Наразі, нажаль, виробництво на заводі взагалі припинено).

За участі ДП «НАЕК «Енергоатом» були проведені порівняльні випробування нейтроннозахисних властивостей гідридів титану виробництва ЗТМК, ІПМ та RX-277 (див. рис.1). Було використане берилієве джерело нейтронів із потужністю 80 мкЗв/год та дозиметр-радіометр ДКС-96. З кожного матеріалу створювався шар певною товщини (вісь абсцис) і вимірювалась потужність дози випромінювання (вісь ординат).

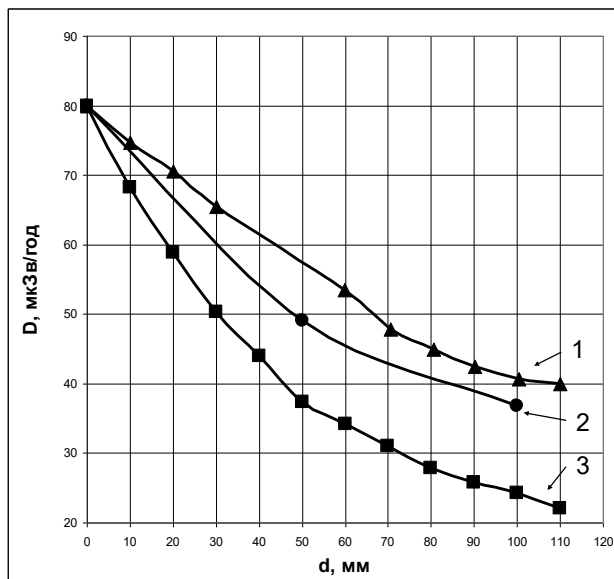


Рисунок 1. Захисні властивості гідридів титану з різним вмістом Гідрогену у порівнянні із матеріалом RX-277. Де: 1- гідрид титану виробництва ЗТМК; 2- матеріал RX-277; 3- гідрид титану ІПМ.

З наведених даних видно, що гідрид титану виробництва ІПМ майже вдвічі перевищує матеріал RX-277 щодо захисту від потоку нейтронів і може розглядатися як альтернатива матеріалу RX-277 (США) при використанні його у якості захисту від швидких нейтронів системи ЗВЯП сухого типу Запорізької АЕС.

Крім того запропонований гідрид титану може модифікуватись додатковими складовими, наприклад боровмісними сполуками, і може бути використаний в якості:

- контейнерів для транспортування джерел нейтронів;
- пристроїв для формування нейтронних пучків промислових ядерних реакторів;
- елементів контейнерів для радіаційного захисту відпрацьованих ядерних матеріалів;
- матеріалів захисту і регулюючих стержнів для транспортувальних реакторів;
- пристосування для захисту приладів від гамма-нейтронного випромінювання;
- складових спецодягу (фартухи, куртки, взуття та головні убори) обслуговуючого персоналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ліцензія Госатомрегулювання України, серія ЕО № 000196, р.4, п.4.4, 4.5.1.
2. Shieldwerx LLC, USA (www.shieldwerx.com).
3. Гусев Г.Г. /Защита от ионизирующего излучения, том 2, Защита от излучений ядерно-технических установок/ Гусев Г.Г., Климанов В.А., Машкевич Г.П., М.: Энергоиздат, 1989.
4. Гидриды металлов. Под редакцией В. Мюллера, Д. Блекледжа – Москва: Атомиздат 1973.

ІНДИВІДУАЛЬНА ТА ПОПУЛЯЦІЙНА РАДІОЧУТЛИВІСТЬ РОСЛИН ЗАЛЕЖНО ВІД НАЯВНОСТІ АБІОТИЧНИХ СТРЕСОРІВ

О.Г. Нестеренко, Н.М. Рашидов, Л.Д. Нестеренко

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ,
Україна, lena6q@ukr.net, lena4gen@gmail.com*

Анотація. Особливості реакції рослин на стресори зумовлюють не лише мінливість популяції та подальший відбір, а й можуть підвищити похибку вимірів та викривити результат, ускладнивши інтерпретацію даних експерименту. Аналіз індивідуальних стратегій реакції рослини та відбір адекватних інструментів статистичного аналізу дозволять підвищити якість досліджень.

Ключові слова. Іонізуюче опромінення, *Pisum sativum* L., індивідуальної реакції рослин, комбіновані стресори.

Annotation. Features of the reaction of plants to stressors cause not only the variability of the population and further selection, but also can increase the measurement error and curvature the result, as well as hinder the interpretation of the experiment data. The analysis of individual strategies of plant reactions and selecting suitable statistical tools allow to improve the quality of research results.

Key words. Ionizing irradiation, *Pisum sativum* L., individual plant reactions, combined stressors.

Зростання загальних темпів забруднення навколишнього середовища не лишає вибору організмам, пересування яких обмежено. Це стосується перш за все рослин, врожайність яких опосередковано визначає якість життя населення, адже кормові культури та рослинність загалом займають ключове місце у трофічному ланцюгу. Крім того, речовини, зокрема, білкові агрегати, можуть накопичуватися (наприклад, у горосі) за умов дії стресорів та являються токсичними для дріжджових клітин та клітин ссавців, приймають участь у розвитку багатьох невиліковних хвороб [1].

Вплив на рослину одним чинником, як правило, не обмежується, тому варто звернути увагу на їх комбіновану або послідовну дію. До основних небезпечних абіотичних чинників країни можна віднести, зокрема, іонізуюче опромінення як наслідок аварії на ЧАЕС, засолення ґрунтів, площа яких поступово зростає та підвищення температури внаслідок глобального потепління. При цьому пристосування рослинних організмів до одного з факторів може бути модифіковано іншим, а їх взаємодія може відрізнятись від адитивної у бік синергізму чи антагонізму. Тому вивчення взаємного впливу стресорів через кроссток компонентів трансдукції сигналу різних сигнальних систем набуває все більшої актуальності.

Під час планування та проведення досліджень потрібно врахувати кілька важливих моментів, що можуть вплинути на висновки, спотворивши їх. Наприклад, під час моделювання

експерименту відбирається однакове за багатьма критеріями (розмір, колір, стан та ін.) насіння для отримання максимально однорідних і повторюваних даних, виокремлення найхарактерніших реакцій для подальшого їх поглибленого вивчення. Однак в масштабах великих підприємств відбір рослинного матеріалу зазвичай проводять набагато простіше. Екстраполяція даних експерименту в такому випадку на природну популяцію або великі різномірні вибірки може бути не коректним. Тобто, щоб наблизити експериментальні умови до реальних, необхідно у взятому «навмання» насінні визначити неоднорідність матеріалу, наприклад, за його ростовими реакціями та аналізувати його відповідно. Відхилення цих реакцій від нормального розподілу в такому випадку може бути наслідком, наприклад, розділення рослин на радіочутливі та стійкі групи. У зв'язку з цим ми пропонуємо визначення морфометричних параметрів не для експериментальної групи загалом, а для кожної рослини індивідуально у кожній часовій точці.

У наших дослідках було проаналізовано індивідуальні ростові реакції рослин гороху *Pisum sativum* L. сорту Ароніс, що піддавалися гострому впливу іонізуючої радіації (контрольна група, 5 Гр, 10 Гр та 15 Гр) у поєднанні з засоленням (0,22 М) чи нагріванням (44 °С) та без них протягом двох тижнів після впливу стресових факторів (виміри довжини головного кореня проростків на 1й, 3й, 7й, 9й та 14й день експерименту). Попередні результати особливостей реакцій рослин, що розраховувалися як середнє значення по групі, показали модифікацію радіобіологічних реакцій абіотичними стресорами [2].

Використовуючи кореляційну матрицю за допомогою інструментів MS Excel 2010 та засоби Gephi [3] — пакету програмного забезпечення з відкритим кодом для мережевого аналізу та візуалізації даних — нам вдалося виокремити з кожної експериментальної групи підгрупи рослин, які поєднувала схожа стратегія росту. Було показано, що як контрольна, так і дослідні групи рослин, що піддавалися

одному чи кільком стресовим впливам, демонстрували чітке розділення на основну та одну чи дві менших за чисельністю підгруп, кожній з яких була притаманна та чи інша стратегія росту. Приклад такої візуалізації (Gephi) та графіки (Excel) росту кожної з рослин показано на рисунку 1.

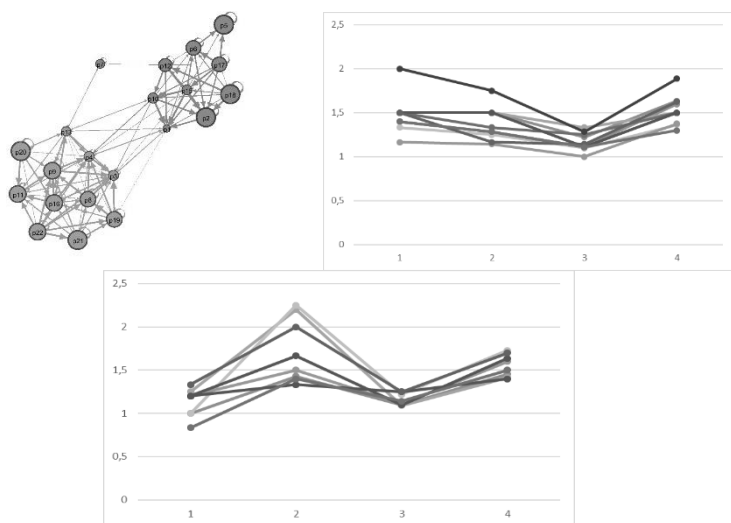


Рисунок 1. Візуалізація розділення рослин у межах однієї експериментальної групи на підгрупи за спільними рисами росту. Зліва – схема, побудована за допомогою пакету програмного забезпечення Gephi на прикладі опромінених у дозі 10 Гр проростків. Справа - два графіки, що демонструють ріст кожної з рослин у межах двох виокремлених підгруп тієї ж групи, де: вісь абсцис – час віддалення від моменту впливу стресорами, вісь ординат – відносна швидкість росту.

Різні стратегії росту проявлялися у зміні часового інтервалу, необхідного рослині для відновлення звичайного (характерного для контролю) росту після стресу, різкого зменшення чи збільшення швидкості подовження кореня, протяжної зупинки росту та ін. Крім того, були описані підгрупи рослин, що чисельністю не перевищували 1-4 особини, ріст яких з часом набував іншого характеру та «випадав» з загальної тенденції, що було відомо раніше [4]. На основі отриманих даних буде як визначено основні спільні риси формування відповіді організму на стресовий чинник за

умов модифікуючої дії одного з факторів, так і описано та по можливості класифіковано випадки, що є скоріше «виключеннями з правила», аніж його закономірними проявами. Крім того, буде проаналізовано реакції кожної з рослин групи та описано основні їх закономірності.

Таким чином, аналіз індивідуальних реакцій рослин на стресори та порівняння їх з середніми показниками по групі, має прояснити, які інструменти аналізу доцільно використовувати та чи можуть отримані дані бути екстрапольовані на аналогічні більш масштабні досліді, що не включають фіксацію проявів реакції кожної рослини окремо впродовж усього експерименту, а мають в собі середні значення для групи у певний проміжок часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Antonets, Kirill S.; Belousov, Mikhail V. et al. (2020): Accumulation of storage proteins in plant seeds is mediated by amyloid formation. PLOS Biology. Collection. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000564>
2. Нестеренко О. Г., Рашидов Н. М. Реакція рослин гороху на дію сольового і термічного стресових факторів залежно від попереднього іонізуючого опромінення ISSN 1996-4536 Біологічні Студії / Studia Biologica. – 2018. – Т. 12, №1. - С. 65–72
3. <https://gephi.org/>
4. Ліханов А.Ф. «Аномальна мінливість рослин в умовах техногенних екосистем Донбасу» Автореферат дис. канд. біол. Наук. Дніпропетровськ, 2004.

BIOCHIP TESTING THE CELL CULTURES GROWTH AT THE BIOCERAMIC SCAFFOLD FOR A BONE TISSUE REGENERATION TO NANOMEDICINE

O.M. Ivanyuta

National Taras Shevchenko University of Kiev

Annotation: Are given the concrete examples of the application biochips in medicine, ecology and other spheres human activity. The biochips are used for testing the cell cultures growth at the bio ceramic substrate of parameters electric impedance sensing. I has described how to run a cell cultures growth test using the prepared biochips. A control cell cultures sample and the test clean water sample are mixed with pre-measured powdered media and injected into separate channels of the

biochip. Impedance readings from the sensing electrodes in each of the biochip channels are measured and compared by virtual program.

Advantages are ease of use and rapid response to a broad spectrum of inorganic and organic chemicals at concentrations that are relevant to human health concerns, as well as the long-term stability of stored biochips in a ready state for testing. Applications for detector cell cultures growth at the bio ceramic scaffold for bone tissue regeneration are of rapid field-portable testing for nanomedicine

Анотація Наведені конкретні приклади застосування біочіпів у медицині, екології та інших сферах діяльності людини. Біочіпи використовуються для тестування росту клітинних культур на біокерамічному субстраті параметрів зондування електричного імпедансу. Описано, як провести тест на ріст культур клітин за допомогою підготовлених біочіпів. Зразок контрольних культур клітин та досліджуваний зразок чистої води змішують із попередньо вимірним порошкоподібним середовищем та вводять у окремі канали біочіпа. Показники імпедансу з детекторних електродів у кожному з каналів біочіпа вимірюються та порівнюються за допомогою віртуальної програми.

Перевагами є простота використання та швидка реакція на широкий спектр неорганічних та органічних хімічних речовин у концентраціях, що відповідають питанням здоров'я людини, а також тривала стабільність зберігання біочіпів у готовому для тестування стані. Застосування для росту клітинних культур на біокерамічному помості для регенерації кісткової тканини є швидким переносним тестуванням наномедицини.

Key words: Biochip, MWCNT/DNA, virtual program.

Ключові слова: Биочипи, БШВНТ/ДНК, віртуальна програма.

Biochips one of the basic tools of diagnostics and monitoring of health in 21 century. Advances in these areas are giving new methods for unravelling the complex biochemical processes occurring inside cells, with the larger goal of understanding and treating human diseases. The requirements for the cell cultures growth sensor were that it could detect a broad spectrum of chemical compounds rapidly (within an hour) at concentrations relevant to bone tissue regeneration and the biological components would have a shelf-life of at least year. Historically, technologies

testing with a biological component to biochips (such as antibodies, enzymes, or nucleic acids) have been specific analyse. The disadvantage to these types of biosensors is that they will only detect one type of chemical at a time as multiple sensors are needed if it is suspected that more than one chemical is present. If a specific sensor is not in the test standard scenario, cell cultures growth could easily go undetected.

They allow you to find in a short time to identify thousands of different Genetic defects, oncogenes, allergens, markers that correspond to specific diseases, certain viruses, bacteria, cancer cells, and to identify a wide range of drugs, hormones, drugs, poisons, pesticides almost any test material - blood, saliva, perspiration, water, food, air or soil samples. The concept using the measurement electrical impedance of cell monolayers as a possible sensor, which is also known as electric cell-substrate impedance sensing. Over the past two decades it has been shown to be a sensitive indicator of cell viability. Basically, the cell monolayer that is adhered to the electrodes on the biochips is exposed to high frequency and low voltage and amperage alternating current signal. The confluent monolayer of cells impedes the flow electrons. When the integrity of the cell monolayer is compromised, the cell-substrate impedance sensing sensor records a change in the electrical impedance. We illustrate the principle of cell-substrate impedance sensing in relation to the cell monolayer on the biochip. In the near future biochips replace the entire diagnostic laboratories with their numerous staff and cumbersome, often very expensive equipment thus will increase to thousands and tens of thousands times the performance most diagnostic methods and to drastically reduce the cost of testing.

Biochip is a solid support on which cells are applied sectional with a substance - reagent. All reagents are arranged in a specific order and interact with the molecules of the test sample as keys to locks. When applied to the biochip test sample. In place of the chip where there is a match (between the analyzed molecules and the probe molecules, a new product is formed, which is determined on the basis of the analyzing equipment electrical phenomena

Modern biochips are different from each other according to the method of manufacture, since the substrates and probes, methods of registration of the result of interaction of the reagent with the sample. To read the results of the reaction are used converters, sensitizers, lasers and scanners. Their production is fully automated DNA chips - to identify genes and gene mutations associated with various diseases; observing gene activity; the diagnosis of infectious diseases and to determine the most effective method of antibiotic therapy; the screening of microorganisms.

Among these are electronic devices, nanoelectromechanical systems (NEMS) devices such as cantilevers, simple metallic and semiconductor electrodes for amperometric, voltammetric and detection, optical devices including fibres for absorption, fluorescence, luminescence and chemi luminescence, mass sensitive oscillating crystal devices, thermal detection methods that measure heats of recognition reactions, radio labelling and mass spectrometry. Of course, certain detection modalities are better suited to near-patient or clinical diagnostics. Opportunities for application of biochips are most attractive in the area of human health. The research and development investments, marketing, sales and distribution costs, given today's models for development of technology-based companies, do not support similar opportunities in the environment, industrial or bioprocess sectors

DNA microarrays are medium-density cDNAs arrayed on standard one inch by three-inch glass slides for standard dual-colour analysis using high-resolution fluorescent detection. Arrays target cell cultures growth at the bio ceramic scaffold for bone tissue regeneration disruption, as well as cyanobacterial open reading frame. This movement towards confocal imaged cell cultures growth, targeted microarrays is poised to compete with DNA biochips that use detection technologies other than confocal imaging

The ILF SHF energy absorption is supposed to be associated with the rotation of intermolecular structures regarding to C-C bonds with the transmission junction of hydroxyl groups from one position with the hydrogen bond into another with the rotation

levels of metastable states and so on. The possibility of ionization effects of ILF SHF leading to the formation of O₂ and OH radicals at the high impulse power is also considered. The resistance (R) versus temperature (T) change has exponential decrease at the temperature increase. Such behaviour of the resistance layer from DNA polymerized molecules networks on Si or Al₂O₃ under the temperature increase is typical for a semiconductor. The rectified type of I-V characteristic for the structure metal (Pt/Ir or Cu) - the layer from DNA polymerised molecules networks on Si has been confirmed. Similar results for the layer from DNA - cell cultures growth in networks have been obtained. But both the resistance of this layer of and its change were less

The change of the resistance (ΔR) of the layers from DNA polymerised molecules networks on Si under rise of the microwave power was increased. Resistance of the layer DNA molecules networks on Si increases on $\Delta R=80 \Omega$. Such a behaviour of the resistance of these layers could be defined by partially breaking part district or changing of the bonds in DNA polymerised molecules.

REFERENCES

Ref.,[1] E. Buzaneva, A. Gorchinskiy, P. Scharff, K. Risch, A. Nassiopoulou, C. Tsamis, Yu. Prilutsyy, O. Ivanuta, A. Zhugayevych, D. Kolomiyyets, A. Veligura, DNA, DNA/Metal Nanoparticles, DNA/Nanocarbon and Macrocyclic Metal Complex/Fullerene Molecular Building Blocks for Nanosystems: Electronics and Sensing, In Book Frontiers of multifunctional integrated nanosystems, Eds: Eugenia Buzaneva and Peter Scharff, NATO Science Series, II-Mathematics, Physics and Chemistry-Vol 64, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251-276, 2004.

ДЕЯКІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЩОДО РОЗВИТКУ КУЛЬТУРИ БЕЗПЕКИ В УКРАЇНІ

Ю.М.Скалецький¹, О.І.Насвіт²

¹ ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М.Марзєєва НАМН
України», Київ, Україна

² Незалежний експерт, yns53@i.ua; +380 67 368 48 05

Анотація. У роботі обговорюються питання розвитку культури безпеки в Україні.

Annotation. Issues of the safety culture development in Ukraine are discussed.

Ключові слова: культура безпеки, органи регулювання безпеки.

Key words: safety culture, safety regulatory bodies.

У червні 2012 р. автори цього повідомлення підготували та провели в Національному інституті стратегічних досліджень засідання круглого столу "Проблеми впровадження концепції культури безпеки в Україні", під час якого було обговорено питання впровадження концепції культури безпеки (далі - КБ) в Україні, проаналізовано міжнародний та вітчизняний досвід формування КБ в суспільстві та розглянуто пріоритети державної політики у цій сфері [1]. За результатами дискусії, в якій взяли участь представники органів державної влади, промислових компаній, неурядових організацій, науковці та експерти, були сформульовані висновки в яких констатовано системне впровадження концепції КБ на вітчизняних АЕС, підприємствах авіаційного транспорту та її підтримка іншими галузями. Водночас, було зазначено, що більш широке її поширення гальмується з наступних причин:

- в Україні не сформована цілісна державна політика щодо формування та реалізації стратегії впровадження КБ, яка б охоплювала усі сфери діяльності людей, включаючи економічну діяльність, побут, відпочинок;

- на рівні центральних та місцевих органів виконавчої влади недостатню увагу приділяють питанням впровадження у практику основних засад КБ як ефективного інструмента створення і безперервного підтримання безпечних умов праці і життя громадян;

- діючі нормативні і методичні документи з упровадження основних засад КБ у практику на підприємствах, організаціях та установах, що використовують техногенно-небезпечні технології, є недосконалими, контроль за їх дотриманням є недостатнім;

- недостатні дії органів виконавчої влади у розробці та реалізації державної політики у сфері охорони життя людей на виробництві та профілактики побутового травматизму;
- недостатня увага питанням КБ приділяється у сфері виховання, освіти та просвіти;
- причиною повільних темпів впровадження КБ на виробництві є також високий рівень корумпованості влади та «тінізації» економіки.

Певні кроки із запровадження КБ уряд України за останнє десятиліття все ж робив. Наприклад, був розроблений і затверджений план заходів щодо забезпечення відкритості і доступності інформації, пов'язаної з використанням ядерної енергії, а також підвищення рівня культури ядерної безпеки в атомній енергетиці [2], деякі заходи якого продовжують бути актуальними і виконуються до цього часу. Була розроблена і схвалена Концепція реформування системи управління охороною праці в Україні та затверджений План заходів щодо її реалізації [3]. Зазначені Концепція і План оперують поняттями культури профілактики нещасних випадків і професійних захворювань та культури безпеки та гігієни праці, а також запроваджують застосування ризикорієнтованих підходів у реформуванні системи управління охороною праці. Але залишаються відкритими питання аналізу стану КБ державними органами регулювання безпеки.

На міжнародній конференції, присвяченій 30-річчю дослідження КБ, зазначалася важливість ефективного контролю за КБ з боку регуляторних органів і розробки інструментів оцінки КБ для такого контролю і ефективних програм вдосконалення КБ для ліцензіатів. На зазначеній конференції були представлені інструменти оцінки, що базуються на зборі різних типів інформації про КБ та організаційну ефективність [4].

Водночас, для державних органів регулювання безпеки у різних галузях життєдіяльності в Україні оцінка рівня КБ не стала інструментом підвищення рівня безпеки. Зокрема, при

аналізі техногенної і природної безпеки, а також ядерної і радіаційної безпеки відповідними органами державної влади стан КБ системно не аналізується.

В аналітичному огляді стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік [5], що підготовлений ДСНС України і розміщений на її веб-сайті, ідентифікований цілий ряд проблемних питань безпеки життєдіяльності у виробничій та побутовій сферах, які цілком можуть бути віднесені до питань культури поведінки на виробництві і в побуті, корпоративної і галузевої культури. Але в розділі «Висновки. Шляхи, способи та заходи з розв'язання проблем у сфері техногенної та природної безпеки» ні КБ, ні культура безпеки життєдіяльності не згадуються, що свідчить про відсутність системного бачення фундаментальної ролі культури безпеки у підвищенні безпеки суспільства, хоча запропоновані шляхи, способи та заходи в значній частині відповідають принципам культури безпеки.

Держатомрегулювання у своїх доповідях про стан ядерної і радіаційної безпеки в Україні (далі – Доповіді) у 2012 і 2014 роках відзначала, що намітилося зростання корінних причин порушень в роботі АЕС, що пов'язані з персоналом. Половину з них складають причини, пов'язані зі зниженням рівня КБ, а другу половину – причини, пов'язані з недоліками існуючого порядку нагляду за виконанням робіт.

У Доповідях у 2013, 2015, 2016, 2018 роках КБ взагалі не згадується, хоча в звіті 2016 року проведений аналіз корінних причин виникнення аномальних подій у роботі АЕС в 2000-2016 рр., і за цей період від 6,5% до 29% корінних причин визначені як «персонал та система управління», що безпосередньо пов'язано з КБ.

У Доповіді 2017 р. єдина згадка КБ - це виконання спільно з Норвезьким агентством з радіаційного захисту проекту «Розробка керівництва з оцінки культури безпеки і людських та організаційних факторів під час аналізу досвіду експлуатації». Подальша доля цієї розробки невідома.

У доповіді 2019 р. у зверненні до читачів Голова Держатомрегулювання, зокрема, зазначив: «Забезпечення належного рівня ядерної та радіаційної безпеки потребує розуміння поняття та дотримання культури безпеки, злагоджених дій уряду, органу державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки та суб'єктів діяльності у сфері використання ядерної енергії». Вислів влучний, але, на жаль, на цьому культура безпеки і вичерпується.

Отже, ні ДСНС, ні Держатомрегулювання не стали провідниками культури безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Круглий стіл "Проблеми впровадження концепції культури безпеки в Україні". URL : <https://niss.gov.ua/news/novini-nisd/krugliy-stil-problemi-vprovadzhennya-koncepcii-kulturi-bezpeki-v-ukraini>
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 серпня 2011 р. № 736-р «Про затвердження плану заходів щодо забезпечення відкритості і доступності інформації, пов'язаної з використанням ядерної енергії, а також підвищення рівня культури ядерної безпеки в атомній енергетиці». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/736-2011-%D1%80#Text>
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 989 р «Про схвалення Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/989-2018-%D1%80#Text>
4. Human and Organizational Aspects of Assuring Nuclear Safety — Exploring 30 Years of Safety Culture. Proceedings of an International Conference. Vienna, Austria, 22–26 February 2016. IAEA, V ENNA, 2019. URL : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1810_web.pdf
5. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. URL : <https://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2015-rik.html>

ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКІВ ПІД ЧАС ДІАГНОСТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ПАЦІЄНТІВ ІЗ COVID 19

О.О. Стрельцов

*Олександрівський консультативно-діагностичний центр, Київ, Україна,
+380502198370, strel40v@gmail.com*

Анотація. Представлені дані оцінки ризиків радіаційного опромінення під час діагностичних досліджень із використанням іонізуючого випромінювання у пацієнтів із COVID 19. Розглянуто особливості динамічного спостереження, доцільність виконання низькодозової комп'ютерної томографії легень в умовах пандемії.

Ключові слова: комп'ютерна томографія, COVID 19, іонізуюче опромінення, діагностика.

На момент написання статистичні данні COVID 19 по Україні невтішні

Метод комп'ютерної томографії у діагностиці запальних процесів легеневої паренхіми показав себе ще задовго до настання пандемії. У пацієнтів із фібрильною нейтропенією, нормою на рентгенограмі та відсутністю покращення стану впродовж 48 годин після емпіричної антибіотикотерапії метод комп'ютерної томографії виявляв зміни в 60% випадків (при динамічному спостереженні 50% пневмоній виявлених методом комп'ютерної томографії виявляв і рентгенологічний метод) у 40% пацієнтів із нормою при дослідженні за методом комп'ютерної томографії пневмонія в подальшому виникала лише у 10% випадків, комп'ютерна томографія виявилась значно ефективніша за класичне рентгенологічне дослідження.

В Україні вважається, що найбільший внесок у формування колективної ефективної дози для населення роблять профілактична флюорографія та рентгенодіагностика, тоді, як у розвинутих країнах основним дозоформуєчим дослідженням є комп'ютерна томографія. Безумовно, значною

мірою це пов'язано з тим, що цей вид дослідження в нашій країні ще не отримав такого поширення як у країнах Європи та США, проте під час пандемії COVID 19 метод комп'ютерної томографії є основним через його здатність виявляти ознаки пневмонії на ранніх етапах.

Чутливість комп'ютерної томографії у виявленні змін легень характерних для COVID 19 - 92-98%;

чутливість ПЛР 56-83%;

Ймовірні причини низької чутливості ПЛР:

1. Недостатня ефективність методики
2. Різниця у частоті виявлення обладнання та реактивів різних виробників
3. Низьке вірусне навантаження пацієнтів
4. Не правильний клінічний відбір проб

Зараз дозоформуєча частка опромінення населення від комп'ютерної томографії перевищує усі інші медичні процедури із використанням іонізуючого опромінення і тенденція використання променевої діагностики зростає, саме тому питання зниження дози опромінення під час діагностичного дослідження є одним із основних.

У практиці Олександрівського діагностичного центру дослідження проводяться з використанням комп'ютерного томографу «Toshiba aquilion 16» .

Для діагностики легень використовується низькодозовий протокол адаптований на період пандемії під виявлення ущільнення легень за типом матового скла GGO та crazy paving.

Адаптація проводилась наступним чином:

1. Був взятий мінімальний рівень міліампер у секунду токового навантаження на трубку, що дозволяє виявляти ущільнення легеневої паренхіми з рекомендованого виробником мануалу.
2. Був збільшений пітч без компенсаторного підвищення кіловольтажу на трубку.

3. Експериментально після інформованої згоди було проскановано ряд пацієнтів із класичним та низькодозовим протоколом.
4. За результатами сканувань - пацієнти проскановані із низькодозовим протоколом отримали заключення, що не відрізнялося від дослідження із класичним протоколом (Рис. 1.).

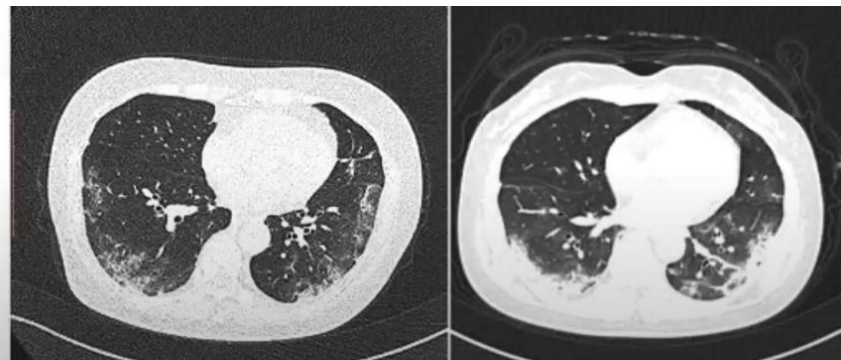


Рис. 1.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Heussel, et all. Pneumonia in febrile neutropenic patients, bone - marrow and blood stem- cell recipients: use high - resolution CT.J Clin Oncol 17:796 - 805
2. Стрельцов О. О. Рациональна оцінка променевого навантаження на пацієнта // Радіологічний вісник. – 2019. – №1 –2 (70 – 71). – С. 122.

GROSS BETA ACTIVITY – A NEW APPROACH FOR IDENTIFICATION OF ILLEGAL CIGARETTES AND HEALTH RISK PREVENTION

A.Georgieva, T.L. Dimitrova

*University of Plovdiv “Paisii Hilendarski”, Plovdiv, Bulgaria,
a.g.hristeva@gmail.com*

Annotation. The naturally occurring radioactive isotopes in cigarettes are one of the most significant cause of the lung cancer of smokers. The

risk of smoking illegally distributed cigarettes is higher due to the lack of control during their production. However, there is no direct analytical method for establishing differences / homogeneities of different batches of tobacco products. Recent studies of radioactivity in tobacco and tobacco products show significantly higher activities of β -active isotopes. We propose the gross β -activity to be used as a new reliable indicator for identification of illegal cigarettes.

Key words: radioactivity, gross beta radioactivity, tobacco, tobacco cigarettes, lung cancer.

During the past decades, the radionuclides has been identified to be between the most harmful constituents of the tobacco products causing lung cancer. So that, the natural isotope ^{210}Po was included firstly in the Established List of the Harmful and Potentially Harmful Constituents in Tobacco Products and Tobacco Smoke in the Federal register of the United States Government. There is a huge number of naturally occurring primordial and man-made radionuclides absorbed by tobacco plants and, most of them are identified by IARC as Group 1 carcinogens [2, 3]. Recently a comparative review on the radioactivity from tobacco and its absorption by smokers has been reported [3]. It was found that ^{40}K , ^{14}C , ^{210}Po and ^{226}Ra are the most prevalent radionuclides in the smokeless tobacco products. The authors note much greater activity of β -emitters than those of α -emitters and conclude that the measured levels of radionuclides represent significant health risks for the smokers.

Smoking illegally distributed cigarettes brings additional danger due to the lack of control during the production such as: external control of the technological process, non-compliance with the recipe of tobacco products, non-compliance with the maximum permissible levels of emissions of nicotine, tar and carbon monoxide in smoke etc. We have investigated cigarettes from 5 illegal trademarks distributed in Bulgaria. Three batches of every brand were studied. The measured physical parameters of the cigarettes such as humidity, length and diameter of the cigarette, length of the tippin, cigarette suction resistance and cut width, have shown significant deviation from the normative requirements. They

do not correspond to the declared values from the producer. The content of the chemical controlled compounds (nicotine, tar, carbon oxide) are much higher than the maximal warrantable emission levels and differs notably from the declared values from the producer. For example, the content of tar in the different samples vary from 31% to 126% relatively to the warrantable.

The measured gross beta activity of the samples from the same brand also show large variation of the values and of the statistical error. That leads to the suggestion that total beta activity may be used as a faster, cheaper, and reliable indicator for the identification of illegal cigarettes. However, there is not yet a relevant standard on the gross beta activity from tobacco and tobacco products. Additional research on the radioactivity from cigarette smoke, as well on the long-time effect of the different tobacco products radiation on the active and passive smokers is needed.

REFERENCES

1. Laking, G. R. (2019). Human Exposure to Radioactivity From Tobacco Smoke: Systematic Review. *Nicotine and Tobacco Research*, 21(9), 1172-1180.
2. Papastefanou, C. (2009). Radioactivity of tobacco leaves and radiation dose induced from smoking. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(2), 558-567.
3. McAdam, K., Kimpton, H., Porter, A., Liu, C., Faizi, A., Mola, M., & Rodu, B. (2017). Comprehensive survey of radionuclides in contemporary smokeless tobacco products. *Chemistry Central Journal*, 11(1), 131.

INFLUENCE OF PLASMA MICRO- AND CORONARY DISCHARGE ON THE DEVELOPMENT OF HIGHER FUNGI MYCELES

**Yu. Veremii, B. Sokolovskyi, D. Nikulin, N. Tsvyd,
V. Iukhymenko, V. Chernyak, O. Nedybaluk, M. Sukhomlyn,
Eu. Martysh**

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine, e-mail: veremii@i.ua

New developments in physical electronics and pulsed energetics have contributed to significant developments in the use

of cold plasma at atmospheric pressure in science and technology. Spatially uniform and well-controlled sources of cold plasma at atmospheric pressure have become a reality, creating the possibility of safe and controlled use of plasma in biological objects. This initiated the creation of a fundamentally new branch of medical technology - plasma medicine. A relatively new technology is the use of plasma in biology and agro-industry.

Recently, there have been many attempts to use plasma for efficient cultivation of various crops. Fungi combine the properties of plants and animals. Due to the fact that mushrooms have large variations in species and cultures, we may be interested in completely different results.

Plasma destruction of spores and fungi for disinfection of the premises, man, plant or, conversely, increase the growth rate of mycelium due to cellular stimulation or enrichment of the environment with plasma products in which the culture grows. Some types of fungi are used to make medicines and antibiotics. Therefore, by increasing the growth rate and improving the conditions for the formation of fruiting bodies of fungi, you can reduce the cost of drugs. For example, the fungus *Cyathus olla* synthesizes salfredin, which in medicine is considered one of the drugs for therapeutic use in diabetic cataracts [1], and *Calvatia candida* - one of the most famous genera of the group of gasteromycetes, interesting for its antibacterial properties [2]. On the other hand, *Cyathus olla* is of agricultural importance because it is able to destroy dead rapeseed stubble that has been affected by the causative agent of black rapeseed.

Experiments on the effect of cold atmospheric plasma on the growth of mycelial colonies of higher fungi were performed on cultures of *Calvatia candida* and *Cyathus olla*. Pure cultures were obtained from the Collection of Mushroom Cultures of the FCKU Training and Research Center "Institute of Biology and Medicine" of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Cultures were isolated from basidomes by the method of Bukhalo [3] and incubated on potato-glucose agar (CGA) at a temperature of 23 - 25 ° C. Mycelial colonies were treated on the 6th day of cultivation.

Controls were inoculated Petri dishes that were not treated with plasma flow. The effect of plasma is determined by the deviation of the growth rate, integrity and colony structure of the experimental samples compared with the control group.

Plasma inactivation of microorganisms has five main mechanisms of action. These are thermal, electric fields, UV radiation, direct chemical reactions of neutral reactive forms and the interaction of charged particles with cell components. Among these mechanisms, in non-thermal systems of atmospheric pressure plasma, reactive particles (for example, atomic oxygen, metastable molecules of oxygen, ozone and OH radicals) usually play a dominant role in the inactivation process.

To investigate the effect of individual mechanisms of action, experiments were performed using two types of cold plasma discharges of atmospheric pressure - microdischarge and corona discharge, with different gases - air and CO₂, the effect of UV radiation on fungal mycelium was studied separately, and plasma treatment of nutrient medium was performed. before planting mycelial colonies.

The design of the microdischarge generator used for sample processing is described in [4]. It was an axially symmetric system in which the inner electrode was water cooled. This electrode was separated from the housing of the system by a dielectric tube. Working gas (air or CO₂) was introduced tangentially to the side surface through the hole. Copper electrodes (internal in the form of a wire with a diameter of 1 mm and an external flat electrode with a thickness of 1 mm) were located at a distance of 1 mm from each other.

The tip-ring electrode configuration was used to study the effect of corona discharge on fungal mycelial growth. The inner diameter of the ring was 12 mm, the diameter of the tip 0.15 mm. The power supply provided voltage in the range of 0 - 7 kV. The high-voltage electrode was a tip (cathode), and the grounded electrode (anode) was a ring. The ring is made of stainless steel and the tip is made of tungsten.

To determine the effect of plasma at the microscopic level, microscopy was performed using a PrimoStar light microscope, microphotographs were taken with a ScienseLabDCM 520 digital camera, and Axiovision 4.3.7 image processing program. In fig. 1 presents photographs of cultures of *Calvatia candida* (Fig. 1, a), *Cyathus olla* (Fig. 1, b) and mycelium of *Cyathus olla* (Fig. 1, c).

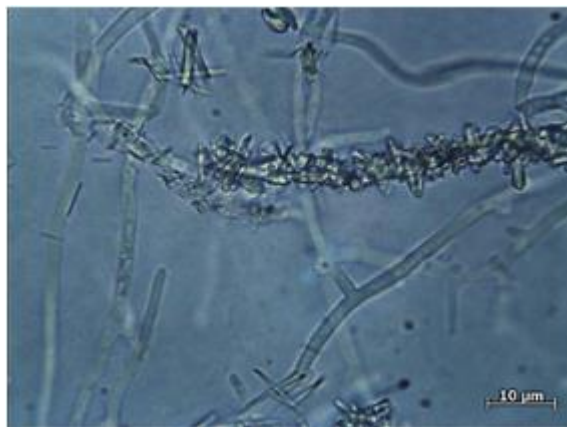
The results obtained after cold plasma treatment of the mycelium of fungi showed that the treatment can accelerate the growth of the culture without direct thermal damage. During the experiment, it was found that the average growth rate of mycelium after plasma treatment by micro-discharge increases in the case of both fungi, *Calvatia candida* and *Cyathus olla*. Therefore, the short-term effect of plasma on the mycelial colony of higher fungi partially stimulates the growth rate of this culture. There is a nonmonotonic dependence of the change in the growth rate of mycelium on the distance of the discharge aperture to the sample and the exposure time. In the case of corona discharge, the dependence of the growth rate on the processing time revealed the possibility of both accelerating and slowing down the growth of mycelium. The mechanism of ultraviolet influence on mycelial growth is excluded. It was found that corona discharge treatment of the medium alone did not affect the growth rate of *Cyathus olla*.



A



B



C

Fig. 1. Photographs of cultures of *Calvatia candida* (A), *Cyathus olla* (B) and mycelium of *Cyathus olla* (C).

REFERENCES

1. R.E. Baird et al. *Mycopathologia* 122 (1993) 29.
2. J. Wu, F. Zhu. *Journal of Organic Chemistry Research* 4 (3) (2016) 69.
3. A.S. Bukhalo. *Higher Edible Basidiomycetes in Pure Culture* (Kyiv, Naukova Dumka, 1988).
4. O.V. Solomenko et al. *Ukr. J. Phys.* 1 (2016) 960.

**BIOLOGICAL EFFECTS OF MICROWAVE
IRRADIATION OF THE CELLULAR COMMUNICATION
OF THE 5TH GENERATION**

**V.S. Martynyuk, Yu.V. Tseyslyer, V.S. Grygoruk,
V.V. Oliynyk, V.L. Launets, V.V. Zagorodnii, P.F. Virych**

Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine,

mavis@science-center.net

Annotation. Development and implementation of a new standard for 5G mobile broadband communication involves the continuous coverage of areas by a network of transmitting antennas radiating in the range of 10-80 GHz. There are very few clear and scientifically correct answers to questions about health safety, which gives rise to unscientific speculation and unreasonable fears. The possible biological effects of microwave electromagnetic irradiation are discussed.

Key words: 5G mobile broadband communication, biological effects of microwave electromagnetic irradiation.

The new 5G telecommunications standard is currently being actively developed and implemented in the world. In the coming years, they will become the main promising wireless type of communication. It is assumed that the entire territory of the countries will be completely covered by a network of transmitting antennas emitting in the range of millimeter waves of 10-80 GHz. If the technological problems of deploying such telecommunications networks are more or less solved, the question of the environmental and biomedical consequences of a significant increase of the electromagnetic background in the centimeter and millimeter range remains open. In this regard, the public of countries where 5G communication systems are already being tested and deployed is concerned about the possible negative electromagnetic effects on human health and the environment. Unfortunately, there are very few clear and scientifically correct answers that gives rise to unscientific speculation, unreasonable fears, outright rejection of new technologies and sometimes the vague allegations of provoking a coronavirus pandemic and acts of vandalism. Thus, this problem is

beginning to move into the category of national security issues of countries implementing such new technologies.

There is a certain array of data on the biological activity of electromagnetic fields of different frequency bands. Most researchers believe that relatively low intensity of electromagnetic radiation does not make a serious threat for the population, but more than 180 scientists and doctors from 36 countries have appealed to the European Union to comply Council of Europe Resolution 1815 "On the hidden dangers of electromagnetic fields and their impact on the environment" and they proposed the idea to create an independent working group to assess the impact of 5G communication on human health.

Centimeter and millimeter waves are non-ionizing electromagnetic radiations with a quantum of energy of 1.2×10^{-5} – 1.2×10^{-3} eV. This energy is low and not sufficient to break chemical bonds and for ionization of molecules [1]. However, some processes can be altered, for example, by the energy that excite the rotational modes is 10^{-5} – 10^{-2} eV. Majority of the scientists think that heating is the major biophysical mechanism that result to different biological effects after absorption of the EM energy in 10–100 GHz range. But it is well known that small thermal effects, when the temperature of biological objects increases by tenths parts of a degree, begin to appear at intensities exceeding 5-10 mW/cm². More significant heating of biological tissues can be achieved only at intensities of microwave radiation of more than a few tens of mW/cm² [2,3]. In this regard, experts classify biological effects as thermal and non-thermal. The threshold intensity of thermal action is considered to be 10 mW/cm². So, the expected intensities for the new wireless communication systems 5G are low to do induce any biologically significant thermal effects [4]. The biophysical mechanisms of non-thermal action of microwave radiation remain unclear. The thermodynamic basis of such an effect is completely unclear. To elucidate the primary mechanisms of action of this physical factor, it is necessary to take into account quantum effects, which may be key in launching biological processes at the molecular level [5].

Researchers pay special attention to the activation of free radical oxidation processes under the action of electromagnetic fields, which causes damage to biological objects [6, 7]. Activation

of free radical oxidation realizes to damage of DNA, lipids of membranes and different proteins, provoke apoptosis and difference type of cell disorders and damages [8-10] that can realize to modulation of inflammation [11]. This array of experimental data is used by experts to justify the harmful effects of microwave radiation on humans and other biological objects.

But, on the other hand, there is a large array of data that indicates the beneficial effects of non-thermal microwave radiation that allows to be used in medicine [12]. According to experimental data the action of radio frequency and microwave radiation demonstrate analgesic [13, 14], antistressor [15], anticancer [16] and radioprotective [17] effects. Researchers insist on the fact that non-thermal microwave radiation is not harmful to human health and very perspective for therapeutic treatments [2, 12].

Thus, the question of the harmful and beneficial effects of microwave radiation remains controversial. The question needs further careful study. Studies of the action of this physical factor are complicated by the fact that biological effects depend on the power flux density and exposition, wavelength and frequency-amplitude modulation of electromagnetic radiation, site of location and exposure area, the physiological state of the organism or certain physiological systems or organs or cells, combined effects of other physical and chemical factors (ionizing radiation, toxic substances, etc.).

REFERENCES

1. Zhadobov M., Chahat N., Sauleau R., Catherine le Quement, Yves le Drean. Millimeter-wave interactions with the human body: state of knowledge and recent advances. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*. 2011. 3(2). P.237–247. DOI: 10.1017/S1759078711000122.
2. Бетский О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. - М.: Сайнс-Пресс, 2004. - 272 с.
3. Rosa Orlacchio, Maxim Zhadobov, Stanislav Alekseev, Denys Nikolayev, Ronan Sauleau, Yann Le Page, Yves Le Dréan. Millimeter-Wave Heating in In Vitro Studies: Effect of Convection in Continuous and Pulse-Modulated Regimes. *Bioelectromagnetics*. 2019. Volume 40, Issue 8. - P. 553-568. DOI:10.1002/bem.22223
4. Smulders, P. Exploiting the 60 GHz band for local wireless multimedia

access: prospects and future directions. IEEE Commun. Mag., 2020. 40, P.140–147.

5. Бинги В.Н. Принципы электромагнитной биофизики. М.: Физматлит, 2011. - 593 с.

6. Avci, B., Akar, A., Bilgici, B., et al. Oxidative stress induced by 1.8 GHz radio frequency electromagnetic radiation and effects of garlic extract in rats. Int. J. Radiat. Biol. 2012. 88. P.799–805.

7. Ayata, A., Mollaoglu, H., Yilmaz, H. R., et al. Oxidative stress-mediated skin damage in an experimental mobile phone model can be prevented by melatonin. J. Dermatol. 2024. 31. P. 878–883.

8. Campisi, A., Gulino, M., Acquaviva, R., et al. Reactive oxygen species levels and DNA fragmentation on astrocytes in primary culture after acute exposure to low intensity microwave electromagnetic field. Neurosci. Lett. 2010. 473. P.52–55.

9. Caraglia, M., Marra, M., Mancinelli, F., et al. Electromagnetic fields at mobile phone frequency induce apoptosis and inactivation of the multi-chaperone complex in human epidermoid cancer cells. J. Cell. Physiol. 2005. 204. P. 539–548.

10. Igor Yakymenko, Olexandr Tsybulin, Evgeniy Sidorik, Diane S Henshel, Olga Kyrylenko, Sergiy Kyrylenko Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. Electromagnetic Biology and Medicine. 2015. 19 (2). P.1-16. DOI: 10.3109/15368378.2015.1043557

11. Hayden, M. S., Ghosh, S. NF- κ B in immunobiology. Cell Res. 2011. 21. P.223–244.

12. V. Betskii, N D Devyatkov, V V Kislov Low intensity millimeter waves in medicine and biology Crit Rev Biomed Eng. 2000. 28 (1-2). P. 247-68. DOI: 10.1615/critrevbiomedeng.v28.i12.420.

13. S.I. Alekseev, Ziskin Marvin C, E.E. Fesenko Mechanisms of hypoalgesic effect of millimeter waves. Biomedical Electronics. 2014. N6. P.55-65.

14. Ye.V. Gura, Ye.V. Bagatskaya Analgesic Effects of Preliminary Microwave Irradiation of an Acupuncture Point on Visceral Pain in Mice. Neurophysiology. 2012. 44, P.234–239.

15. Темуриянц Н.А., Чуян Е.Н., Хомякова О.В., Тишкина О.О. Зависимость антистрессорного эффекта ЭМП КВЧ от параметров воздействия. Миллиметровые волны в биологии и медицине. 1994. №3. С.11-15.

16. Sambad Sharma, Shih-Ying Wu, Hugo Jimenez, Fei Xing, Dongqin Zhu, Yin Liu, Kerui Wu, Abhishek Tyagi, Dan Zhao, Hui-Wen Lo, Linda Metheny-Barlow, Peiqing Sun, John D. Bourland, Michael D. Chan, Alexandra Thomas, Alexandre Barbault, Ralph B. D'Agostino,

Christopher T. Whitlow Volker Kirchner, Carl Blackman, Boris Pasche, Kounosuke Watabe. Ca²⁺ and CACNA1H mediate targeted suppression of breast cancer brain metastasis by AM RF EMF. EBioMedicine. 2019. 44. P.194–208. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.05.034>.

17. Палёная Ю.В., Харченко В.З., Темуриянц Н.А., Чуян Е.Н. Использование ЭМИ КВЧ как коррегирующего фактора нарушений в протеазо-антипротеазной системе при действии ионизирующего излучения. Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, Серия «Биология, химия». 2006. 19 (58). № 4. С. 167-172.

APPLICATIONS OF A-HG₃S₂BR₂ CRYSTALS FOR MEDICAL DEVICE ENGINEERING

O.V. Bokotey, M.I. Chavarha, O.O. Bokotey, A.G. Slivka

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, bokotey_ov@ukr.net

Annotation. The recent advances in optical devices have opened up new opportunities for sensing and biomedical imaging techniques. It is interesting to note that the main advantage of optical devices is to obtain more detailed information about the subject of the study. This study introduces potential applications of optical parameters of α -Hg₃S₂Br₂ in the creation of optical transducers for medical devices, demonstrates proof of principle, discusses potential clinical applications.

Анотація. Останні досягнення в області оптичних пристроїв відкрили нові можливості для зондування та біомедичних методів візуалізації. Цікаво відзначити, що головною перевагою оптичних пристроїв є отримання більш детальної інформації про предмет дослідження. В даній роботі представлено потенційні можливості використання оптичних параметрів кристалів α -Hg₃S₂Br₂ при проектуванні оптичних перетворювачів для медичних пристроїв, продемонстровано принципові положення, обговорено потенційні клінічні застосування.

Key words: nanomaterials, optical devices, biomedical imaging, optical transducers, biomolecules.

Ключові слова: наноматеріали, оптичні пристрої, біомедичне зображення, оптичні перетворювачі, біомолекули.

The remarkable progress was achieved in the study of the physical and chemical properties of $\text{Hg}_3\text{X}_2\text{Y}_2$ ($\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{Te}; \text{Y} = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) crystals [1-5]. Their optical properties such as high refractive index, photoconductivity, electrooptical effect, optical activity, optical nonlinearity etc., make them promising nanomaterials for nonlinear application. Their structural, electronic and optical properties depend sufficiently on synthesis conditions, structural defects, and morphological characteristics. From the structural point of view, the crystal under investigation is well ordered, and observed that the basic structural unit in the title crystal is a $[\text{SHg}_3]$ pyramid. The structure of $\alpha\text{-Hg}_3\text{S}_2\text{Br}_2$ consists of two sets of octahedral spirals with different radii and twisting directions. The title crystal possesses an excellent transparency in the mid-IR spectral range. Due to these features, the mentioned crystals in nanoparticle form have a wide range of optical applications in nanophysics and medicine.

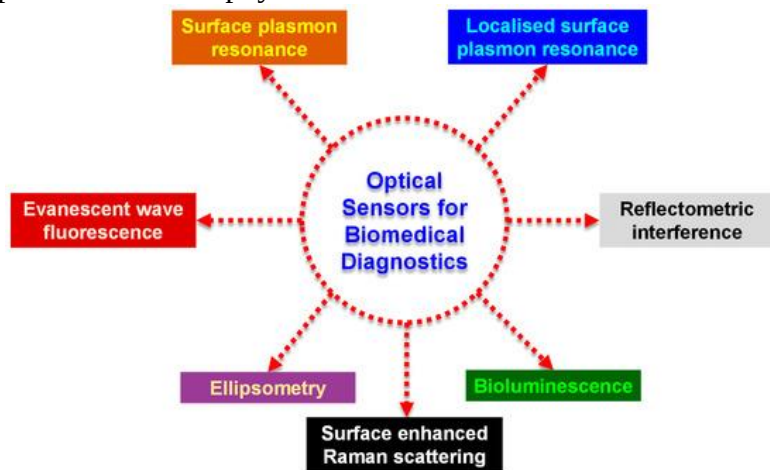


Figure1. Different types of sensors classified on the basis of the underlying optical phenomenon arising from receptor-analyte interactions [6]

$\alpha\text{-Hg}_3\text{S}_2\text{Br}_2$ polymorph is a potential nanomaterial for design of optical transducers, multifunctional elements and imaging system operating in optical spectra. Nanomaterials based on $\alpha\text{-Hg}_3\text{S}_2\text{Br}_2$ crystals have tremendous potential in addressing the two major issues faced by our society: the searching for new energy

sources and improving healthcare. These crystals can be efficiently used for enhancement of the optical processes in biomolecules by nanostructured surfaces on their basis. The optical rotation primary application of biological molecules involves determination of secondary structures of proteins and nucleic acids.

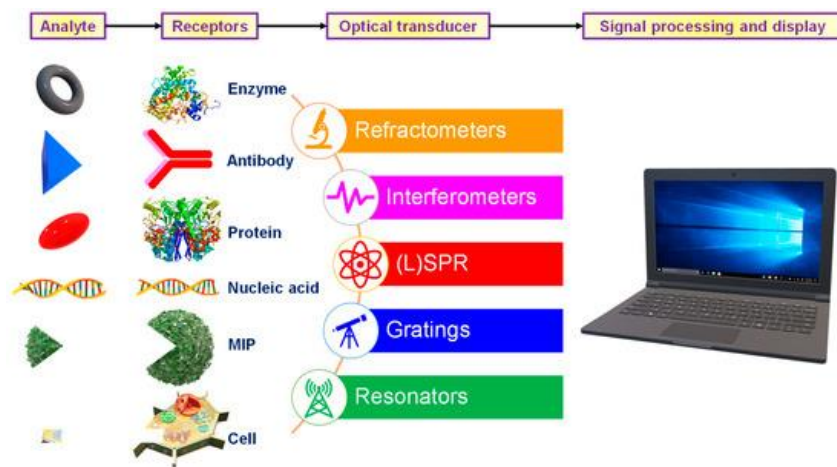


Figure 2. Construction of different optical sensors [6]

Obtained data suggest that the optical properties of the titled crystals should be taken into account in the studies concerning optical diagnostic methods in medicine [1-3]. At the same time due to the transparency of corderoite family compounds in the wide region of the visible and IR-range (from 0.3 to 40 mcm) creates new opportunities for materials design. They have a great potential for wide range of possible application in optical devices: elements for dynamic holography, recording and information storage, modulators, deflectors and other devices based on the phenomenon of the interaction of light beams. These data give us fundamental information and experiences for further studies.

REFERENCES

1. Bokotey O.V. Calculated optical properties of gyrotropic $\text{Hg}_3\text{Te}_2\text{Br}_2$ // Optik. – V.156. – 2018. – P. 39–42.
2. Bokotey O.V. Theoretical calculations of refractive properties for $\text{Hg}_3\text{Te}_2\text{Cl}_2$ crystals // Nanoscale Res. Lett. – 2016. – 11:251.

3. Bokotey O.V. Investigation of gyrotropic properties for $\text{Hg}_3\text{X}_2\text{Cl}_2$ (X = Se, Te) crystals // J. Alloys Compd. – 2016. – V. 678. – P. 444–447.
4. Bokotey O.V. Refractive index behavior of mercury chalcogenhalogenides $\text{Hg}_3\text{X}_2\text{Hal}_2$ // Proc. of the Ukrainian-German Symposium on Physics and Chemistry of Nanostructures and on Nanobiotechnology. – Kyiv, 2015. – P. 140.
5. Bokotey O.V., Glukhov K.E., Nebola I.I., Bokotey A.A. First-principles calculations of phonons and Raman spectra in the $\text{Hg}_3\text{Te}_2\text{Cl}_2$ crystals // J. Alloys Compd. – 2016. – V. 669. – P. 161–166.
6. Pirzada M., Altintas Z. Resent progress in optical sensors for biomedical diagnostics // Micromachines. – 2020. – V. 11(4). – 356.

ЗАСТОСУВАННЯ ДОЗИМЕТРІЇ IN VIVO ПРИ ДИСТАНЦІЙНІЙ ПРОМЕНЕВІЙ ТЕРАПІЇ У ХВОРИХ НА РАК ТІЛА МАТКИ

**А.С. Сімбірська, О.М. Сухіна, В.П. Старенький,
І.О. Самофалов**

*ДУ «Інститут медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва
Національної академії медичних наук України», Харків, Україна,
+380994148113, anuta.nesterenko@gmail.com*

Анотація. Дистанційна 3D конформна променева терапія є одним із найбільш ефективних методів лікування хворих на рак тіла матки (РТМ). Форма тіла, відмінності щільності тканин – усе це допускає лише приблизні обчислення, тому тільки пряме вимірювання дози може свідчити про справжній рівень поглиненої дози.

Annotation. External 3D conformal radiation therapy is one of the most effective treatments for patients with uterine cancer (UC). The shape of the body, differences in tissue density - all this allows only approximate calculations, therefore only a direct dose measurement can indicate the level of the absorbed dose.

Ключові слова: променева терапія (ПТ), рак тіла матки (РТМ), дозове навантаження, дозиметрії in vivo.

Key words: radiation therapy, uterine cancer, dose load, in vivo dosimetry.

Методика дистанційної конформної променевої терапії із використанням фігурних полів опромінення та дотриманням принципів їх орієнтації, заснованих на достовірній дозиметричній інформації щодо розподілів доз у загальному обсязі опромінення, є одним із найбільш ефективних методів лікування хворих на РТМ [1].

Опубліковані дотепер клінічні дані вказують на суттєву залежність результатів променевої терапії від точності підведення та відтворення від сеансу до сеансу дозиметричного плану опромінення та запланованих поглинених доз [2]. Особливе значення має дозиметрія *in vivo*. Форма тіла, відмінності щільності тканин – усе це допускає лише приблизні обчислення, тому тільки пряме вимірювання дози може свідчити про справжній рівень поглиненої дози [3]. Дозиметрія *in vivo* — це прямий метод вимірювання отриманої дози опромінення у хворих на рак, які отримують променевоу терапію. Мета дозиметрії *in vivo* — перевірити, що променева терапія проводиться в запланованому обсязі та з урахуванням дозового навантаження оточуючих тканин та органів, які перебувають у полі опромінення [4].

Метою нашої роботи було виміряти індивідуальне дозове навантаження на слизову прямої кишки за допомогою дозиметрії *in vivo* та порівняти отримані дані із розрахунковими показниками системи планування.

Для досягнення цієї мети нами було проаналізовано результати лікування 60 хворих на рак тіла матки стадій ІВ-ІІ, які проходили лікування у відділенні променевої терапії ДУ «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України» з 2016 по 2019 роки. Післяопераційний курс дистанційної променевої терапії проведено із використанням лінійного прискорювача Clinac-600C. Використовувалася методика класичного фракціонування із разовою осередковою дозою (РОД) 2 Гр 5 разів на тиждень. Сумарна осередкова доза склала 40-50 Гр.

Для оцінки фактичного дозового навантаження проведена дозиметрія *in vivo* у 60 хворих на РТМ після

першого сеансу післяопераційного курсу ДПТ і в середині курсу (після досягнення СОД 20 Гр). Діапазон поглинутої дози на першому сеансі склав 1,56–2,19 Гр, а при досягненні 20 Гр становив 1,59–2,11 Гр. При першому вимірюванні разова поглинена доза на слизову прямої кишки у 30 з 60 (50,0 %) пацієнток, які отримували лікування на лінійному прискорювачі Clinac-600С була менше запланованої, у 18 (30,0 %) - перевищувала таку, яка була запланована, та у 12 (20,0 %) пацієнток доза була у межах розрахованих показників. При другому вимірюванні у 34 з 60 (56,7 %) пацієнток доза на слизову прямої кишки була меншою, ніж було заплановано, у 6 (10,0 %) пацієнток вище за заплановану дозу та у 20 (33,3 %) пацієнток була в межах розрахункових показників. Порівнюючи дані *in vivo* дозиметрії на першому та на десятому сеансі при опроміненні на апараті Clinac 600 можна відзначити, що не дивлячись на практично ідентичні мінімальні і максимальні значення, як середнє та і медиана значення вище при другому вимірюванні.

Висновки. Отримані дані дозиметрії *in vivo* свідчать про істотні відмінності між дозою, яка була запланована та виміряної поглиненою дозою на слизову прямої кишки при проведенні післяопераційного опромінення хворих на рак тіла матки. Отримані дані свідчать про необхідність регулярного контролю осередкових доз, та розробки нових підходів до топометричної підготовки для проведення післяопераційного курсу дистанційної променевої терапії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крейнина Ю.М., Титова В.А., Шипилова А.Н. Оптимизация послеоперационной лучевой терапии в комплексном лечении рака шейки матки II–III стадии. Вопросы онкологии. 2006. Т. 52. No 1. С. 83–88.
2. Hayeon Kim, M. Saiful Huq, Ron Lalonde et al. Early clinical experience with Varian halcyon V2 linear accelerator: Dual-isocenter IMRT planning and delivery with portal dosimetry for gynecological cancer treatments. J Appl Clin Med Physics, 2019, vol. 20(11):111–20. doi:10.1002/ acm2.12747.

3. Сухина Е.Н., Старенький В. П., Свиначенко А. В. и соавт. Использование дозиметрии *in vivo* при проведении дистанционной лучевой терапии пациенткам с местнораспространенным раком шейки матки. Український радіологічний журнал. 2015. Т. 23. Вип. 2. С. 102–103. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/URLZh_2015_23_2_28.
4. Разумова Е. Л., Аль-Михлафи Л., Кижаяев Е. В., Каракина Н.Ф. Лучевая терапия рака шейки матки с использованием оптимальных технологий дозиметрического планирования. Вестник последипломого медичинского образования. 2012. No 3-4. С.37-42.

POWER SPECTRA OF DOPPLER RESPONSE SIGNALS FROM BIOLOGICAL OBJECTS USING SYNTHETIC APERTURE ULTRASOUND

I.V. Sheina, O.B. Kiselov, E.A. Barannik

V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,
+380504040340, i.sheina@karazin.ua

Abstract. In the present paper the influence of the dynamic change of the angles of ultrasonic waves emission in biological objects on spectral characteristics of the sensitivity function has been examined. The results obtained allow optimizing specific ultrasonic medical diagnostic methods that have been implemented using synthetic aperture imaging technique.

Анотація. В роботі досліджено вплив динамічної зміни ракурсів випромінювання ультразвукових пучків хвиль в біологічних об'єктах на спектральні характеристики функції чутливості. Одержані результати дають змогу оптимізувати конкретні ультразвукові медичні діагностичні методики, що реалізуються за допомогою технології синтезованої апертури.

Key words: ultrasound, Doppler spectra, synthetic aperture technique, continuum model of scattering, sensitivity function, dynamic focusing, response forming.

Ключові слова: ультразвук, доплерівський спектр, технологія синтезованої апертури, континуальна модель розсіяння, функція чутливості, динамічне фокусування, формування відгуку.

Ultrasound Doppler methods are widely used in clinical practice for the examination of cardiovascular system and soft

biological tissues. Along with the safety, portability, relatively low cost and ease of use, the main advantage of medical ultrasound is its capability to produce images in the real time, which makes it possible to visualize dynamic structures in the human body. However, images produced by an ultrasound imaging system, must be of sufficient quality to provide accurate clinical interpretation. In conventional ultrasound imaging system the image is acquired sequentially one image line at a time that puts a strict limit on the frame rate and the possibility of acquiring a sufficient amount of data for high precision flow estimation. These constrictions can be reduced by employing synthetic aperture (SA) imaging. Here data is acquired simultaneously from all directions over a number of emissions, and the full image can be reconstructed from this data. The distinctive feature of SA method is the use of wavefronts, in particular, plane ones, that differ in the direction of propagation, with subsequent coherent addition of recorded ultrasonic responses. SA data acquisition can be used in medical ultrasound imaging as has been shown by a number of authors [1]. The properties of B-mode images obtained with a usage of SA imaging are studied well enough by now. In particular, the dependence of focusing quality on the number of different angles of plane waves is established. The spectra of ultrasonic Doppler signals and the influence on them of the dynamically changed in time of probing angles, have been far worse investigated.

In the present paper to study this effect we use the previously developed continuum model [2] of ultrasound waves scattering from inhomogeneities of mass density and compressibility. In [2] it is shown that general relationship between the full power spectrum of the Doppler signal from the region of interest, spectral characteristics of the correlation function for ultrasound scatterers and the probing ultrasound field parameters is given by the formula

$$S(\omega) = \frac{k^4}{(2\pi)^3} \int d\vec{q} C(\vec{q}, \omega) \left| G(\vec{q} + 2\vec{k}) \right|^2, \quad (1)$$

which is valid for constant movement velocity V of ultrasound scatterers and stationary ultrasonic field. Here, $\vec{k}$ is the wave

vector of the incident and reflected ultrasound fields in the approximation of plane waves, $\vec{q}$ is the wave vector of scattering, ω is the Doppler shift frequency of scattered waves, $C(\vec{q}, \omega)$ is the Fourier transform of the spatial-temporal correlation function of mass density and compressibility fluctuations, and $G(\vec{q} + 2\vec{k})$ is the Fourier transform of the sensitivity function, which expresses the pulsed ultrasound field properties on the spatial harmonics.

There are two possible ways to form ultrasonic Doppler signal with the use of the responses received for different probing angles of dynamically changing sensitivity function. In one of them the Doppler response is an ordinary sequence of discrete values of response signals for the sequence of different angles. In this case the full power spectrum of the Doppler signal can be written as follows [3]:

$$S(\omega_k) = \frac{k^4}{(2\pi)^3} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \int d\vec{q} C(\vec{q}, \omega_k - \omega_j) \left| G(\vec{q} + 2\vec{k}, \omega_j) \right|^2 \quad (2)$$

Clearly, a change in time of the direction of wave vector and sensitivity function leads to a corresponding change in the Doppler angle $\mathcal{Q}$. As a result even at a constant velocity V the measured velocity $V \cos \mathcal{Q}$ also constantly changes in accordance with the change in the value of $\cos \mathcal{Q}$. This situation is physically equivalent to the accelerated movement of ultrasound scatterers, which results in broadening of the Doppler signal spectrum, as it is shown in [4]. This circumstance is a disadvantage compared to the traditional techniques of ultrasound Doppler probing.

Another method of forming the ultrasonic Doppler signal consists in the fact that discrete values are obtained by the summation of the discrete values of response signals for different angles for the entire period of angle change T . Taking into account such a summation, which inherently means averaging over period T , the sensitivity function $G'_p(\vec{r}, t)$ is transformed as follows

$$\overline{G'_p(\vec{r}, t)} = \int_{-T/2}^{T/2} G'_p(\vec{r}, t + t') dt'.$$

Then the expression relating the full power spectrum of ultrasonic Doppler response signal to spectral characteristics of ultrasound scatterers movement and sensitivity function of the system takes the form:

$$S(\omega_k) = \frac{k^4}{(2\pi)^3} T^2 \int d\vec{q} C(\vec{q}, \omega_k) \left| G(\vec{q} + 2\vec{k}, 0) \right|^2. \quad (3)$$

In contrast to expression (2), formula (3) does not contain convolution in frequency of the spatial-temporal correlation function of fluctuations and sensitivity function. In this sense formula (3) is similar to the integral expression for power spectrum (1) for the stationary probing fields used in conventional Doppler methods. At the same time coherent summation of responses provides high resolution typical for SA imaging in the entire range of the probing depths.

Expression (3) shows that it is possible to achieve higher spatial resolution without deterioration of spectral characteristics and undesirable increase in spectral width. The results obtained allow optimizing specific ultrasonic Doppler techniques that have been implemented using synthetic aperture imaging technique.

REFERENCES

1. Jensen J. A., Nikolov S. I., Gammelmark K. L., and Pedersen M. H., Synthetic aperture ultrasound imaging // *Ultrasonics*. – 2006. – Vol. 44 Suppl 1. – P. 5–15.
2. Skresanova I.V., Barannik E.A. Correlation functions and power spectra of Doppler response signals in ultrasonic medical applications // *Ultrasonics*. – 2012. – Vol. 52, N5. – P.676-684.
3. Barannik E.A., Matchenko O.S. The influence of the dynamic change of ultrasound system sensitivity function on the spectra of Doppler response signals // *East Eur. J. Phys.* – 2016. – Vol.3, N2. – P.61-64.
4. Barannik E.A., Matchenko O.S. The effect of blood acceleration on the ultrasound power Doppler Spectrum // *Acoustical Physics* – 2017. – Vol.63, N5. – P.596–603.

ESTIMATION OF ENTRANCE SURFACE DOSE OF NEWBORN PATIENTS FOR DIAGNOSTIC RADIOLOGY

**D.K. Kochergin^{1,*}, S.A. Kutsen², V.F. Minenko²,
K.A. Viarenich²**

^{1*}*Belarusian State University, Minsk, Belarus*

²*Institute for Nuclear Problems, Belarusian State University, Minsk, Belarus,
+(37517)2095044; dmitriyrbu@gmail.com*

The abstract. This results of simulation of diagnostic radiology procedures are presented. A newborn patient is considered. Two procedures were studied: skull in lateral and posterior-anterior projections, and chest in lateral projection and in posterior-anterior projection.

Key words: entrance surface dose, diagnostic radiology, Monte-Carlo model, voxel phantom.

Objective. The purpose of this work is to calculate the entrance surface dose (ESD) for the most widely performed diagnostic radiology procedures of newborn children.

To fulfill the stated goal of calculating doses on patients during diagnostic radiology examinations, following tasks were solved:

1. Creation of a model of the X-ray source with specified voltage in the tube; focus-image distance; size of the irradiation field for different procedures; thickness of aluminum and copper filters.

2. Development of the model for calculating the absorbed dose using the voxel phantom of a child.

3. Calculation of the absorbed dose generated by a model X-ray source on the surface of a child's phantom in procedures for X-ray examination of the head and chest organs.

For calculations and visualization of geometry, MCNP 4b was used.

Phantom description. The calculations were made in the phantom of a newborn [1]. Each voxel carries the number of the organ to which it belongs, and each organ has its own material (tissue), indicating the contents of this voxel, as well as the bulk density of

the material. Voxels that do not belong to a phantom are filled with air. Thus, by setting different materials for different voxels, a three-dimensional model of human can be obtained.

The phantom of newborn contains $349 \times 215 \times 721$ voxels in directions from left shoulder to right shoulder, from belly to back and in cranio-caudal directions. Voxel dimensions are $0.663 \text{ mm} \times 0.663 \text{ mm} \times 0.663 \text{ mm}$. Sagittal and frontal cross-sections of the phantom are shown in Figure 1.

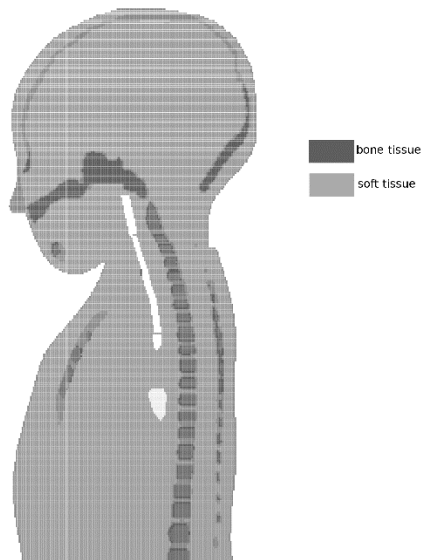


Fig. 1. Section of the phantom of a newborn male in the sagittal and frontal planes

Source properties. Tube voltages for the (skull in lateral and posterior-anterior projections (PA), chest in lateral and PA projections) are indicated in [2]. Their minimum and maximum values were selected. During the simulation, the voltage ripple was not taken into account, since the ripple on modern X-ray equipment is about 4% [3] and can be neglected [4]. Filtration was taken into account according to the instructions for use [5], indicating specific thicknesses and filter materials.

Tube voltage and filter were input in the SpekCalc program [6]. All the necessary spectra for the X-ray source were obtained. Spectrum from SpekCalc for 85 kV is shown in Figure 2.

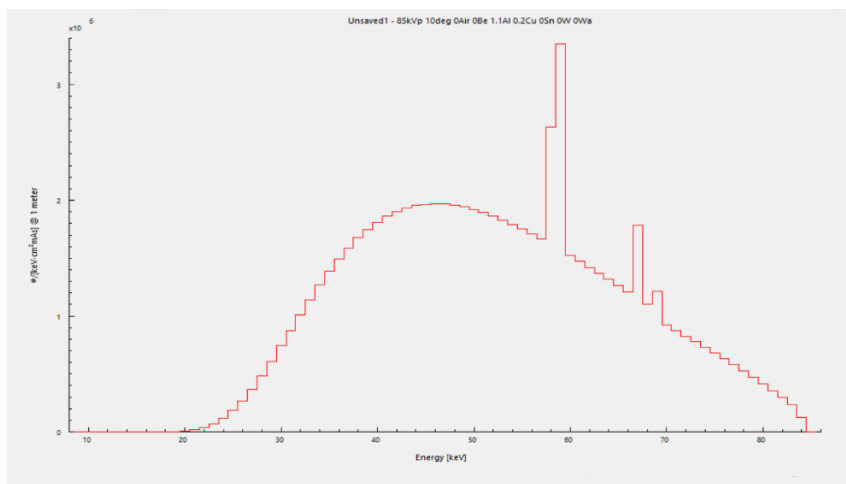


Fig. 2. Spectrum for a tube voltage of 85 kV (anode angle 10 °, filter 1,1 mm Al + 0.2 mm Cu) obtained in the SpekCalcV1.0 program

Geometry of model. The geometry of the model is consistent with the actual procedure for irradiating a patient when performing chest and head X-rays in the PA and lateral projections [7]. The phantom is positioned on the final section of focus-image distance so that its rear boundary is located at 100 cm and 150 cm from the source.

The model of radiation detector is an air plate with linear dimensions 5×5 cm and a thickness of 0.55 mm. The location of the detector is on the main axis of the beam directly in front of the phantom area investigated in these procedures. This model of detector is consistent with the detector of the ionization chamber used to determine ESD in real radiology. The visualization of detector position for the procedure of PA projection of chest radiograph is shown in Figure 3.

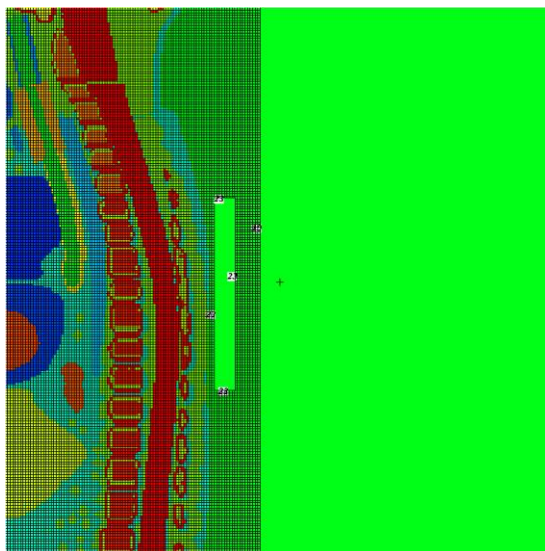


Fig. 3. The location of the detector near the phantom in the case of posterior-anterior projection of the chest x-ray (section in the sagittal plane).

The irradiation field is set based on the type of procedure; its values are presented in [5]. The collimation system consists of 5 mm thick lead plates, the purpose of which is to form a beam of a certain size. The size of the collimation window determines the radiation field that must be obtained for a particular X-ray procedure.

Results. The entrance dose on the body surface was calculated in units of μGy . Table 1 shows the results of calculating the ESD for various input data. For calculations, we used the values of the current at the anode of the X-ray tube $P = 150 \text{ mA}\cdot\text{s}$ for the skull in the lateral projection, $130 \text{ mA}\cdot\text{s}$ for the skull in the posterior-anterior projection, $60 \text{ mA}\cdot\text{s}$ for the chest in the lateral projection and $50 \text{ mA}\cdot\text{s}$ for the chest in the posterior-anterior projection [7].

Table 1.

ESD for skull examinations

	ESD, μGy			
Projection	lateral		PA	
Anode voltage, kV	FID 100 cm	FID 150 cm	FID 100 cm	FID 150 cm
65	1938	4921	1369	4972
85	3874	9861	2755	8933

Table 2.

ESD for chest examinations

	ESD during examination of the chest organs, lateral, μGy			
projection	Lateral		PA	
Anode voltage, kV	FID 100 cm	FID 150 cm	FID 100 cm	FID 150 cm
60	524,0	14,17	427,2	1165
80 (65 for posterior-anterior projection)	1128	30,55	536,7	1460

The results obtained are consistent with the data provided by the standards for X-ray examinations of children [2]. Thus, none of the results obtained for each examination exceeds the threshold values.

REFERENCES

1. Nipper J.C., William J.L., Bolch W.E. Creation of two tomographic voxel models of paediatric patients in the first year of life // Phys. Med. Biol. – 2002. – Vol. 47. - № 17. – P. 3143.
2. Chizh G.V., Poloiko Yu.F. Standards for X-ray examinations of children. Instruction for use No. 108-0903. Approved by first deputy minister V.V. Kolbanov "29" September 2003, 14 p.
3. Meghzifene K., Aiginger H. and Nowotny R. A fit method for the determination of inherent filtration with diagnostic x-ray units // Phys. Med. Biol. – 2006. – 51. – P. 2585–2597.

4. Kacharhin D. Estimation of the contribution of dissipated and reflected gamma-quanta to the value of the DAP depending on the parameters of the x-ray procedure // Book of abstracts of 62nd international conference for students of physics and natural sciences “Open Readings 2019”. – Vilnius: Vilnius University, 2019. – P. 344.
5. Control of effective doses of radiation to patients during medical X-ray examinations: Methodical guidelines MUK 2.6.1.2944-11. Approved by chief state sanitary doctor of the Russian Federation on July 19, 2011.
6. Poludniowski G., Landry G., Deblois F., Evans P. M., Verhaegen F. SpekCalc: A program to calculate photon spectra from tungsten anode X-ray tubes // Phys. Med. Biol. – 2009. – Vol. 54, № 19. – P. N433–N438.
7. Kishkovsky A.N., Tyutin L.A., Esinovskaya G.N. Atlas of styling for X-ray studies. – Leningrad, 1987. – 510 p.

OUR EXPERIENCE IN INTERSTITIAL BRACHYTHERAPY

O.V.Kozak ¹, I.V.Horot ²

¹ *Region Oncology Hospital, Kiev, Ukraine, oko.bydenko@gmail.com*

² *Bohomolets National Medical Academy, Kiev, Ukraine*

The possibilities of brachytherapy are increasing every year. Tumor stabilization is becoming possible for more and more sites. For example, methods of irradiation of the affected cervical and supraclavicular conglomerates have been developed, which cannot be dealt with by methods of distant irradiation [2, 3].

These are mainly methods of interstitial brachytherapy, when significant doses are administered locally, which cannot be administered remotely. Due to the high unevenness of the dose, we, in fact, cannot say what dose we actually deliver. Moreover, the dose can vary by several grays at a distance of 1 mm. The same dose, applied by application and with the help of interstitial methods, is evaluated in completely different ways from the point of view of radiobiology.

We actively use intratissue brachytherapy in the treatment of basalomas and squamous cell carcinomas of the skin, especially

when the tumor is located on the eyelids. This helps to preserve the eye.

With vaginal lesions, when it is impossible to deliver a dose without additional installation of needles or flexible applicators, with cervical cancer, when the canal is obstructed or the size of the tumor does not allow it to be covered with the required isodose without damaging critical organs. We also use needles for treatment of the lips cancer. Rectum cancer and anal cancer. Esophageal cancer. Breast brachytherapy.

Which applicators should be used? According to our experience, the introduction of needles allows large single doses to be delivered, edema disappears faster, and wound healing also occurs faster. And it is more comfortable for the patient, he does not walk for two weeks with plastic pipes sticking out from under the bandage. Sometimes, when the patient is of considerable age and refuses to receive remote irradiation, we use brachytherapy for lesions of the head and neck.

We are firmly convinced that the way of the insertion of the applicators should correspond to the task to be solved. They can be parallel, stand at angles, arbitrarily. Sometimes a parallel, so-called French method, is unattainable. The problem has to be solved in accordance with the possibilities. It must be remembered that any limitation affects the outcome of the treatment.

Where should we normalize the dose? To the edge of the tumor, to a point, in accordance with the distance from the applicator? It depends on many factors [1].

We need to monitor the irradiated volume. Or volume, covered by special isodose. The relationship of these value could be of help in evaluation of the quality of the dose distribution. This also applies to gynecology. A lot of questions arises with the introduction of the Fletchers. It is necessary to react to every feature of the applicator insertion. We indicate the dose, which changes at times by one centimeter. What meaning do we give in reality?

Dose gradients within and outside the tumor are essential. Basically, the criteria for limiting critical organs are related to the volume of the critical organ irradiation. Also important is the

volume that isodose covers. It's always important to keep the irradiated volumes in mind together with the dose meaning.

REFERENCES

1. Ali S. Meigooni, Jack Venselaar, Dimos Baltas. Comprehensive Brachytherapy: Physical and Clinical Aspects. –CRC Press. - 2012.
2. Ingo U. Teudt, Gyo`rgy Kova`cs, et al. Intensity modulated perioperative HDR brachytherapy for recurrent and/or advanced head and neck metastases. - Eur Arch Otorhinolaryngol.
3. Christopher Nutting, Nigel Horlock, et al. Manually after-loaded 192Ir low-dose rate brachytherapy after subtotal excision and flap reconstruction of recurrent cervical lymphadenopathy from head and neck cancer. - Radiotherapy and Oncology 80 (2006) 39–42.
4. Alexander Tuan Falk, Audrey Claren, et al. Interstitial high-dose rate brachytherapy as boost for anal canal cancer. - Radiation Oncology 2014, 9:240.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗБУРЕННЯ РУХУ КРОВІ ПРИ ІНВАЗИВНОМУ ВИМІРЮВАННІ АРТЕРІАЛЬНОГО ТИСКУ

К.О. Герасименко, Ю.Ф. Забашта, Б.В. Бацак

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна, tinaog@knu.ua*

Анотація. Інвазивний моніторинг є клінічним методом вимірювання артеріального тиску. Введення в судину катетера призводить до збурення руху крові навколо катетера та спотворює отриманні показники, що підтверджено теоретичними розрахунками. Методом математичного моделювання на основі даних фазово-контрастної магніторезонансної томографії було визначено похибку інвазивного методу.

Annotation. Invasive monitoring is clinical method of measuring blood pressure. The introduction of a catheter into the vessel leads to disruption of blood flow around the catheter and distort the obtained indicators, what confirmed by theoretical calculations. Using phase-contrast magnetic resonance imaging data-based mathematical modelling, an invasive blood pressure error was determined.

Ключові слова: артеріальний тиск, інвазивний моніторинг, МРТ.

Key words: blood pressure, invasive monitoring, MRI.

При хірургічних утручаннях та при веденні важко хворих пацієнтів необхідно постійно контролювати артеріальний тиск, одним з методів його вимірювання є прямий (інвазивний) метод, який полягає в веденні в кровоносну судину (найчастіше променева чи стегнова артерії) катетерів у вигляді циліндричних трубок. Даний метод на сьогодні є одним з найбільш точних і саме тому використовується в медичній практиці для довготривалого контролю в складних випадках, а також для калібрування інших приладів [1]. Очевидно, що введення катетера в судину порушує потік крові та розподіл тиску в ній і, відповідно, впливає на достовірність результатів вимірювань, що призводить до систематичної похибки вимірювань. Як було показано раніше методами гемодинаміки в довгохвильовому наближенні даний метод має систематичну похибку вимірювань [2].

Тиск виміряний інвазивним методом визначається формулою:

$$p = p' \frac{3b^2 - a^2}{2b^2 - a^2},$$

де p' – справжній тиск, a – радіус катетера, b – радіус судини.

Відносна похибка інвазивного методу: $\varepsilon = \frac{p-p'}{p'} = \frac{b^2}{2b^2-a^2}$.

Для магістральних судин дана похибка становить близько 50%, а при зменшенні радіуса судини похибка тільки зростає.

Метою даної роботи розглянути зміну току крові в судині при введенні в неї катетера методом комп'ютерного моделювання та порівняти отримані вимірювані результати з теоретичними розрахунками.

Матеріали та методи. Для створення комп'ютерної моделі було обрано прямолінійну ділянку низхідної аорти та прямолінійну ділянку променевої артерії. Геометрія аорти та артерії відповідає MPT дослідження добровольця, які проводилися на магнітно-резонансному томографі TOSHIBA

Vantage Titan 1,5T в Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова.

Кров в даній моделі розглядається як нестислива ньютонівська рідина з густиною $\rho = 1300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ та динамічною в'язкістю $\mu = 0,005 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Пружні властивості стінок артерії, оточуючого м'язового середовища та катетера задаються параметрами Ламе, які є експериментально визначені для аорти та серцевого м'яза [3] та середніми для гуми.

Межова умова на вході артерії – часова залежність швидкості крові протягом одного серцевого циклу, яка також отримана внаслідок проведеного МРТ дослідження. На виході артерії – постійна величина тиску 13335 Па (Рис.1).

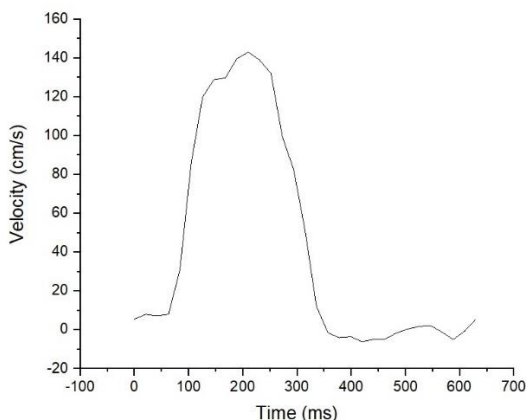


Рис.1 Залежність швидкості крові від часу в аорті на рівні діафрагми

Моделювання току крові в судині в середовищі COMSOL Multiphysics 5.5. Задача розглядалася як аксіально симетрична. З метою зменшення впливу початкових умов, які були обрані нульовими, аналіз результатів проводився на третьому серцевому циклі.

Результати. В результаті моделювання були отримані поля розподілу тиску та швидкостей для вільної та катеризованої судини в момент систоли третього серцевого циклу (Рис. 2., Рис. 3).

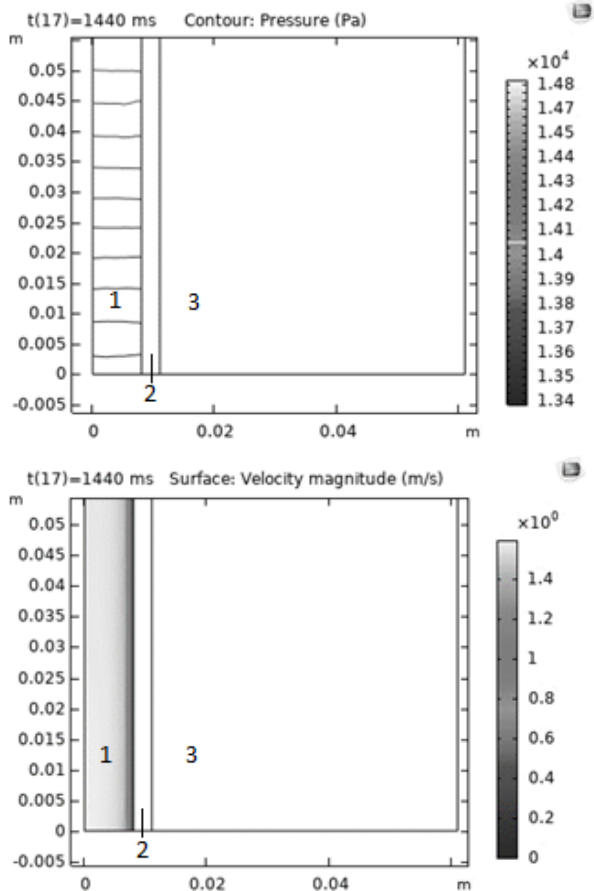


Рис. 2. Результати проведеного моделювання в вільній від катетера судині. На правому рисунку зображено розподіл тисків на поперечному перетині судини, на лівому – розподіл швидкостей руху крові. 1 - судина, 2 – стінка судини, 3 – м'яз.

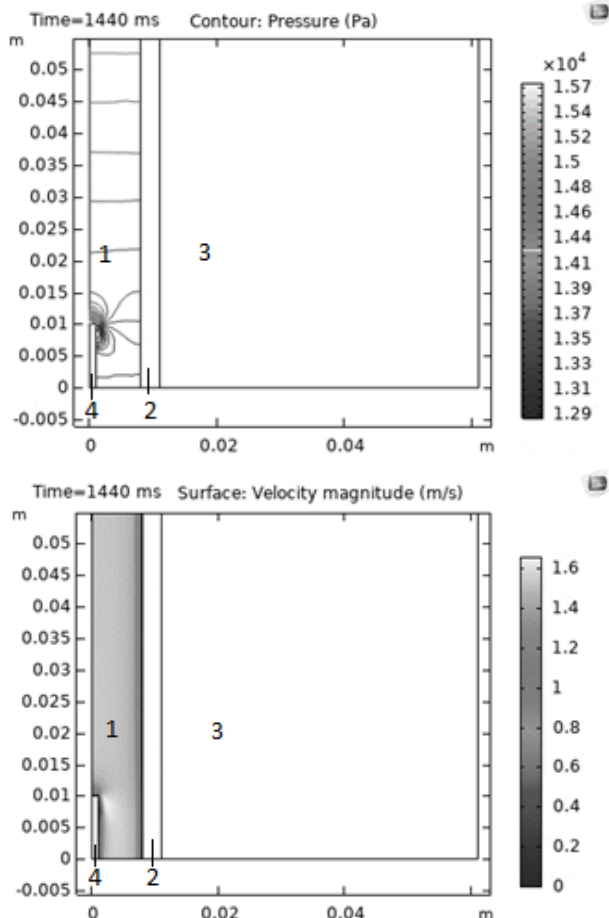


Рис.3. Результати проведеного моделювання в катетеризованій судині. На правому рисунку зображено розподіл тисків на поперечному перетині судини, на лівому – розподіл швидкостей руху крові. 1 - судина, 2 – стінка судини, 3 – м'яз, 4 – тіло катетера.

Як видно з рисунків, відносна похибка вимірювання систолічного тиску інвазивного методу в рамках даної моделі у грудній аорті становить близько 15%, тоді як результат розрахований теоретично для даних параметрів судини 50%. Відносна похибка вимірювання систолічного тиску

інвазивного методу в рамках даної моделі у променевій артерії становить близько 30%, а результат розрахований теоретично для даних параметрів судини 50%.

Висновки. Отримані данні математичного моделювання підтверджують теоретичні розрахунки клінічно значної похибки вимірювання показників артеріального тиску. Значний вплив інвазивного катетеру на показники вимірювання артеріального тиску є наслідком взаємодії перешкоди (катетеру) з пульсовою хвилею. Встановлений зв'язок між збільшенням похибки вимірювання при зменшенні діаметру судини може бути використаний в клінічній практиці для врахування похибки вимірювань при інвазивному моніторингу артеріального тиску.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьков В.В., Киров М. Ю. Инвазивный мониторинг гемодинамики в интенсивной терапии и анестезиологии: монографія. Архангельск: Северный государственный медицинский университет, 2008. С. 41-43.
2. Булавин Л.А., Кнышов Г.В., Забашта Ю.Ф., Бацак Б.В., Северилов С.В. Возмущение потока при инвазивном измерении давления крови //Российский журнал биомеханики. 2013.Т.17, №3 (61). С. 29-63.
3. Fluid-Structure Interaction in a Network of Blood Vessels by Comsol Muiltiphysics®.

BIOMECHANICAL PROPERTIES OF SCAFFOLDS FOR CARDIAC REPAIR AND REGENERATION

A.A. Sokol

PI «Scientific – pactical medical center for peditrac cardiology and cardiosurgery» Ministry of health of Ukraine, Kyiv, Ukraine, +380635889898, cardiotissue@gmail.com

Anotation. Cardiovascular diseases are the most common cause of adult morbidity and mortality for many decades, so there is a great need for appropriate material for bioprosthethics. These scaffolds can be obtained from a variety of allogeneic or xenogeneic tissue sources and from

several different species. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of cell removal, maintenance of extracellular matrix properties and mechanical integrity of the decellularized bovine pericardium, using five different methods, previously described in the literature. We performed the complex histological examination, analysis of residual cellular content and biomechanical evaluation. In this study, decellularization of bovine pericardium showed that only two of the five protocols showed adequate biomechanical properties, thus serving as an alternative to tissue engineering, including heart valve and vascular patches development.

Key words: bovine pericardium, tissue engineering, decelularization, bioimplant, biomechanic.

More than 800,000 vascular and cardiac surgeries are performed annually, so there is a great need for appropriate material for bioprosthesis. These scaffolds can be obtained from a variety of allogeneic or xenogeneic tissue sources and from several different species [1]. The application of decellularization in cardiac tissue engineering has rapidly progressed in the past 10 years [2]. In 2008 first reported the development of an acellular rat whole heart via coronary perfusion using the solution containing 1% sodium dodecyl sulfate (SDS) and 1% Triton X-100 in deionized water [3]. Today, one of the most common materials for xenoplasty is a decellularized bovine pericardium. This material is widely used in cardiovascular surgery, its creation for the correction of acquired and congenital heart defects (closure of atrial and interventricular septal defects); creation of artificial tricuspid, mitral and aortic heart valves; prosthetics and plastics of vessels, valves of heart valves, pericardial tissue; prevention of adhesions in the mediastinum; bioprosthesis and plastics of main vessels (plastic of the original aorta); aortic root plastics. Tissue decellularization can be performed by using different protocols, detergent extraction or enzymatic extraction with hypotonic or hypertonic washings and physical (agitation, sonication, mechanical pressure or freeze-thawing) treatments [4-8].

Tissue decellularization can be performed by using different protocols, detergent extraction or enzymatic extraction with

hypotonic or hypertonic washings and physical (agitation, sonication, mechanical pressure or freeze-thawing) treatments [9]. However, the decellularization process can modify the natural extracellular matrix composition, as well as mechanical and structural characteristics [10]. The decellularization process reduces cell content as well as extracellular matrix components and increases thickness without changing the biomechanical properties of the decellularized tissue compared with the fresh one. Decellularized human pericardium may be a suitable candidate for the production of extracellular matrix-derived scaffolds for tissue engineering and regenerative medicine applications. The bovine pericardium is most a double-walled sac that covers the heart and can be used for vascular and cardiac surgery on the chest.

Objective: The aim of this study was to evaluate the effect of the decelularization process and the biomechanical properties of bovine pericardial tissue after treatment with decelularization.

Methods: We performed five different decellularization protocols in bovine pericardial ventral surface sac using the 20x40 mm specimen for mechanical analysis. All pericardium patches separately should be loaded between 2 steel rods and clamped vertically into the testing machine (IMADA, MX2 - 110, Japan) for obtaining maximum tensile strength (F_{max}) data. Force was applied until failure with a rate of 200 mm/min.

The tensile strength was determined by the formula:

$$\lambda = F_{max} / S, (2)$$

where F_{max} – the maximum tensile force due to violation of the integrity of the material, H;

S – the cross-sectional area of the sample, mm^2 .

Resultates: The worst results of biomechanical abbility were observed in the samples of Group 3, where despite the almost complete removal of cells from the tissues, its biomechanical properties were lost. All other used approaches for decellularization had shown more appropriate biomechanical properties. Tissue tensile strength value in group 2, 3, 4 and 5 samples were approximately the same ($p < 0,05$). However, we have to admit, that group 4 and 5 samples had shown the highest F_{max}

levels, maximally similar to the control group ($p < 0,05$), that could be associated with less prolonged exposure of decellularized solutions. Despite the fact that the values of the maximum tensile strength in group 1 and 2 samples were almost equal to those in group 4 and 5. It should be noted, that we stopped decellularization in group 1 and 2 samples after 42 days of processing. As even after such long time of cells removing process, the concentration of nucleic acids in ECM was quite high and the samples needed further exposure of detergents. However, these findings could lead to decreasing of Fmax level in the future. As follows, 0.1% SDS and Trypsin - 1% SDS protocols are optimal indicators of decelularization with good tissue tensile strength and good biocompatibility. They may be suitable protocols for further (collagen-elastin matrix modification and stabilization processing) studying and producing a suitable device for heart tissue engineering. These findings provide the following insights for future research.

Conclusion: In this study, decellularization of bovine pericardium showed that only two of the five protocols showed adequate biomechanical properties, thus serving as an alternative to tissue engineering, including heart valve and vascular patches development.

REFERENCE

1. Crapo P.M., Gilbert T.W., Badylak S.F. An overview of tissue and whole organ decellularization processes // *Biomaterials*. – 2011 – Vol.32 (12). – P. 3233–3243.
2. Pawan K.C., Yi Hong, Ge Zhang Cardiac tissue-derived extracellular matrix scaffolds for myocardial repair: advantages and challenges // *Regen Biomater*. – 2019. – Vol. 6(4). – P. 185-199.
3. Ott H.C., Matthiesen T.S., Goh S.K., et al. Perfusion-decellularized matrix: using nature's platform to engineer a bioartificial heart // *Nat Med*. – 2008. – Vol.14. – P. 213–21.
4. Карпенко А.А., Кужугет Р.А., Стародубцев В.Б., и др. Непосредственные и отдаленные результаты различных методов реконструкции каротидной бифуркации // *Патология кровообращения и кардиохирургия*. – 2013. - №1. – С. 21–4.
5. Mueller C., Dave H., Prêtre R. Surgical repair of aorto-ventricular tunnel // *Multimed Man Cardiothorac Surg*. – 2012. – P. 1093–7.

6. Чеснов Ю.М. Биосовместимость ксеноперикарда, фиксированного эпоксидными соединениями, в экспериментах *in vitro* и *in vivo* // Актуальные вопросы кардиологии: сб. научн. тр. Манак Н.А., редактор. Минск: Энциклопедикс. – 2002. - №2. – С. 188–90.
7. Nonaka M., Iwakura A., Yamanaka K. Technique to treat extensive abscesses in double valve replacement for prosthetic valve endocarditis // *J Heart Valve Dis.* – 2013. – Vol. 22(4). – P. 575–7.
8. Sh.D. Akhmedov, S.A. Afanasjev, M.L. Dyakova, T.Kh. Fatkhutdinov, L.V. Kaktursky. The use of perfusion decellularised matrix for new blood vessels formation in heart by the method of tissue engineering // *Cell transplantology and tissue engineering.* - 2009. - No. 4 (2). - S. 32-9.
9. Crapo PM, Gilbert TW, Badylak SF. An overview of tissue and whole organ decellularization processes // *Biomaterials.* – 2011. – Vol. 32(12). – P. 3233–3243.
10. Gilbert TW, Sellaro TL, Badylak SF Decellularization of tissues and organs // *Biomaterials.* – 2006. – Vol. 27(19). – P. 3675–3683.

SCATTERED RADIATION IN X-RAY IMAGING: SCATTERING KERNELS MODEL

A.Y. Danyk, O.O. Sudakov

*Medical Radiophysics Department, National Taras Shevchenko University of
Kyiv, Ukraine, AntonDanik@gmail.com*

Annotation. Scattering kernel model proposed, tested on a simple phantom fitting well different kinds of scattering kernels: small and big, symmetrical and asymmetrical. Kernels asymmetry mostly caused by irradiation the object near the different tissues' edges. The model has shown to be able to fit the asymmetrical kernels by virtue of proposed models' "sectoral" member. Scattering compensation procedure results in up to 50% less error in case of wider kernels application. Nearly ideal fitting results (same error for original wide kernels and fitted by the central kernels part) is explained by a phantom simplicity and homogeneity (in the case of a realistic phantom the model is expected to give worse result).

Key words: X-ray image; scattered X-ray radiation convolution kernels; clustering analysis; segmentation; Monte-Carlo simulation.

Introduction. Analysis of medical objects shadow images made using X-rays is called X-ray diagnostics. Like in the case of ordinary visible light passing through a transparent vase of flowers, the primary X-ray rays that were not absorbed or scattered form a clear shadow of the studied object internal structure, while the scattered rays form a fuzzy and slowly changing pattern in space - a background that distorts the desired shadow [1]. In the last work [2] authors proposed a method for correcting X-ray images by means of "intellectual" deconvolution, which relies on knowing scattering kernels. The scattering kernel is essentially the X-ray image obtained by irradiating an object with a pencil beam (scattered radiation normalized by primary radiation integral), which means that the area of its measurement is limited by the size of the used detector. There are few scenarios, when the image under correction has dimensions more than half the size of the available kernel. High-quality image correction requires the scattering kernels to be known in a size twice the size of the corrected image, and so the last could require an extrapolation.

Scattering Kernel model. Scattering kernel [3, 4] is expected to be a function with a significant cylindrical symmetry, maximum value at its center rapidly falling to the periphery. Expression (1) has been proposed to the role of the scattering kernel model (given in polar coordinate θ, r):

$$\{x, y\} \xrightarrow{x_C, y_C} \{\theta, r\}$$

$$I_s(\theta, r) = A_0 + A_1 \cdot \exp \left\{ \left(C_{01} \sqrt{r} + \sum_{j=2}^{N_r} C_{0j} r^j + \sum_{i=1}^{N_\theta} B_i \cdot e^{-\left(\frac{|\theta - \bar{\theta}_i|}{\sqrt{2} \sigma_i} \right)^m} \cdot \left[C_{11} \sqrt{r} + \sum_{j=2}^{N_r} C_{1j} r^j \right] \right) \right\} / \left(1 + \sum_{i=1}^{N_\theta} |B_i| \right) \quad (1)$$

where, $x_C, y_C, A, B, C, \bar{\theta}, \sigma$ – are the free model parameters; N_r – parameter that defines the r polynomial order (starting from $r^{0.5}$); N_θ – parameter that define an amount of “extra” sectors in kernel;

m – define the shape of the Gaussian windows for each “extra” sector.

Numerical Simulation. Proposed model was tested on the scattering kernels obtained for the mathematical phantom during the scattering compensation procedure proposed in [2]. Scattering kernels were fitted (by its central part) to the proposed model (4) using $m=8$ and different values for $N_r=0,\dots,5$ and $N_\theta = 0,1$. Fig.1 demonstrates an example of the kernel with a specific asymmetry fitted to the model. $N_\theta = 1$ and $N_r = 3$ shown to be optimal values for obtained scattering kernels library.

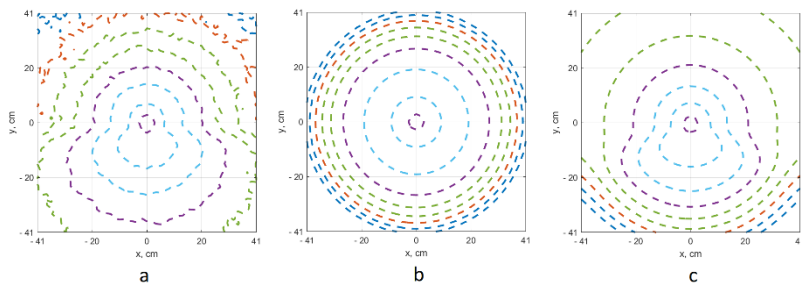


Fig.1 Asymmetric kernel: measured values (a), symmetrical model $N_\theta = 0$ (b), asymmetrical model $N_\theta = 1$ (c)

Four set of scattering kernels (scattering kernels libraries) were tested during the scattering optimization procedure: “wide” kernels - original values for measured kernels; “narrow” kernels - central part of the original values for measured kernels with zeros outside; “fully approximated” kernels - values of the model fitted to the “narrow” kernels; “approximated corners” kernels – “narrow” kernels values inside the central part with “fully approximated” kernels values outside.

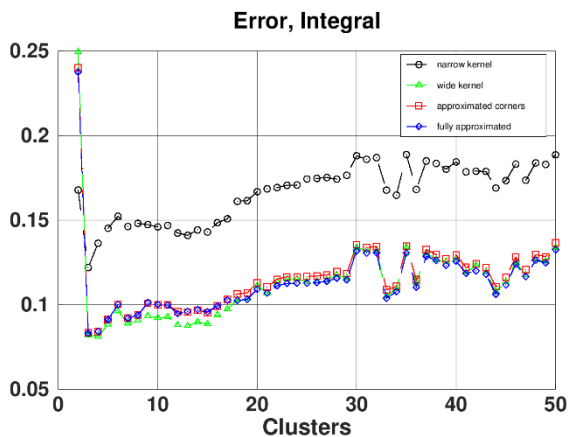


Fig.2 Scattering compensation Error vs Scattering Kernels library size

Conclusions

Proposed model, tested on a simple phantom, has shown good results fitting all: small, big, symmetrical and asymmetrical scattering kernels. Kernels asymmetry mostly caused by irradiation

the object near the different tissues' edges. The model has shown to be able to fit the asymmetrical kernels by virtue of "sectoral" member presence. Scattering compensation procedure results in up to 50% less error (fig. 2) in case of wider kernels application. Nearly ideal fitting results (same error for original wide kernels and fitted by the central kernels part) is explained by a very simple phantom, in the case of a realistic phantom the model is expected to give worse result. Scattering kernels parameterization or approximation to a simple function can be useful not only for extrapolating kernels as in the scenario mentioned here, but also as a more efficient interpolation method, for example, in the case of using "beam-stop" schemes.

REFERENCES

1. Webb S. The Physics of Medical Imaging / S. Webb // CRC Press, 1988.
2. Danyk A. Using clustering analysis for determination of scattering kernels in X-ray imaging / A. Danyk, S. Radchenko, A. Netreba, O. Sudakov // Proc. 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS. – 2019. – Vol. 1. – P. 211-215. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924353>

3. Danyk A. The problem of scattered radiation in X-ray imaging / A. Danyk // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Фізико-Математичні науки. - 2018. Vol. 1. – P. 72-83.
4. Yao W. An analytical approach to estimating the first order x-ray scatter in heterogenous medium. / W. Yao, K. W. Leszczynski // Medical Physics. – 2009. – Vol. 36, No. 7. – P.3145-3156. <https://doi.org/10.1118/1.3152114>

**КОМП'ЮТЕРНЕ ПЛАНУВАННЯ ПОМІРНОЇ
ІНДУКТИВНОЇ МАГНІТОТЕРМІЇ ПАЦІЄНТІВ
ХВОРИХ НА РАК ГРУДНОЇ ЗАЛОЗИ АПАРАТОМ
«МАГНІТЕРМ»**

**О.І. Мохонько^{1*}, В.Е. Орел², О.Ю. Рихальський²,
О.Й. Дасюкевич², Л.А. Сивак²**

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна

² Національний Інститут Раку, Київ, Україна, sashamohonko@gmail.com

Анотація. Комп'ютерне планування гіпертермії пацієнтів хворих на рак грудної залози було проведено за допомогою програмного забезпечення Comsol Multiphysics. Розроблена технологія може використовуватись у клінічній практиці при плануванні комбінованого лікування, в кожному індивідуальному випадку.

Annotation. Computer planning of hyperthermia of patients with breast cancer was performed using Comsol Multiphysics software. The developed technology can be used in clinical practice when planning combination treatment, in each individual case.

Ключові слова: Рак грудної залози, магнітотермія, комп'ютерне планування.

Key words: Breast cancer, magnetotherapy, computer planning.

Рак грудної залози (РГЗ) в Україні займає перше місце серед онкологічних захворювань у жінок. Донедавна це захворювання вражало переважно категорію жінок похилого віку, але реалії сьогодення констатують, що хвороба значно «помолодшала». РГЗ трапляється у жінок віком від 13 до 90 років. Все частіше хвороба вражає пацієнток репродуктивного віку. За останні 20 років кількість жінок на РГЗ виросла на 64%. Імовірність захворіти на РГЗ збільшується з віком, але найбільший відсоток хворих складають жінки у віці 40-50 років. Дані національного інституту раку США свідчать, що 5-річна виживаність для всіх стадій пацієнток з РГЗ становить

біля 89,7 %. Щороку в Україні помирає близько 5680 жінок з діагнозом РГЗ [1,2]. Така тенденція створює необхідність підвищити ефективність традиційних методів лікування з метою збільшення частки органозберігаючих операцій.

Одним із способів підвищення ефективності лікування є використання магнітотермії – дія магнітним полем на область пухлини [3]. Дана процедура, на даний момент не відноситься до методів традиційного лікування, але впроваджена в медичну практику в лікувальних закладах, в «Національному Інституті Раку» зокрема. Для ініціювання помірної індуктивної гіпертермії використовується апарат «Магнітерм» (Радмір, Україна) у комбінації з методами неoad'ювантної поліхіміотерапії. Принцип роботи апарату заснований на локальному виникненні вихрових струмів у пухлині, що спричинює підвищення температури на 1-3 °C та ефект оксидативного стресу.

Розробка методу комп'ютерного планування даної процедури необхідна для розрахунку оптимальних режимів роботи апарата «Магнітерм» (Радмір, Україна) та технології терапії. Отримані дані можуть використовуватись персоналом при плануванні лікування, в кожному індивідуальному випадку. Тому актуальним є питання розробки і впровадження у клінічну практику комп'ютерного планування помірної індуктивної гіпертермії пацієнтів хворих на рак грудної залози.

Комп'ютерне планування помірної індуктивної гіпертермії пацієнтів хворих на рак грудної залози було проведено за допомогою програмного забезпечення Comsol Multiphysics 5.4, що складалось з послідовних п'яти етапів. Перший – на основі МРТ зображення пухлини грудної залози визначаються геометричні особливості: розташування, розмір та форма пухлини, яку планували опромінювати. Другий - сегментація медичного зображення пухлини грудної залози. З третього по п'ятий етапи склалися з обчислення температури, величин індукції магнітного і напруженості

електричного полів та питомого коефіцієнту поглинання електромагнітної енергії у пухлині.

Побудована модель зображена на Рис. 1.

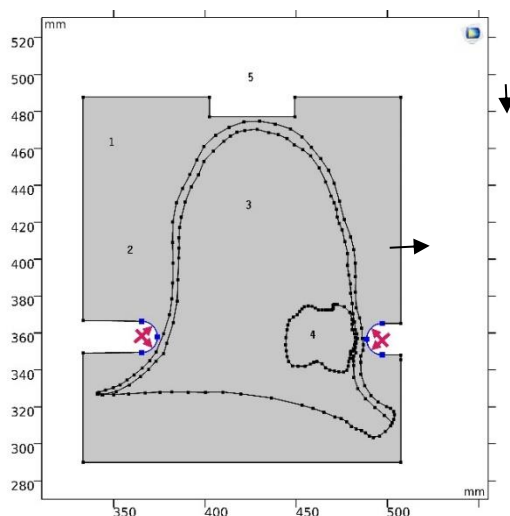


Рис. 1 – модель ГЗ побудована в програмному середовищі Comsol Multiphysics 5.4. Компоненти: 1 – повітря; 2 – шкіра; 3 – молочна залоза; 4 – пухлина; 5 – постійний магніт, червоні стрілки вказують на аплікатор апарату «Магнітерм»

Внаслідок виконання програми були отримані наступні результати. Спостерігається зміна температури як в області пухлини так і в грудній залозі. По відношенню до початкової температурив пухлині, яка становила 37°C , внаслідок імітації процедури магнітотермії апаратом «Магінтерм» тривалістю 30 хв. спостерігається підвищення на 2.2°C , як зазначено на Рис. 2.

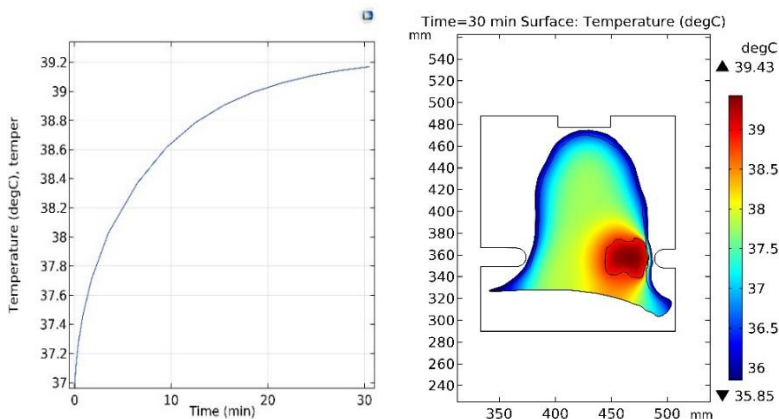


Рис. 2 – розподіл температурних полів в області пухлини

Використання помірної індуктивної гіпертермії ініційованої апаратом «Магнітерм» (Радмір, Україна) у комбінації з методами хіміотерапії дозволило підвищити на 14 % кількість органозберігаючих і реконструктивно-відновлювальних операцій у жінок хворих рак грудної залози [4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. R.L. Siegel, K. D. Miller, A. Jemal // Cancer statistics Cancer J Clin –2019. –Vol. – 69(1). – P. 7–34. doi:10.3322/caac.21551.
2. З.П. Федоренко, Л.О. Гулак, Ю.Й. Михайлович [та ін.] Рак в Україні, 2018–2019. Захворюваність, смертність, виживаність, показники діяльності онкологічної служби // Бюл. Нац. канцер-реєстру України. Київ. – 2020. – № 18. С. 50.
3. Hyperthermia-driven aberrations of secreted microRNAs in breast cancer in vitro / T. Erbes, M. Hirschfeld, S. Waldeck [et al.] // Int. J. Hyperthermia. – 2016. – V. 32, № 6. – P. 630–642.
4. Лобода А.Д. Комплексне лікування хворих на місцево поширений рак грудної залози з використанням магнітотермії / І.І. Смоланка. // Київ, 2019. – 106 с.

EXPERIMENTAL APPROACH FOR DEVELOPMENT OF MULTICOMPONENT NANOSYSTEMS FOR COMBINED PHOTODYNAMIC THERAPY, PHOTOTHERMAL AND CHEMOTHERAPY

Yu.I. Kuziv¹, N.V. Kutsevol¹, P.A. Virych,² V.F. Chekhun²

¹*Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine*

²*R.E. Kavetsky Institute for Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology, Kyiv, Ukraine, +380935530402, qaraquts.yulia.fox@gmail.com*

Abstract. In this investigation we focused on the synthesis and study of complex nanocomposites containing simultaneously Au nanoparticles for Photothermal therapy, Chlorin e6 for Photodynamic therapy, and Doxorubicin for Chemotherapy loaded into a water-soluble polyacrylamide-based polymer.

Анотація. У цьому дослідженні ми зосередилися на синтезі та дослідженні складних нанокompозитів, що містять одночасно наночастинки золота для Фототермічної терапії, Хлорин е6 для Фотодинамічної терапії та Доксорубіцин для Хіміотерапії, завантажені у водорозчинний полімер на основі поліакриламідy.

Key words: polymer, gold nanoparticles, Chlorin e6, Doxorubicin.

Ключові слова: полімер, наночастинки золота, Хлорин е6, Доксорубіцин.

The investigation of nanosystems for photodynamic therapy (PDT) is in the focus of current biomedical research. Thanks to the achievements of nanotechnology, it is possible to develop complex therapeutic composites to increase the effectiveness of cancer treatment. Such multi-component drug delivery nanosystems may contain simultaneously several components, for example, metal nanoparticles (NPs), photosensitizer, and chemotherapeutic agent incorporated into the polymer matrix. However, the use of multicomponent nanosystems requires serious study of the processes that occur during their preparation and storage to avoid some aggregation.

The water-soluble star-like dextran-graft-polyacrylamide copolymer was used as a matrix for the creation of polymer-based multi-component drug delivery systems for combined (photodynamic + photothermal + chemotherapy) antitumor

therapy. The three-component nanocomposites with incorporated gold NPs and Chlorine e6 (Ce6) and the four-component ones additionally loaded by Doxorubicin (Dox) into polymer matrix were studied in the region of physiological temperatures.

The method of holographic interferometry was used to show local heating (hypertermia) of solution near Au NPs under laser irradiation [1]. Thus, confirmed the effectiveness of nanosystems with gold NPs for Photothermal therapy.

It was shown that the three-component nanosystem Polymer, Au NPs and Ce6 demonstrated high efficacy in PDT, but the addition of the fourth component Dox to this composite resulted in a decrease of anti-tumor efficacy [2]. However, four-component nanocomposite, prepared “*ex tempore*”, demonstrated higher efficacy in comparison with the previously prepared nanocomposite with the same content of ingredients [2]. It may be due to the fact, that the molecules of Dox added “*ex tempore*” are not completely incorporated into polymer in such short period of time. The formation of great aggregates in the previously prepared four-component system Polymer, Au NPs, Ce6 and Dox seem to cause a decrease in the therapeutic effect in cancer treatment.

Acknowledgement. This publication is supported by National Research Foundation of Ukraine (project “Plasmon hybrid nanosystems “metal-polymer-fluorophore” with enhanced optical response for photonics and biomedical applications”); Ministry of the Education and Science of Ukraine and the Belarusian Republican Foundation for basic research (project “Design and physico-chemical properties of novel multicomponent nanosystems for the treatment and diagnostics of solid tumors”).

REFERENCES

1. Harahuts Yu., Pavlov V. et al. The study of Au sol, synthesized in uncharged and charged star-like copolymer, under illumination with light irradiation // *Func Mat.* – 2019. – V. 26 (4). – P.723-728.
2. Kutsevol N., Kuziv Yu. et al. Multicomponent Nanocomposites for Complex Anti-Cancer Therapy: Effect of Aggregation Processes on Their Efficacy // *Int J Pol Sci.* – 2020. – V. 2020, Article ID 9627954. – P.1-7.

ВИКОРИСТАННЯ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ДИФРАКТОГРАМ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ БРОНЕПЛАСТИН з SiC

**О.В. Андреєв, Л.І. Асламова, Ю.Є. Грабовський,
М.А. Заболотний**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна, +38(044) 521 32 84, radbez@gmail.com*

Анотація. Робота присвячена визначенню фізичних закономірностей взаємозв'язку між механіко-міцностними параметрами при динамічних навантаженнях виробів з реакційно зв'язаного SiC і його структурно-політипними характеристиками. Політип SiC 6Н є базовим при отриманні елементів броні з реакційно зв'язаного карбіду кремнію при його наявності в елементах з SiC. Навіть якщо є залишкові фази Si або C – графіту, реалізуються високі значення фаз Si або C – графіту, реалізуються високі значення густини зразків та можливість їх використання як елементів броньового захисту.

Ключові слова: SiC, густина, рентгенівські промені, дифракція, політипи, динамічні навантаження.

Актуальність розробки неруйнівних методів контролю керамічних броньових модулів обумовлена зменшенням ефективності захисту броньових сталей після створення і впровадження бронебійних ударників (куль, снарядів) із сердечниками зі зміцнених сталей або спеціальних твердих матеріалів. Обумовлено це тим, що ефективний захист можливий тільки при руйнуванні ударника, що вимагає використання матеріалів з високими значеннями твердості та ударної в'язкості. Оскільки сталева броня істотно поступається в твердості бронебійним осердям ударників, вона не може бути основою для створення ефективного захисту. У цих умовах найбільш перспективним і практично безальтернативним матеріалом для створення засобів бронезахисту по 5-6 А класу (ГОСТ Р 50744-95) є кераміка на основі реакційно зв'язаного SiC, твердість якої перевищує твердість матеріалу осердя кулі. При визначенні фізичних

особливостей механізму ударного впливу на кераміку має бути враховано, що це двоетапний процес. На першому етапі, що триває кілька мікросекунд, реалізується генерація, поширення і відбивання хвилі стиснення в кераміці, що обумовлює появу сукупності радіально розташованих тріщин, локалізованих в приповерхневому шарі кераміки в околі точки попадання ударника. На другому етапі фронт руйнування, утворений тріщинами, починає поширюватися перед ударником вглиб кераміки. У сукупності тріщини формують коноід руйнування, який закінчується в задній площині броні. При формуванні вимог до структури та субструктури керамічних елементів потрібно врахувати, що кераміка виконує дві функції при попаданні балістичного ударника в композитну броню: 1) висока твердість керамічних добавок спричиняє руйнування корпусу ударника на фрагменти, що знижують ефективність пострілу; 2) служить для перерозподілу ударного навантаження по більшій площі матеріалу підкладки броні, зменшуючи енергетичну щільність ударного навантаження на захисні шари. Властивості і характеристики елементів з SiC під динамічним навантаженням досліджені недостатньо.

Мета досліджень. Визначення фізичних закономірностей взаємозв'язку (кореляції) між механіко-міцностними параметрами при динамічних навантаженнях (густиною) виробів з реакційно зв'язаного карбїду кремнію і його структурно-політипними характеристиками [1, 2].

Матеріали дослідження, експериментальна частина. При виготовленні зразків з реакційно зв'язаного карбїду кремнію використовувалася шихта з вмістом SiC- 85-95 %. Серед основних домішок були присутні кремній та вуглець. Вміст інших елементів складав менше 0,2%. Зразки мали форму паралелепіпедів з розмірами 25x25x30 мм. При виборі зразків враховувалось, що міцність виробів з SiC в суттєвій мірі визначається густиною виробу. Густина матеріалу (ρ) зразків вибиралася не меншою 3,05 г/см³, що дозволяло визначати характеристики актуальних елементів захисних

бронеплит. Використовувалися зразки з густиною 3,05; 3,07; 3,1; 3,15; 3,18; 3,2; 3,3 г/см³. Дифрактометричні дослідження проводилися з використанням дифрактометра ДРОН-3М. Дифрактограми отримували в дискретному режимі при таких параметрах сканування: кутовий інтервал $2\theta = (20-150)^\circ$, крок сканування $0,05^\circ$ і час експозиції в точці 10 с. з використанням фільтрованого $\text{CuK}\alpha$ випромінювання. Дифрактограми отримували для кожного зразка від двох взаємно перпендикулярних поверхонь з метою з'ясування гомогенності фазового складу, а також наявності текстури.

Результати досліджень, аналіз. Результати вимірювань ілюструє рисунок, де представлені дифрактограми для двох орієнтацій зразка з густиною 3,2 г/см³. Лінія 1 відповідає вільній поверхні зразка, а лінія 2 – перпендикулярній до неї поверхні.

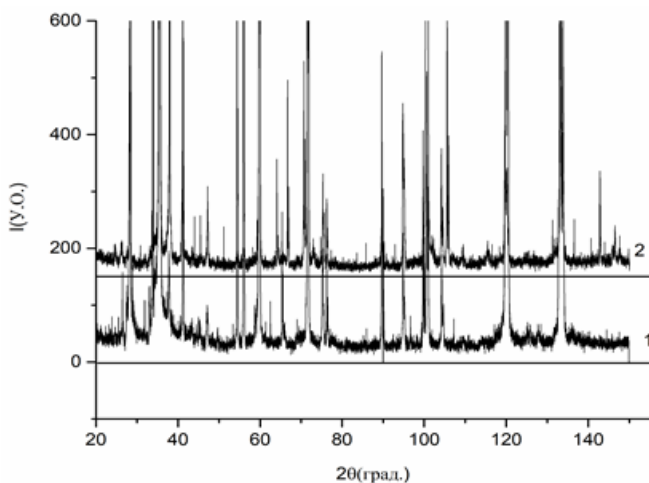


Рис. 1. Залежність зміни амплітудних значень піків інтенсивності дифрагованих рентгенівських променів від значень 2θ при опроміненні взаємно перпендикулярних поверхонь

Дифрактограми мають складну структуру, що ілюструє немонотонна залежність зміни амплітудних значень піків інтенсивності дифрагованих рентгенівських променів від значень 2θ при опроміненні взаємно перпендикулярних поверхонь. В суттєвій мірі це обумовлено тим, що до складу

кристалічної ґратки карбіду кремнію можливе входження великої (до 300) кількості політипів. Було проведено аналіз дифрактограм, що дозволило ідентифікувати у відповідних зразках характер наявних політипів SiC, а також супутніх фаз. По співвідношенню інтегральних інтенсивностей було розраховано кількісне співвідношення політипів і супутніх фаз для кожного типу зразків [2].

Для встановлення взаємозв'язку між текстурованістю та густиною було проведено кореляційний аналіз Пірсона між дифрактограмами рентгенівських променів у взаємно перпендикулярних напрямках.

Висновки.

1. При використанні спектрів дифрактометрії рентгенівських променів встановлено взаємозв'язок між наявними політипами та густиною зразків. Найменша густина притаманна зразкам, які вміщують політип β -SiC. Збільшенню густини сприяє збільшення вмісту базового політипу SiC 6H та політипу SiC 15R, а також залишкової фази чистого Si.
2. Високі значення густини зразків з реакційно зв'язаного SiC досягаються при високих значеннях коефіцієнтів кореляції дифрактограм, отриманих для взаємно перпендикулярних поверхонь.
3. Наявність залишкових фаз Si або C в процесі виготовлення елементів з реакційно зв'язаного SiC сприяє збільшенню їхньої густини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грабовський Ю.Є, Заболотний М.А., Асламова Л.І., Майстренко А.Л., Куліч В.Г. Рентгеноструктурний аналіз захисних елементів з SiC // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2018, т.16. – №2. – С. 333 – 345.
2. Андреєв О.В., Асламова Л.І., Грабовський Ю.Є., Заболотний М.А., Падусенко О.В. Рентгенівська дифрактометрія броньових пластин з Si – C : матеріали VIII Міжнародної конференції «Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології», 26 - 27.09.2019, Київ, Україна. – С. 154 – 156.

FUNDAMENTALS AND BIOMEDICAL APPLICATIONS OF CUBIC Tl_3TaS_4

**O.V. Bokotey, M.I. Chavarha^{*}, O.O. Bokotey, V.A. Slyvka,
A.G. Slivka**

*Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine, * bokotey_ov@ukr.net*

Анотація. У цій роботі представлено потенційні можливості використання оптичних параметрів кристалів Tl_3TaS_4 у створенні мікроінженерних моделей імплантатів для медицини та запропоновано медичні напрямки подальших досліджень та розробок. Це значно покращить ефективність сучасних технологій та відкриє абсолютно нові сфери застосування. Завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям кристали Tl_3TaS_4 у формі наночастинок мають широкий спектр застосування в нелінійній оптиці.

Annotation. This paper introduces potential applications of optical parameters of Tl_3TaS_4 crystals in creation of the microengineered implant models for medicine and suggests medical areas of further research and development. It will greatly enhance the performance of current technologies and will open up completely new application areas. Due to their unique physical and chemical properties Tl_3TaS_4 crystals in nanoparticle form have a wide range of applications in non-linear optics [1-6].

Ключові слова: моделі імплантатів, наночастинок, оптичні матеріали, лазерні технології, моніторинг стану здоров'я

Key words: implant models, nanoparticles, optical materials, laser technology, health monitoring.

This review discusses some of the landmark efforts in the field of micro-implant engineering with a particular emphasis on deregulated tissue organization. Particularly, it could help to better understand the current disconnect between promising preclinical data and lack of clinical efficacy of new compounds, as well as inform dosing strategies and combination therapies to optimize biological response.

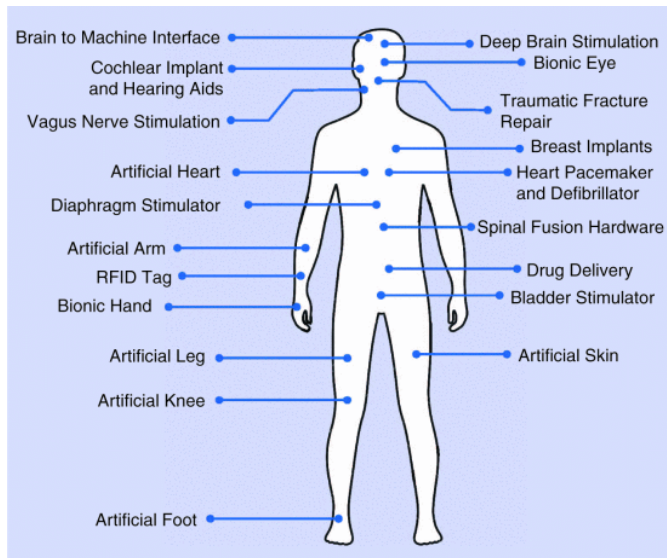


Figure 1. Map of the human body showing areas of typical artificial implants currently either already used or under development [1]

A remarkable feature of implantable systems and devices is that they represent truly multidisciplinary systems that required collaboration of multiple scientific, engineering, and social fields with the common goal of further advancement. Fig. 2 presents one of the examples broad aspect of this research. This device is used both for medical (to improve vision) and cosmetic (to change eye color and appearance) reasons [1].

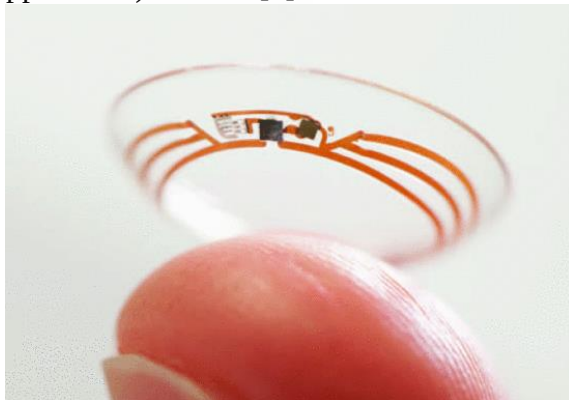


Figure 2. Diabetes-monitoring lens designed by Dr. Babak Parviz [1]

Tl_3TaS_4 crystal [2-6] is expected to contribute in the development of nanophysics and personalized medicine for health monitoring and prevention. The mentioned crystals technology combined with laser technology [4-5] can provide the ingredient needed to develop low cost consumer implant products. Further research and development of technology for the various applications of Tl_3VY_4 ($\text{Y} = \text{S}, \text{Se}$) crystals is discussed. The ternary thallium chalcogenides materials belong to the Tl_3XY_4 class of compounds. They are isomorphic and crystallize in space group $\text{Td}^3 - I43m$. The crystal structure is characterized by isolated XY – tetrahedra in parallel orientation with the X atoms forming a body-centered cubic lattice, Tl occupies the middles of the edges and faces of the unit cell [1]. The main feature of ternary thallium chalcogenides is formation of numerous polymorphic modifications and existence of isomorphic substitutions in sublattices. Interest in them is caused by the ability to form continuous rows of solid solutions that allows use them for different variations of physical and chemical properties.

The specific feature of mentioned structures is the presence of $[\text{XY}_4]$ and $[\text{TiY}_8]$ structural complexes. Moreover, these crystals and their solid solutions are interesting by the possibilities of applications as the advanced optical materials in modern nanophysics. This may open new directions in applications of Tl_3VY_4 compounds for medical purpose.

REFERENCES

1. Sobot R. Implantable Technology. Technology and Society (SSIT). January 2019.
2. Bokotey O.V. Theoretical analysis of optical properties for Tl_3XY_4 crystals // Proc. of the 4th International Conference «Nanotechnologies» (Nano-2016). – Tbilisi, Georgia, 2016. – P. 33.
3. Bokotey O.V., Nebola I.I. The description of structure and phonons spectra symmetry of Tl_3TaS_4 crystals by using the superspace symmetry concept // Uzhhorod University Scientific Herald. Series Physics. – 2012. – № 31. – P. 19–22.
4. Carovac A., Smajlovic F, Junozovic P. Application of Ultrasound in Medicine // Acta Inform. Med. – 2011. – 19(3). – P. 168–171.

5. Welch A.G., van Gemert M.J. Optical-thermal response of laser-irradiated tissue. – Springer, 2011. – P. 145–946.
6. Hoang K., Mohanti S. Atomic and electronic structures of ternary chalcogenides// Journal of Science: Advanced Materials and Devices. – V.1, -2016. – P. 51-56.
7. Eremeev S., Koroteev Yu., Chulkov. Ternary thallium-based semimetal chalcogenides as a new class of three-dimensional topological insulators// JETP Letters. – V.91, - P. 594-598.

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСУ «ГІДРОГЕЛЬ- ФОТОСЕНСІБІЛІЗАТОР» ДЛЯ ФОТОІНАКТИВАЦІЇ STAPHYLOCOCCUS AUREUS in VITRO

П.А. Вірич¹, О.М. Надтока¹, П.А. Вірич², Н.В. Куцевол¹

¹ *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна*

² *ДУ «Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка НАМН
України», Україна, +38631172137, sphaeodon@ukr.net*

Анотація. Представлено результати інактивації диких штамів *Staphylococcus aureus* у суспензії за допомогою гідрогелю на основі кополімеру декстран-поліакриламід, насиченого метиленовим синім у поєднанні з монохроматичним червоним світлом 660 нм. Максимальні ефекти становлять 35-50% від початкової кількості КУО при дозі опромінення 4,8 Дж/см³.

Annotation. The results of inactivation of wild strains of *Staphylococcus aureus* in suspension by a hydrogel based on a copolymer of dextran-polyacrylamide saturated with methylene blue in combination with monochromatic 660 nm red light were presented. The maximum effects cells death were 35-50% of the initial amount of CFU at an irradiation dose of 4.8 J/cm³.

Ключові слова: фотоінактивація бактерій, фотосенсибілізатори, червоне світло, метиленовий синій.

Key words: bacteria photoinactivation, photosensitizers, red light, methylene blue.

Питання ефективної антисептичної обробки в медицині залишається актуальним і його вирішення спонукає до пошуку нових засобів впливу на патогенну мікрофлору.

Фотодинамічна терапія є альтернативним до антибіотиків сучасним методом інактивації патогенних мікроорганізмів, що заснований на використанні різних фотобіологічних ефектів, що викликаються за допомогою комплексного застосування світлового випромінювання і фотосенсибілізатора. Перевагами такого підходу є відсутність селективності та розвитку резистентності бактерій. Світло ультрафіолетового діапазону однаково шкідливе як для прокаріотичних, так і для еукаріотичних клітин. За певних умов світло з більшою довжиною хвилі також може виявляти антимікробну дію, за умови присутності у клітині-мішені фотосенсибілізатора. Такі ефекти виявлено для діапазону від 350 нм до 600-650 нм. Зі збільшенням довжини хвилі знижується енергія фотонів, яка не може викликати збудження внутрішньоклітинних мішеней та ініціювати радикальні процеси. Перевагами застосування цієї ділянки спектру електромагнітного випромінювання є практично відсутній вплив на тканини людини. Для збільшення бактерицидної активності використовують екзогенні фотосенсибілізатори, які при поглинанні світла з довжиною хвилі більше 650 нм здатні ініціювати вільнорадикальні процеси [1, 2].

У дослідженнях використовували дикі штами *Staphylococcus aureus*, які отримували на середовищі жовтково-сольового агару (ЖСА) наступного складу: м'ясо-пептонний агар (МПА) – 70%, хлорид натрію – 10%, жовткова емульсія в 0,9% NaCl – 20%, рН=7,3.

Чутливість мікроорганізмів до дії світла відповідної довжини хвилі вивчали у суспензії бактерій, яку готували у середовищі Мюллера-Хінтона (г/л): гідролізат казеїну – 17,5, гідролізат серця – 2, крохмаль водорозчинний (ЧДА) – 1,5, рН=7,3. Суспензію, що перебувала на водяній бані протягом 20 хв при 37 °С для адаптації мікроорганізмів до зміни умов, розливали по 10 мл у стандартні скляні пробірки об'ємом 20 мл. Кожен дослідний зразок мав контрольний аналог для оцінки швидкості розмноження бактерій та розрахунку відносно цього показника ефективності дії світла. Всі зразки

перебували на водяній бані при 37 °С протягом всього експерименту.

Носієм для метиленового синього слугував кополімер декстран-поліакриламід [3]. Гідрогель інкубували у $6,7 \cdot 10^{-5}$ М водному розчині метиленового синього (відношення гідрогель: розчин = 1:29 (w/w)) протягом 24 год. Поступова дифузія фотосенсибілізатора з гідрогелю дозволяє підтримувати стабільну концентрацію барвника у суспензії бактерій протягом тривалого часу.

Тестування бактерицидної активності отриманого комплексу «гідрогель-фотосенсибілізатор» проводили диско-дифузійним методом на твердому поживному середовищі Мюллера-Хінтона наступного складу: гідролізат казеїну – 17,5, гідролізат серця – 2, крохмаль водорозчинний (ЧДА) – 1,5, агар мікробіологічний – 17, рН=7,3.

Опромінення суспензії проводили монохроматичним світлом з довжиною хвилі 660 нм (Lika-Led, Фотоніка Плюс, Черкаси), емісією 0,1 Дж/с та часовою дискретизацією 2 хв. Розрахунок дози опромінення (Дж/мл) проводили відносно об'єму суспензії бактерій 10 мл. Інактивацію колонієутворюючих одиниць (КУО) (%) оцінювали при порівнянні опромінених зразків відносно контрольних, які перебували в таких самих умовах, але не піддавалися дії світла.

Підрахунок кількості колонієутворюючих одиниць *S. aureus* у суспензії проводили у камері Горяєва. Бактерії контрастували акридиновим помаранчевим при концентрації у суспензії $3,5 \cdot 10^{-3}$ М протягом 3 хв. Барвник при зв'язуванні з нуклеїновими кислотами флуоресцює у зеленій 525 нм (ДНК) та червоній 650 нм (РНК) ділянках спектру при його збудженні синім світлом. Для дослідження флуоресценції суспензії бактерій використовували мікроскоп Olympus BX53 з люмінесцентним блоком X-Cite Series 120 Q і камерою-детектором Olympus DP72. Фотографували 10 великих квадратів камери Горяєва, підраховували кількість КУО та розраховували їх концентрацію в 1 мл за формулою:

$N=(m*4000*1000)/q$. Де m – загальна кількість КУО у великих квадратах камери, q – кількість обрахованих квадратів. Досліди повторювали тричі. Математичну та статистичну обробку результатів проводили у програмному пакеті Originlab 8.0.

Гідрогелі з метиленовим синім не виявляють бактерицидної активності відносно *Staphylococcus aureus* на твердому поживному середовищі та у суспензії. Натомість, опромінення ділянки агару, світлом з довжиною хвилі 660 нм з емісією 0,1 Дж/с та дозою 20 Дж/см² навколо гідрогелю через 10 хв після розміщення матеріалу, забезпечує затримку росту мікроорганізмів на площі діаметром 10 мм (діаметр гідрогелю 5 мм).

Дослідження проведені у суспензії *S. aureus* виявили зниження кількості колонієутворюючих одиниць мікроорганізмів (КУО) на 35-50% від початкової кількості через 20 хв інкубування зразків гідрогелевих пов'язок у суспензії та опромінення із загальною дозою 4,8 Дж/см³ (відношення гідрогель: суспензія = 1:9 (w/w)). Перевагою такого підходу є зниження загальної дози опромінення (в межах 4-6 Дж/см²) та використання монохроматичного світла 660 нм з низькою енергією (0,1 Дж/с). Це не призводить до локального нагріву тканин та не впливає на регенераційні процеси. Враховуючи тривалий час десорбції фотосенсибілізатора з гідрогелів на основі, їх можливо застосовувати залежно від особливостей відкритих ран. Зважаючи на високу проникну здатність червоного світла у тканину та прозорість використаних гідрогелів, опромінення рани може відбуватися без видалення матеріалу з пошкодженої поверхні. Фотодисоціація метиленового синього на поверхні рани та у гідрогелі створює умови, що перешкоджають розмноженню мікроорганізмів.

Таким чином, гідрогелеві пов'язки на основі кополімеру декстран-поліакриламід з метиленовим синім у поєднанні з червоним світлом 660 нм сприяють інактивації мікроорганізмів при малих кількостях фотосенсибілізатора та

низьких дозах опромінення, що дозволяє застосовувати їх з метою лікування бактеріального зараження відкритих ран.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tegos G, Hamblin M. Phenothiazinium antimicrobial photosensitizers are substrates of bacterial multidrug resistance pumps // *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. – 2006. – V 50 – 196-203.
2. Darabpour E, Kashef N, Mashayekhan S. Chitosan nanoparticles enhance the efficiency of methylene blue-mediated antimicrobial photodynamic inactivation of bacterial biofilms: An *in vitro* study // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. – 2016. – V 14 – 211-217.
3. Nadtoka, O., Kutsevol, N., Naumenko, A., Virych P. Photochemical synthesis and characterization of hydrogel–silver nanoparticle composites // *Research on Chemical Intermediates*. – 2019 – V 45 - 4069–4080.

ОБГРУНТУВАННЯ ДІАГНОСТИКИ І ТАКТИКИ ЛІКУВАННЯ ПАЦІЄНТІВ НА ХРОНІЧНИЙ ХОЛЕЦИСТИТ

Ю.І. Кошевський, В.А. Черняк

*Університетська клініка Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, (044) 259 00 83*

Анотація. В статті обговорюються особливості перебігу хронічного холециститу у 101 пацієнта, які проходили обстеження і консервативне лікування в Університетській клініці впродовж 2019 року. З метою поглибленого вивчення патофізіологічних рис, притаманних захворюванню проводили додаткове обстеження пацієнтів, зокрема, сонографічне, ендоскопічне, кардіографічне дослідження, консультації кардіолога та невролога за клінічними показаннями, а також анкетне тестування. Результати проведеного комплексного обстеження пацієнтів з хронічним холециститом дозволили визначити обтяжливі фактори перебігу хвороби, а саме: наявність конкрементів у жовчному міхурі, супутню патологію суміжних органів травного каналу (стравохід, шлунок, 12-ти пала кишка). Обговорення результатів обстеження дозволило відокремити групу пацієнтів і обґрунтувати тим самим необхідність

використання більш широкого спектру сучасних методів лікування у тому числі й хірургічного втручання.

Ключові слова: хронічний холецистит, хронічний панкреатит, жовчно-кам'яна хвороба, дуодено-гастральний рефлюкс.

Хронічний холецистит (Х.Х.) – це хронічне запалення жовчного міхура, яке супроводжується запальною інфільтрацією і фіброзом його стінок у поєднанні зі змінами фізико-хімічних та біохімічних властивостей жовчі [1, 6, 7].

Х.Х. досить розповсюджене захворювання, частота його виникнення дорівнює 6-7 випадків на 1000 населення. Жінки хворіють у 3-4 рази частіше за чоловіків [5, 10].

До чинників, що призводять до розвитку Х.Х. відносять низку факторів, що викликають застій жовчі у жовчному міхурі, зокрема:

- 1) анатомічні варіанти будови жовчного міхура й жовчних протоків (перегин, перетяжки, що призводять до стиснення жовчних шляхів);
- 2) зниження тону жовчного міхура й жовчних протоків, що викликані ендокринними порушеннями, емоційними стресами, впливом запалення супутніх органів травного каналу;
- 3) малорухомий спосіб життя, опущення органів травного каналу, вагітність, нечастий і водночас надмірний прийом їжі;
- 4) гіпотонічно-гіпокінетична дискінезія жовчного міхура й жовчних протоків;
- 5) дисфункція сфінктерів жовчних протоків [3, 4].

До сприяючих факторів відносять:

- 1) пошкодження стінок жовчного міхура (конкременти, паразити);
- 2) зниження імунітету;
- 3) наявність джерела хронічної інфекції;
- 4) паразитарні хвороби (лямблії, опісторхоз, амебіаз, аскаридоз);
- 5) ендокринні порушення (ожиріння, дисменорея).

Шляхи інфікування жовчного міхура:

- 1) висхідний – з кишечника (цьому сприяє гіпо- і ахлоргідрія, дисфункція сфінктера Одді, гіпотонічно-гіпокінетична дискінезія жовчного міхура й жовчних протоків, дуоденостаз;
- 2) низхідний (гематогенний) – з воротної вени або печінкових судин;
- 3) лімфогенний – при виникненні гострого апендициту, гінекологічних запальних хворобах, нагноєннях у легенях.

Згідно сучасної класифікації розрізняють:

1. За клінічною формою:

Хронічний безкам'яний холецистит (з перевагою запального процесу або з перевагою дискінетичних явищ).

Хронічний калькульозний холецистит (від латинського «calculus», що значить камінь [2, 8, 9].

2. Згідно типу дискінезії:

Порушення скорочувальної функції жовчного міхура:

- гіперкінезія жовчного міхура;
- гіпокінезія жовчного міхура – без зміни його тонусу (нормотонія), з пониженням тонусу (гіпотонія).

Порушення тонусу сфінктерного апарату жовчних шляхів:

- гіпертонус сфінктера Одді;
- гіпертонус сфінктера Люткенса;
- гіпертонус обох сфінктерів.

Всі вищеперераховані епідеміологічні, патофізіологічні, клінічні данні переконливо доводять, що проблема хронічного холециститу залишається вельми актуальною на сьогодні і заслуговує на першочергову увагу терапевтів, сонографістів, ендоскопістів, а також лікарів інших спеціальностей.

Матеріали і методи: за 2019 рік в Університетській клініці під наглядом терапевта був 1301 пацієнт, у тому числі 101 (7,8%) з них мав діагноз хронічного холециститу (Х.Х.), підтвердженого клінічними та інструментальними методами в минулому. Всі пацієнти з Х.Х. пройшли тестове опитування, важливою рисою такого тестування було прохання до кожного пацієнта вказати наскільки вираженим був у нього кожен з

симптомів захворювання, тому ступінь вираження визначалася позначкою «+». Якщо симптом був мало виражений пацієнти ставили один «+», середньо виражений – ставили два «++», значно виражений – ставили три «+++». У разі відсутності того чи іншого симптому, пацієнти ставили тире «-».

З метою уточнення фази захворювання (загострення або ремісія), а також наявного прогресування хвороби, всі пацієнти з Х.Х. були направлені на сонографічне дослідження органів черевної порожнини. Сонографію органів черевної порожнини виконували на ультразвуковому сканері PILIPS Clear Vue 350. З метою уточнення стану шлунково-кишкового тракту 56 пацієнтам (55,4% від всієї кількості пацієнтів з Х.Х.) було здійснено фіброгастродуоденоскопію (ФГДС) за допомогою ендоскопу фірми Karl Shtorz (Німеччина).

При виявленні кардіалгічного синдрому 12 пацієнтам (11,8% від всієї кількості пацієнтів з Х.Х.) додатково проводили електрокардіографію (ЕКГ) і огляд кардіолога з метою диференціювання серцевої патології. Під час проведення ЕКГ застосовували апарат Biomed.

Пацієнтам з невротичним 5 (4,9% від всієї кількості пацієнтів з Х.Х.) синдромом проводили консультацію невролога з метою диференціювання неврологічної патології.

Після уточнення діагнозу за допомогою вище перелічених інструментальних обстежень пацієнтам призначалося комплексне лікування [4], яке включало в себе: 1) антибактеріальну терапію; 2) холеретики та холекінетики (залежно від типу дискінезії); 3) спазмолітики й нітрати; 4) санаторно-курортне перебування; 5) пацієнтам з жовчно-кам'яною хворобою рекомендували оперативне лікування [8;9].

Обговорення результатів. Після проходження тестування всі скарги досліджуваних нами були розподілені на 5 клінічних синдромів (таб.1).

Таблиця 1.

Основні клінічні синдроми, виявлені у пацієнтів під час тестування

Клінічний синдром	Досліджені пацієнти (N=101)	%
больовий	94	93,1
диспептичний	82	81,2
вегетативно-дистонічний	73	72,2
кардіалгічний ¹	12	11,8
невротичний ²	5	4,9

Примітка. Пацієнтам з кардіалгічним синдромом¹ додатково проводили електрокардіографію і огляд кардіолога з метою диференціювання серцевої патології. Пацієнтам з невротичним² синдромом проводили консультацію невролога з метою диференціювання неврологічної патології.

Переважає більшість пацієнтів на Х.Х. скаржилася на **больовий синдром**, при цьому епіцентром болю було праве підребір'я. Біль виникала після прийому їжі, особливо жирної, смаженої, гострої (внаслідок стимуляції їжею скорочення запального жовчного міхура). Відмічені також типові фізикальні симптоми, характерні для хронічного холециститу. Під час занурення пальців лікаря у праве підребір'я біль посилювалась (позитивний симптом Кера), також відмічали посилення болю при одночасній пальпації правого підребір'я на глибокому видиху (позитивний симптом Мерфі).

У більшості випадків пацієнти відмічали посилення болю при короткочасному натисненні ребром долоні лікаря на праву реберну дугу на висоті подиху (позитивний симптом Гаусмана).

Проведення сонографії органів черевної порожнини пацієнтам з Х.Х. дозволило уточнити характер основної та наявність супутньої патології (Таб.2).

Таблиця 2.

Види супутньої патології органів черевної порожнини, діагностованої після сонографії у пацієнтів з хронічним холециститом (N=101)

Патологія органів черевної порожнини	Кількість пацієнтів	%
Хронічний безкам'яний холецистит	79	78,2
Хронічний панкреатит	28	27,7
Жовчно-кам'яна хвороба	22	21,7
Стеатоз печінки	11	10,8
Кіста підшлункової залози	4	3,9
Кіста печінки	2	1,9

Примітка: (%)–відсоток від загальної кількості обстежених (N=101). Перелік нозологій у таблиці подано згідно з частотою їх виявлення.

Результати сонографії виявили, що найбільш частими супутніми змінами в органах черевної порожнини пацієнтів з хронічним холециститом були конкременти у жовчному міхурі і хронічний панкреатит, що склало 21,7% і 27,7% відповідно, $P < 0,05$. Для зручності порівняння перебігу захворювання всі досліджені пацієнти були нами умовно поділені на 3 групи:

- група №1 – це пацієнти з Х.Х. без конкрементів (N=79);
- група №2 – це пацієнти з Х.Х., що мали супутню жовчно-кам'яну хворобу - ЖКХ, (N=22);
- група №3 – це пацієнти з Х.Х., що мали супутній хронічний панкреатит (N=28).

Про відмінність і різноманітність прояву хвороби саме у цих 2-х групах пацієнтів (групи №2 і №3), говорить порівняння частоти та вираженості виявлених клінічних синдромів, що розподілилися наступним чином (таб. 3).

Таблиця 3.

Ступінь вираження клінічних синдромів у пацієнтів з
хронічним холециститом

Клінічний синдром і ступінь його вираження	Пацієнти з хронічним холециститом N=101 (100%)					
	Група 1 (безкам'яний холецистит) N=79		Група 2 (з ЖКХ) N=22		Група 3 (з супутнім хронічним панкреатитом) N=28	
	N	%	N	%	N	%
Больовий: -слабо виражений (+)	24	30,4	-	-	1	3,5
-середньо виражений (++)	33	41,7	2	9,1	5	17,8
-сильно виражений (+++)	22	27,8	20	90,9	22	78,5
Диспептичний -слабо виражений (+)	15	18,9	4	18,1	2	7,1
-середньо виражений (++)	58	73,4	4	18,1	6	21,4
-сильно виражений (+++)	6	5,0	14	63,6	20	71,4
Вегетативно- дистонічний -слабо виражений (+)	25	31,6	1	4,5	4	14,3
-середньо виражений (++)	55	69,6	3	13,6	8	28,6
-сильно виражений (+++)	19	24,1	18	81,8	16	57,1
Кардіалгічний -слабо виражений (+)	7	8,8	-	-	-	-
-середньо виражений (++)	5	6,3	6	27,3	3	10,7

-сильно виражений (+++)	-	-	11	50,0	8	28,6
Невротичний						
-слабо виражений (+)	5	6,3	1	4,5	1	3,5
-середньо виражений (++)	13	16,5	4	18,1	2	7,1
-сильно виражений (+++)	-	-	12	54,5	8	28,6

Примітка: (%)—відсоток від загальної кількості обстежених (N). Позначкою від (+) до (+++) відображено ступінь вираженості певного синдрому, позначкою (-) відображено відсутність прояву певного синдрому.

При порівнянні анкетних даних пацієнтів можна відмітити закономірність, що у групі №1 (пацієнти з безкам'яним холециститом) больовий, диспептичний і вегетативно-дістонічний синдроми були слабо чи середньо виражені, проте у 2-х інших групах (пацієнти з супутньою ЖКХ і хронічним панкреатитом) ці синдроми перебігали більш яскраво виражені. Такі обставини спонукали нас провести більш поглиблене дослідження.

Проведення ФГДС було запропоновано для груп № 2 і № 3 з метою уточнення стану суміжних органів травної системи: стравоходу, шлунку і 12-ти палої кишки. Пройти ФГДС також висловили бажання 6 пацієнтів з хронічним безкам'яним холециститом (група №1). Результати ендоскопічного дослідження – ФГДС наведені у таб. 4.

Таблиця 4.

Види і кількість патології травного каналу, що виявлені після проведення ФГДС у пацієнтів на хронічний холецистит

Заключення ФГДС	Досліджені пацієнти N=56					
	Група 1 (N=6)		Група 2 (N=22)		Група 3 (N=28)	
	N	%	N	%	N	%
Рефлюкс-езофагіт	1	16,6	1	4,5	2	7,1

Еритематозна гастропатія	4	66,6	6	27,3	10	35,7
Ерозивна гастропатія	-	-	13	59,1	17	60,7
Поліпи шлунка	-	-	1	4,5	1	3,5
Хронічний бульбіт	2	33,3	6	27,3	9	32,1
ДГР	2	33,3	17	77,3	15	53,5
Дуоденостаз	3	50,0	15	68,2	12	42,8
Ерозії ЦДПК	-	-	7	31,8	11	39,3
Рубцева деформація ЦДПК	2	33,3	5	22,7	3	10,7
Виразка цибулини 12-ти палої кишки	-	-	3	13,6	2	7,1

Примітка: (%)–відсоток від загальної кількості обстежених (N).

Пояснення: ДГР – дуодено-гастральний рефлюкс; ЦДПК – цибулина дванадцятипалої кишки.

Диспептичний синдром, який виявився у 82 (81,2%) пацієнтів, супроводжувався відчуттям гіркоти у роті, нудотою, відрижкою повітрям, метеоризмом у поєднанні із закрепами. У пацієнтів в яких після ФГДС діагностований дуодено-гастральний рефлюкс (ДГР) у 34(60,7%) випадках в цілому, спостерігалася зміна закрепів проносами, що на наш погляд, було пов'язано головним чином із накопиченням великої порції жовчі у цибулині 12-ти палої кишки через дуоденостаз.

Застосування сонографії разом з ФГДС дозволило зрозуміти важливий механізм розвитку диспептичного синдрому у досліджених пацієнтів.

Він полягав у дії наступних факторів:

- 1) дискінетичних порушеннях у жовчних шляхах і самому жовчному міхурі, що призводять до функціонального застою жовчі;
- 2) виникненні ДГР внаслідок функціонального дуоденостазу;
- 3) подразненні слизової шлунку жовчу (оскільки ДГР не є фізіологічним за своїм походженням);
- 4) порушенні функції кишечника через пасаж великих порцій жовчі і, як наслідок цього, функціональний парез кишечника (що є однотипним за механізмом розвитку з дуоденостазом).

Найбільш характерним проявом **вегетативно-дистонічного синдрому** були загальна слабкість, періодичний головний біль та головокружіння, такий синдром ми діагностували у 73 (72,2%) пацієнтів. Згідно результатів опитування, сильно виражений цей синдром був у пацієнтів з супутньою ЖКХ і/або хронічним панкреатитом (81,8% і 57,1% відповідно, $P < 0,05$).

Пацієнтам, що мали тупий біль у ділянці серця, який виникав після жирної чи смаженої їжі, після ЕКГ були консультовані кардіологом 12 (11,8%). Після виключення гострого коронарного синдрому такий характер болю ми розцінювали як **кардіалгічний синдром** у пацієнтів на хронічний холецистит. У механізмі його розвитку ми вважаємо дисфункцію блукаючого нерва (*nervus vagus*), що виникає через подразнення окремих його гілок, які мають безпосередній контакт з запальним жовчним міхуром. Ці патологічні імпульси збудження йдуть у грудну клітину і передаються по гілках вагуса, що йдуть до серця - *nervus depressor cordis*.

Порівняно невелика група пацієнтів на хронічний холецистит мала прояви болю більш схожі на неврологічні 5 (4,9%). Після огляду цих пацієнтів неврологом і виключення в них гострої неврологічної патології, вищевказані прояви ми оцінювали як **невротичний синдром** при хронічному холециститі. Найбільш характерними проявами цього синдрому були болі з іррадіацією у праву руку і праву сторону шиї. Після призначення терапевтом відповідного лікування Х.Х. ми відмічали поступовий регрес цих симптомів, що переконливо свідчило про зменшення запального вогнища саме у жовчному міхурі.

Аналіз результатів ендоскопічного обстеження пацієнтів на хронічний холецистит виявив більший відсоток патофізіологічних змін переважно у шлунку і 12-ти палій кишці саме у категорії пацієнтів з конкрементами у жовчному міхурі - група № 2 і хронічним панкреатитом – групі № 3 (Таб.4). Найбільш часто зустрічалася гастропатія (катар

шлунка), відміна полягала в тім, що у пацієнтів з ЖКХ і/або хронічним панкреатитом у більшості випадків вона була не поверхневою (еритематозною), а глибокою (ерозивною), це склало (59,1% і 60,7% відповідно, $P<0,05$). Прояви органічної дуоденальної патології склали: бульбіт, ерозії, рубцеві зміни цибулини 12-ти палої кишки. Якщо в групі №1, (у пацієнтів без ЖКХ і хронічного панкреатиту) нами не виявлено жодного випадку ерозивно-виразкових змін, то у групах 2 і 3 поряд з простим бульбітом ми виявили ерозії ЦДПК (у 31,8% і у 39,3% відповідно, $P<0,05$), а також виразку ЦДПК (у 13,3% і у 7,1% пацієнтів відповідно, $P<0,05$). Майже у половині випадків в кожній групі запальний процес у шлунку і ДПК супроводжував дуоденостаз, саме він, на нашу думку був причиною збільшення випадків дуодено-гастрального рефлюксу (функціонального розладу) у пацієнтів 1-ї групи у 50,0% випадків, а у 2-й і 3-й групі ще більше (у 77,3% і 53,5% відповідно, $P<0,05$)!

Таким чином, присутність ЖКХ і/або хронічного панкреатиту у пацієнтів із запальним процесом жовчних шляхів переконливо свідчить на нашу думку про здатність цієї супутньої патології обтяжувати перебіг процесу запалення у травному каналі в цілому.

Висновки.

1. У 2019 році кількість пацієнтів з хронічним холециститом становила 101, що склало (7,8% від загальної кількості пацієнтів, що перебували під наглядом Університетської клініки). Серед них найбільш частими супутніми патологіями у 28 (27,7%) виявлено хронічний панкреатит і у 22 пацієнтів (21,7%) виявлено жовчно-кам'яну хворобу (за даними сонографії органів черевної порожнини).
2. Проведення ендоскопії пацієнтам на хронічний холецистит довело, що найбільш виражені функціональні й органічні розлади процесу травлення у шлунку і 12-ти палій кишці діагностовані саме у групах пацієнтів із супутньою жовчно-кам'яною хворобою і/або хронічним панкреатитом. Понад

60% пацієнтів цих 2-х груп мали поглиблений (ерозивно-виразковий) запальний процес у слизовій оболонці шлунку і понад 30% мали подібний процес у слизовій 12-ти палії кишки ($P<0,05$). Проте слизова шлунку пацієнтів з хронічним холециститом без супутньої ЖКХ і/або хронічного панкреатиту у 66,6% випадках мала лише поверхневий запальний процес ($P<0,05$).

3. Ретроспективний аналіз анкетного опитування пацієнтів з хронічним холециститом довів, що больовий, диспептичний і вегетативно-дистонічний синдроми були сильно вираженими від 60% до 90% пацієнтів саме із супутньою жовчно-кам'яною хворобою і/або хронічним панкреатитом ($P<0,05$). Поряд з цим всього від 6% до 27% пацієнтів, що мали хронічний холецистит без супутньої патології вказали, що ці синдроми були в них сильно вираженими ($P<0,05$).

4. Наявність конкрементів у жовчному міхурі, а також наявність хронічного панкреатиту у пацієнтів з хронічним перебігом холециститу слід розцінювати, як прогресування хронічного запального процесу жовчовивідних шляхів, що збільшує розмаїття клінічних проявів хвороби та підвищує частоту патофізіологічних змін в інших органах травлення, зокрема у шлунку й 12-ти палій кишці. Цей факт є одним з переконливих аргументів що до застосування цим хворим більш радикального лікування - холецистектомії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белоусов А.С. Дифференциальная диагностика болезней органов пищеварения. – М.: Медицина, 1984.
2. Галкін В.А. Сучасні уявлення про патогенез холелітазу як основу принципів профілактики біліарної патології //Терапевтичний архів. – 2003.- №1. – С. 6-9.
3. Григорьев П.Я., Яковенко Э.П. Диагностика и лечение хронических болезней органов пищеварения. - М.: Медицина, 1990.
4. Заткина А.Р. Лечение хронических болезней органов пищеварения. - М.: Медицина, 1994. – 336 с.

5. Руководство по клинической гастроэнтерологии /Под ред. Ф.И. Комарова, А.Л. Гребнева. - М.: Медицина, 1995.
6. Соколов Л.К., Минушкин О.Н., Саврасов В.Н., Терновой О.К. Кинико-инструментальная диагностика болезней органов пищеварения. - М.: Медицина, 1989.
7. Эльштейн Н.В., Козинец Г.И. Ошибки в гастроэнтерологической практике. – М.: МИА, 1998. -224с.
8. Boucher J.A.D. Gallstones //Brit. med. J. – 1990. – Vol.300. - #6724. – P.592-597.
9. Paumgartner G. Gallbladder stones: choice of treatment//Bailliere's clinical gastroenterology. – 1992. – Vol.6. - #4. – P.679-689.
10. Sherlock Sh. Diseases of the liver and biliary system. – 7th edn. – Oxford: Blacwelt, 1989. – P637.

ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗА ЗМІНАМИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ОТРУЄНИХ ЧАДНИМ ГАЗОМ

О.В. Стрикун¹, І.І. Бех¹, С.О. Мамілов²

¹*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
Київ, Україна*

²*Інститут прикладних проблем фізики та біофізики НАН України Київ,
Україна, +380687399786, alik49410@gmail.com.*

Анотація. Поставлено задачу програмно-алгоритмічної реалізації методів поточного контролю за змінами стану здоров'я отруєних чадним газом в програмному середовищі Java Virtual Machine. Розглянуто алгоритм визначення величини відносної концентрації окси- та карбоксигемоглобіну в потоці артеріальної крові з фотоплетизмограми на трьох довжинах хвиль.

Ключові слова: оксигемоглобін, карбоксигемоглобін, чадний газ, фотоплетизмограма.

При попаданні в легені чадного газу утворюється карбоксигемоглобін, якій знижує кількість оксигемоглобіну, що транспортує кисень. Це призводить до швидкого розвитку гіпоксії і порушенню нормального метаболізму клітин [1]. На цей час визначення наявності та вмісту карбоксигемоглобіну в

крові проводиться інвазивним шляхом в умовах клініки і ця процедура досить тривала. Використання пульсоксиметрів не дозволяє визначити зниження відносної концентрації оксигемоглобіну в крові, оскільки на довжинах хвиль, на яких працює пульсоксиметр, оксигемоглобін та карбоксигемоглобін мають близькі спектральні властивості [2] і тому їх концентрації додаються.

Авторами запропоновано неінвазивну методику визначення відносної концентрації карбоксигемоглобіну в артеріальній крові [3, 4] та ведеться розробка мобільного програмно-апаратного комплексу для експрес-контролю за станом отруєних на пожежах, в зонах задимлення і шкідливих випарів тощо. Такий комплекс буде корисним при проведенні аварійно-рятувальних дій, при невідкладній медичній допомозі та інтенсивній терапії екстремальних станів.

В даній роботі поставлено задачу програмно-алгоритмічної реалізації методів поточного контролю за змінами стану здоров'я отруєних чадним газом в програмному середовищі Java Virtual Machine.

Оскільки створюваний пристрій працює з часовим розділенням каналів то данні з фотоприймачів після АЦП надходять у вигляді рядка із трьох п'ятизначних чисел, і за допомогою класу `InputStream` та `BufferedReader` дані фотоплетизмограми імпортуються в двовимірний масив `intsAll[i][j]`; де "i" номер рядка, а "j" номер стовпця, що відповідає цифровому значенню сигналу λ_1 , λ_2 та λ_3 відповідно. Це можна зробити, використовуючи простий цикл `while`, який буде імпортовувати цифрові значення фотоплетизмограми в масив `intsAll`, поки об'єкт класу `BufferedReader reader` читає наступний рядок, використовуючи вкладений метод `readLine`.

Згідно характеристик датчика, який працює з частотою 200 Гц, дані беремо пакетами по 200 значень, що відповідає одній секунді реального часу. Тому будемо створювати двовимірні масиви довжиною двісті значень та відправляти їх на обчислення у вкладений цикл. Вкладений цикл запускає всі

вкладені в нього методи, які будуть перебирати по двісті значень загального масиву `intsAll` та присвоювати це значення тимчасовому масиву `ints`, який по закінченні кожної ітерації обробляється за алгоритмом обчислення величин сатурації SaO_2 та відносної концентрації карб оксигемоглобіну SaCO . Найзручніше цей алгоритм можна реалізувати, розбивши кожну операцію на окремий метод, який може приймати та передавати масиви.

На рис. 1 зображена блок схема роботи алгоритму знаходження SaO_2 та SaCO . Вона складеться з ромба та прямокутних блоків, які представлені методами, що відправляють та отримують масив чи іншу інформацію. Ромбом позначено метод `gOne`, який визначає коефіцієнт парної кореляції, та, виходячи з результату, визначає значення комірки масиву. Потім спрацьовує перехід на зовнішній цикл і весь внутрішній цикл починає свою роботу з початку, але уже і з наступними значеннями нового масиву.

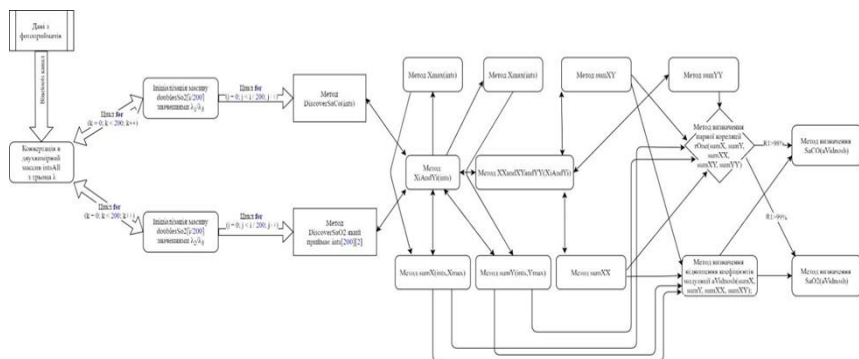


Рис. 1. Блок схема роботи методів алгоритму знаходження рівня сатурації крові киснем

Для тестування було написано програму, яка за допомогою використання масивів та методів, як це показано на рис. 1, обчислює величини SaO_2 та SaCO . При обробці тестових файлів було отримано похибку $\pm 0,1\%$ від

розрахунків, отриманих за допомогою лабораторного обладнання.

Реалізація описаного в [3, 4] алгоритму визначення рівня сатурації крові киснем у середовищі Java Virtual Machine дозволила отримати похибку $\pm 0,1\%$, що гарно узгоджується із даними, отриманими за допомогою лабораторного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Burnett R.T., Dales R.E., Brook J.R., Raizenne M.E., Krewski D. Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalizations for congestive heart failure in the elderly in 10 Canadian cities. // Epidemiology. – 1997; – vol. 8. – P. 162–167.
2. Monov A., Dishovsky C. Medical Aspects of Chemical and Biological Terrorism. // Publishing House of the Union of Scientists in Bulgaria. – Sofia. – 2005. – 354.
3. Ю.С. Плаксий, С.О. Мамілов, С.С. Єсьман. Спосіб визначення відносної концентрації карбоксигемоглобіну в артеріальній крові. // Патент України на винахід № 89354.
4. M.M. Asimov, R.M. Asimov, A.N. Rubinov, S.O. Mamilov, Yu.S. Plaksiy. High sensitive pulseoximeter-spectrophotometer for laser optical dosimetry in biology and medicine. // Proceeding of SPIE. – 2006. – vol. 6251. – P. 147 – 154.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ ТЕРАПЕВТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК ФЕРУМ ОКСИДУ

В.М. Шевченко

*Університетська клініка Київського національного університету імені
Тараса Шевченка, Київ, Україна, +380502349458, tht737375@gmail.com*

Анотація. В огляді представлено аналіз перспектив та проблем застосування магнітних наночастинок ферум оксиду як терапевтичних засобів та агентів, орієнтованих на адресну доставку ліків. Майбутні можливості створення терапевтичних засобів на основі магнітних наночастинок пов'язані з остаточною з'ясуванням

їхніх токсичних властивостей та визначенням довгострокової стабільності.

Ключові слова: магнітні наночастинки, оксид заліза, цільова доставка ліків, токсичність.

Доставка терапевтичних агентів з використанням магнітного націлювання становить значний інтерес для медицини. Це пов'язано з можливістю дистанційного керування магнітними наночастинками (МНЧ) та конструкціями на їх основі при накладенні зовнішнього магнітного поля. Цільова доставка може відбуватися на рівні цілого органу або певних клітин, її специфічність підвищують, застосовуючи лектин, антитіла та їхні фрагменти, цитокіни, протеїни, гормони, заряджені молекули низькомолекулярних сполук [1]. Наприклад, використання магнітного націлювання в хіміотерапії пухлин дозволяє значно знизити дозу препарату та його побічні ефекти, нівелюючи неспецифічний негативний вплив на організм [1]. В даний час найширше застосування в біомедицині отримали частки нанорозмірного ферум оксиду, що обумовлено їх низькою токсичністю і стабільністю магнітних характеристик [2]. Особливої уваги заслуговують суперпарамагнітні наночастинки ферум оксиду (SPION) [3]. На сьогодні SPION - єдині магнітні наночастинки, схвалені для клінічного використання. Такі SPION, як магнетит, Fe_3O_4 и маггеміт, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ широко застосовуються в біонауках і клінічних дослідженнях для адресної доставки ліків [4], гіпертермії і радіонуклідної терапії за допомогою магнітного поля [5, 6] та як контрастні речовини для магнітно-резонансної томографії (МРТ) [7]. МНЧ ферум оксиду є найбільш багатообіцяючими наноплатформами для клінічного застосування, особливо лікування раку. Кілька препаратів на основі МНЧ ферум оксиду були схвалені в США і Європі для візуалізації пухлин, а також перебувають на стадії клінічних випробувань, як терапевтичні засоби [8]. Новітньою тенденцією є синтез гібридних неорганічних магнітних наноконструкцій або комбінування МНЧ з традиційними або передовими терапевтичними засобами для досягнення

синергічного протипухлинного ефекту. Доксорубіцин є протипухлинним препаратом, що найчастіше завантажується на МНЧ; серед інших паклітаксел, метотрексат і епірубіцин. Отримано обнадійливі результати по лікуванню раку молочної залози, легенів і товстої кишки доксорубіцином, завантаженим на МНЧ [8].

Незважаючи на те, що використання магнітного націлювання за допомогою наночастинок відкриває широкі перспективи, існує ряд проблем. До них відносять ризик емболії судин мікроциркуляторного русла через скупчення МНЧ в межах судинного регіону в області націлювання; не вирішено питання про можливу токсичну дію наночастинок, механізми їх виведення з організму або біодеградації. Висока ефективність магнітного націлювання, що показана в культурах клітин і на лабораторних тваринах, не завжди може бути досягнута при використанні терапевтичних комплексів на основі наночастинок у людини, оскільки часом потрібно використання дуже сильних магнітних полів, що не завжди можливо [1]. Ряд досліджень продемонстрували токсичні ефекти, пов'язані з впливом наноматеріалів, включаючи пошкодження мітохондрій та ДНК, окислювальний стрес, зміну регуляції клітинного циклу і денатурацію білка [9]. Застосування ферум оксиду зокрема пов'язане з такими ризиками, як цитотоксичність із порушенням мітохондріальної та ядерної функцій [10]. Наразі мало відомо про основні механізми, відповідальні за токсичну дію наночастинок. Припускають, що токсичність МНЧ обумовлена генерацією активних форм кисню, які можуть приносити організму, як користь, так і шкоду, і наступним розвитком окисного стресу [8, 11]. Різниця в реакції органів на вплив МНЧ обумовлена біорозподілом. Ненацілені SPION в основному накопичуються у печінці (86%) і селезінці (6,2%) вже протягом 1 години після внутрішньовенної ін'єкції. Найбільші побоювання викликає включення МНЧ в гемоглобін еритроцитів. *In vivo* на мишах виявлено, що знизити токсичність дозволяють біосумісні покриття [9]. У

разі націлених МНЧ дослідження показали відсутність явної системної токсичності навіть після тривалого (до 3 місяців) введення [12]. Останнє стало передумовою для клінічних випробувань безпечності на пацієнтах. Ферумоксітол на основі SPION, схвалений для лікування залізодефіцитної анемії, був клінічно протестований на більш ніж 2000 пацієнтів. Безпечна для людини доза склала 2,9 мг/кг (по Fe) [13]. Раніше ж було продемонстровано, що МНЧ розміром 30 нм захоплюються макрофагами в селезінці, печінці і лімфатичних вузлах [14]. Можна припустити, що наночастинки на основі магнітного феруму будуть викликати меншу занепокоєність у плані безпечності, ніж інші наноматеріали, для розробки нових агентів, орієнтованих на візуалізацію і таргетну терапію пухлин. Однак, залишаються такі важливі питання, як неспецифічний розподіл і неадекватне накопичення активних речовин. Майбутні можливості застосування і вирішення проблем, пов'язаних зі створенням терапевтичних засобів на основі МНЧ пов'язані з остаточним проясненням їх токсичних властивостей в випробуваннях *in vivo* та *in vitro*, а також визначенням їх довгострокової стабільності. Для цього можуть знадобитись міждисциплінарні підходи, що гарантуватимуть адекватну відповідність лабораторних експериментів передбачуваним умовам *in vivo*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Першина А. Г., Сазонов А. Э., Мильто И. В. Использование магнитных наночастиц в биомедицине // Бюллетень сибирской медицины. – 2008. – Т. 7. – №. 2. – С.70-78.
2. Lu A.-H., Salabas E.L., Schuth F. Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application // Angew. Chem. Int. Ed. - 2007. - V.46. - P. 1222-1244.
3. Sabale S., Kandesar P., Jadhav V. et al. Recent developments in the synthesis, properties, and biomedical applications of core/shell superparamagnetic iron oxide nanoparticles with gold // Biomaterials science. – 2017. – V.5., №. 11. – P.2212-2225.

4. Jiang S., Eltoukhy A.A., Love K. T. et al. Lipidoid-coated iron oxide nanoparticles for efficient DNA and siRNA delivery // Nano letters. – 2013. – V.13, №. 3. – P.1059-1064.
5. Tong, S., Quinto C. A., Zhang L. et al. Size-dependent heating of magnetic iron oxide nanoparticles //Acs Nano. – 2017. – V. 11, №. 7. – P.6808-6816.
6. Xie J., Liu G., Eden H. S. et al. Surface-engineered magnetic nanoparticle platforms for cancer imaging and therapy // Accounts of chemical research. – 2011. – V. 44, №. 10. – P. 883-892.
7. Nikitin A., Fedorova M., Naumenko V. et al. Synthesis, characterization and MRI application of magnetite water-soluble cubic nanoparticles // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – V. 441. – P. 6-13.
8. Cardoso V. F., Francesko A., Ribeiro C. et al. Advances in magnetic nanoparticles for biomedical applications // Advanced healthcare materials. – 2018. – V. 7, №. 5. – P. 1700845.
9. Erofeev A. Gorelkin P., Garanina A. et al. Novel method for rapid toxicity screening of magnetic nanoparticles // Scientific reports. – 2018. – V. 8, №. 1. – P. 1-11.
10. Nemmar A., Beegam S., Yuvaraju P. et al. Ultrasmall superparamagnetic iron oxide nanoparticles acutely promote thrombosis and cardiac oxidative stress and DNA damage in mice // Particle and Fibre Toxicology. – 2015. – V. 13, 1. – P. 1-11.
11. Li N., Xia T., Nel A. E. The role of oxidative stress in ambient particulate matter-induced lung diseases and its implications in the toxicity of engineered nanoparticles //Free radical biology and medicine. – 2008. – T. 44, №. 9. – P. 1689-1699.
12. Chen Y., Gong L., Gao N. et al. Preclinical evaluation of a urokinase plasminogen activator receptor-targeted nanoprobe in rhesus monkeys// International journal of nanomedicine. – 2015.–V.10.–P.6689.
13. Hetzel D., Strauss W., Bernard K. et al. A Phase III, randomized, open-label trial of ferumoxytol compared with iron sucrose for the treatment of iron deficiency anemia in patients with a history of unsatisfactory oral iron therapy//American journal of hematology. – 2014. – V. 89, №. 6. – P. 646-650.
14. Harisinghani M., Ross R. W., Guimaraes A. R., Weissleder R. Utility of a new bolus-injectable nanoparticle for clinical cancer staging //Neoplasia. – 2007. – V. 9, №. 12. – P. 1160-1165.

ВПЛИВ 2D-НАНОЧАСТИНОК СУЛЬФІДУ ВОЛЬФРАМУ НА ВИЖИВАНІСТЬ ТА МОЛЕКУЛЯРНО-СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛІТИН КАРЦИНОМИ ЛЕГЕНІ ЛЬЮЇС in VITRO

Д.Л. Колесник¹, О.М. Пясковська¹, О.П. Гнатюк²,
Г.І. Довбешко², О.Ю. Посудієвський³,
Г.І. Соляник¹

¹Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології
ім. Р.С. Кавецького НАН України, Київ, Україна

²Інститут фізики НАН України, Київ, Україна

³Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, Київ,
Україна, +380442575816, denkolesnik83@gmail.com

Анотація. Досліджено вплив графеноподібних 2D-наноматеріалів на основі сульфіду вольфраму (WS_2) на виживаність пухлинних клітин та зафіксовано їх цитотоксичну/цитостатичну дію лише у разі тривалого терміну інкубування.

Annotation. The effect of graphene-like 2D nanomaterials based on WS_2 on the viability of Lewis lung carcinoma cells in vitro has been investigated and established their cytotoxic/cytostatic action only in the case of long-term exposure.

Ключові слова: графеноподібні 2D-наноматеріали, сульфід вольфраму, пухлинні клітини, карцинома легені Льюїс, інфрачервона спектроскопія, спектроскопія комбінаційного розсіювання.

Keywords: graphene-like 2D nanomaterials, tungsten sulfide, tumor cells, Lewis lung carcinoma, infrared spectroscopy, combination scattering spectroscopy.

Серед розмаїття наноматеріалів сучасні двовимірні (2D) наноматеріали з графеноподібною структурою виявляють унікальні фізичні, хімічні та електронні властивості, що обумовлює можливість їх широкого застосування в біомедичній практиці, зокрема для діагностики та лікування різних патологічних станів, в тому числі злоякісних новоутворень.

Можливість використання наночастинок для діагностичних та терапевтичних цілей в онкології базується в

основному на так званому EPR-ефекті (enhanced permeability and retention effect) – здатності деяких молекул певного розміру, в тому числі і наночастинок, накопичуватися в тканині злоякісної пухлини в більшій ступені, ніж в нормальних тканинах. Реалізація EPR-ефекту обумовлюється біологічними особливостями злоякісної пухлини і, перш за все, аномальним пухлинним ангиогенезом, який є дерегульованим як у просторі, так і у часі [1].

Серед 2D-наноматеріалів можливо виділити дихальогеніди перехідних металів, зокрема дисульфід вольфраму (WS_2). Нанорозмірний WS_2 має високу питому поверхню та чудові електронні властивості, які об'ємні матеріали WS_2 не демонструють [2]. Окрім унікальних фізико-хімічних властивостей, наноматеріали на основі WS_2 проявляють цікаві біологічні властивості, включаючи пероксидазо-подібну активність, антиоксидантні та радіопротекторні властивості тощо [3, 4]. Разом з цим наноматеріали на основі WS_2 мають низьку біологічну токсичність [5].

Для успішного застосування таких наноматеріалів в онкології чи то в якості протипухлинних агентів, чи то в якості протекторів токсичної дії протипухлинної терапії (медикаментозної або променевої) одним з перших необхідних та важливих етапів є оцінка їхнього впливу на виживаність та проліферативний потенціал пухлинних клітин. Тому метою даної роботи було дослідити вплив 2D-наночастинок на основі сульфиду вольфраму на виживаність та молекулярно-структурні характеристики клітин карциноми легені Льюїс в дослідах *in vitro*.

В роботі використовували 2D-наноматеріали WS_2 , які було отримано вдосконаленим механохімічним способом з порошкоподібного WS_2 , та які мали графеноподібну структуру і їхній розмір не перевищував 200 нм [6, 7]. В якості експериментальної пухлинної моделі використовували клітини карциноми легені Льюїс, які підтримували в повному поживному середовищі RPMI 1640 при 37 °C у вологих

умовах, 5 % CO_2 . Цитотоксичний/цитостатичний вплив 2D-наноматеріалів WS_2 оцінювали після їх інкубування з пухлинними клітинами протягом 1 та 2 діб за допомогою сульфородаміну В. Для спектроскопічних досліджень (ІЧ поглинання та комбінаційне розсіяння (КР)) готували зразки пухлинних клітин в малому об'ємі води після їхнього 2-добового інкубування з наночастинками в концентрації 6 мкг/мл. Зразки для ІЧ спектроскопії наносили на підложки з CaF_2 , а для спектроскопії комбінаційного розсіяння - на підложки з багат шарового графену.

Встановлено, що характер впливу 2D-наночастинок на основі WS_2 на виживаність клітин карциноми легені Льюїс суттєво залежав від концентрації цього агенту та тривалості його дії. Так, за 1-добової інкубації наночастинки WS_2 в діапазоні концентрацій 0-25 мкг/мл не проявляли цитотоксичної/цитостатичної дії стосовно пухлинних клітин. Натомість подовження терміну інкубування до 2-х діб суттєво змінило характер впливу досліджуваних наночастинок на виживаність пухлинних клітин та обумовило статистично достовірне ($p < 0.05$) концентраційно-залежне зменшення кількості живих клітин. Максимальний цитотоксичний/цитостатичний ефект наночастинок (зменшення кількості живих клітин на 47 %) було зафіксовано при концентраціях, близьких до 2 мкг/мл. При концентраціях наночастинок вищих за 2 мкг/мл, їхній цитотоксичний/цитостатичний ефект не посилювався: кількість живих клітин залишалася на рівні 55 %-65 % від такої у контролі.

Детальний аналіз спектрів КР пухлинних клітин показав, що після їх 2-добової обробки наночастинками було зафіксовано присутність смуг в області 418 см^{-1} та 352 см^{-1} , які є характеристичними E_{2g}^1 та A_{1g} модами наночастинок WS_2 . Наявність цих смуг свідчить про присутність досліджуваних наночастинок на поверхні та/або всередині клітин.

На відміну від спектрів КР, аналіз ІЧ спектрів поглинання виявив деякий вплив наночастинок WS_2 на конформаційний стан фракції білків та нуклеїнових кислот в

клітинах та звуження смуг фосфатів та амідів. Зменшення напівширини ІЧ смуг поглинання Амід І в області 1651 см^{-1} та зменшення інтенсивності смуг поглинання симетричного (1239 см^{-1}) та асиметричного (1084 см^{-1}) валентного коливання PO_2^- може пояснюватися впорядкуванням ліпідів та білків поблизу поверхні частинок. Частотних зсувів основних смуг поглинання не спостерігалось.

Таким чином, встановлено, що 2D-наноматеріали на основі WS_2 здатні потрапляти в пухлинні клітини та/або накопичуватися на їх поверхні у разі їх сумісного інкубування *in vitro*. 2D-наноматеріали на основі WS_2 демонстрували цитотоксичну/цитостатичну дію стосовно клітин карциноми легені Льюїс лише при довготривалій інкубації. Здатність 2D-наноматеріалів на основі WS_2 не тільки акумулюватися в пухлинних клітинах, але й проявляти цитотоксичну активність стосовно пухлинних клітин надає перспективи їхнього застосування в онкологічній практиці, зокрема у якості носіїв для протипухлинних препаратів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kalyane D, Raval N et al. Employment of enhanced permeability and retention effect (EPR): Nanoparticle-based precision tools for targeting of therapeutic and diagnostic agent in cancer // Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. – 2019. – 98. – P. 1252-1276.
2. Khataee, A. Eghbali et al. Sonochemical synthesis of WS_2 nanosheets and its application in sonocatalytic removal of organic dyes from water solution // Ultrason. Sonochem. – 2018. – 48. – P. 329–339.
3. Mahsa Haddad Irani-nezhad, Alireza Khataee et al. Chemiluminescent method for the detection of H_2O_2 and glucose based on intrinsic peroxidase-like activity of WS_2 quantum dots // Molecules – 2019. – 24. – P. 689. doi:10.3390/molecules24040689.
4. Xueting Bai, Junying Wang et al. Ultrasmall WS_2 quantum dots with visible fluorescence for protection of cells and animal models from radiation-induced damages // ACS Biomater. Sci. Eng. – 2017. – 3. – P. 460-470.
5. Hao J, Song G et al. In vivo long-term biodistribution, excretion, and toxicology of pegylated transition-metal dichalcogenides MS_2

(M = Mo, W, Ti) Nanosheets // Adv. Sci. – 2017. - 4. - P. 1600160. doi: 10.1002/adv.201600160.

6. Posudievsky O. Yu., Khazieieva O.A. et al. Liquid exfoliation of mechanochemically nanostructured tungsten disulfide to a graphene-like state // Nanotechnology. – 2018. – 29 – P. 085704-085710.

7. Posudievsky OY, Khazieieva OA et al. Improved dispersant-free liquid exfoliation down to the graphene-like state of solvent-free mechanochemically delaminated bulk MoS₂ // J. Mater. Chem. C – 2013. – 1. – P. 6411-6415.

ФОТОІНАКТИВАЦІЯ STAPHYLOCOCCUS AUREUS *in VITRO* МОНОХРОМАТИЧНИМ СВІТЛОМ НИЗЬКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

**П.А. Вірич¹, О.М. Надтока¹, П.А. Вірич²,
Н.В. Куцевол¹**

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,
Україна

²ДУ «Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка НАМН
України», Київ, Україна, +38631172137, sphaenodon@ukr.net

Анотація. Представлено результати інактивації диких штамів *Staphylococcus aureus* у суспензії за допомогою монохроматичного світла низької інтенсивності довжинами хвиль 390, 460, 530, 600 та 660 нм. Бактерицидні ефекти виявлено для довжин хвиль 390 (>70%), 460 (60%), 530 (50%) та 600 нм (23%). Не впливає на виживання бактерій опромінення червоним світлом 660 нм.

Annotation. The results of inactivation of wild strains of *Staphylococcus aureus* in suspension using low-intensity monochromatic light with wavelengths of 390, 460, 530, 600 and 660 nm are presented. Bactericidal effects were detected for wavelengths of 390 (>70%), 460 (60%), 530 (50%) and 600 nm (23%). Does not affect the survival of bacteria irradiated with red light 660 nm.

Ключові слова: фотоінактивація бактерій, фотосенсибілізатори, монохроматичне світло.

Key words: bacteria photoinactivation, photosensitizers, monochromatic light.

З початком відкриття антибіотиків спостерігався значний прогрес у лікуванні інфекційних захворювань,

викликаних бактеріальними збудниками. Згодом з'явилися резистентні штами, які не чутливі до дії природних антибіотиків [1]. З розвитком органічної хімії розпочався пошук альтернативних засобів інактивації мікроорганізмів. Серед них потенційно ефективними антибактеріальними засобами можуть бути оксиди металів (цинку, титану), наночастинки срібла, золота тощо. У медицині для стерилізації поверхонь та інструментів застосовують ультрафіолетове випромінювання. Його перевагою є відсутність у мікроорганізмів селективності та розвитку резистентності. Але такий метод не застосовують при лікуванні бактеріальної контамінації тканин людини. Світло із більшою довжиною хвилі також виявляє антимікробну дію. Цей метод інактивації мікроорганізмів отримав назву фотодинамічної терапії. Його ефективність забезпечується наявністю у бактеріальних клітинах специфічних речовин – фотосенсибілізаторів, які мають максимуми поглинання у ділянках електромагнітного спектру, яким опромінюється клітина. Завдяки здатності такої сполуки взаємодіяти з оточуючими молекулами, в тому числі кисню, генеруються токсичні для клітин вільні радикали [2]. Останні можуть взаємодіяти з мембранами клітин та іншими мішенями, порушуючи їх функції [3].

Дикі штами *Staphylococcus aureus* отримували на середовищі жовтково-сольового агару (ЖСА) наступного складу: м'ясо-пептонний агар (МПА) – 70%, хлорид натрію – 10%, жовткова емульсія в 0,9% NaCl – 20%, pH=7,3.

Чутливість мікроорганізмів до дії світла відповідної довжини хвилі вивчали у суспензії бактерій, яку готували у середовищі Мюллера-Хінтона (г/л): гідролізат казеїну – 17,5, гідролізат серця – 2, крохмаль водорозчинний (ЧДА) – 1,5, pH=7,3. Суспензію, що перебувала на водяній бані протягом 20 хв при 37 °С для адаптації мікроорганізмів до зміни умов, розливали по 10 мл у стандартні скляні пробірки об'ємом 20 мл. Кожен дослідний зразок мав контрольний аналог для оцінки швидкості розмноження бактерій та розрахунку

відносно цього показника ефективності дії світла. Всі зразки перебували на водяній бані при 37 °С протягом всього експерименту.

Опромінення суспензії проводили монохроматичним світлом з довжиною хвилі 390, 460, 530, 600 та 660 нм (Lika-Led, Фотоніка Плюс, Черкаси), емісією 0,1 Дж/с та часовою дискретизацією 2 хв. Розрахунок дози опромінення (Дж/мл) проводили відносно об'єму суспензії бактерій 10 мл. Інактивацію колонієутворюючих одиниць (КУО) (%) оцінювали при порівнянні опромінених зразків відносно контрольних, які перебували в таких самих умовах, але не піддавалися дії світла.

Підрахунок кількості колонієутворюючих одиниць *S. aureus* у суспензії проводили у камері Горяєва. Бактерії контрастували акридиновим помаранчевим при концентрації у суспензії $3,5 \cdot 10^{-3}$ М протягом 3 хв. Для дослідження флуоресценції суспензії бактерій використовували мікроскоп Olympus BX53 з люмінесцентним блоком X-Cite Series 120 Q і камерою-детектором Olympus DP72. Досліди повторювали тричі. Математичну та статистичну обробку результатів проводили у програмному пакеті Originlab 8.0.

Проведені нами дослідження впливу світла на інактивацію диких штамів *S. aureus* у суспензії показали високу бактерицидну ефективність світла. Так, при опроміненні бактеріальної суспензії світлом з довжиною хвилі 390 нм та енергією 0,1 Дж/с при дозі опромінення 10-11 Дж/мл гине 50% КУО. При малих дозах опромінення спостерігається висока бактерицидна активність світла, яка становить близько 40% від початкової кількості КУО. Наступне збільшення енергії сприяє практично лінійному зростанню бактерицидної активності світла.

Збільшення довжини хвилі передбачає зниження енергії фотонів та присутність у клітинах потенційних мішеней, які мають максимуми поглинання у цих ділянках спектру. Світло з довжиною хвилі 460 нм здатне поглинатися гемопорфіриновими групами складних протеїнів, ініціюючи

каскад реакцій, спрямованих на генерацію вільних радикалів. Виявлено, що доза опромінення менше 1,5 Дж/мл сприяє загибелі лише 4-5% КУО. Збільшення дози опромінення до 10 Дж/мл забезпечує практично лінійне зниження кількості КУО до 40% від початкової популяції з наступним виходом на плато. Збільшення дози опромінення вище 10 Дж/мл забезпечує інактивацію близько 60% від початкової кількості КУО *S. aureus*.

При опроміненні зеленим світлом з довжиною хвилі 530 нм було отримано подібну до синього світла залежність. Доза опромінення зеленим світлом, яка необхідна для ініціації загибелі бактерій у суспензії становить 2,5-3 Дж/мл (рис.3). Збільшення дози опромінення до 10 Дж/мл сприяє різкому підвищенню бактерицидної активності до 35% від початкової популяції КУО. Подальше зростання сумарної енергії опромінення не призводить до суттєвої зміни кількості КУО. Максимальний рівень інактивації КУО становить 50% при дозі опромінення 14-16 Дж/мл. При опроміненні суспензії монохроматичним світлом 600 нм з емісією 0,1 Дж/с максимальний ефект досягається при дозі 4,8 Дж/мл і становить 20-23%.

При опроміненні суспензії *S. aureus* світлом з довжиною хвилі 660 нм не було виявлено зміни кількості КУО у суспензії.

Перевагою застосування світла низької інтенсивності є зниження негативного впливу на оточуючі тканини відкритих ран при збереженні бактерицидного ефекту відносно патогенних мікроорганізмів. Такий підхід потенційно можливо застосовувати з метою прискорення загоєння відкритих ран та попередження їх бактеріальної контамінації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mahmoudi H., Bahador A., Pourhajibagher M., Alikhani M. Antimicrobial photodynamic therapy: an effective alternative approach to control bacterial infections // Journal of Lasers in Medical Sciences. – 2018. – V 9 – 154-160.

2. Tegos G., Hamblin M. Phenothiazinium antimicrobial photosensitizers are substrates of bacterial multidrug resistance pumps // Antimicrobial Agents and Chemotherapy. – 2006. – V 50 – 196-203.
3. Darabpour E., Kashef N., Mashayekhan S. Chitosan nanoparticles enhance the efficiency of methylene blue-mediated antimicrobial photodynamic inactivation of bacterial biofilms: An in vitro study. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. – 2016. – V 14 – 211-217.

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПРОМІНЕННЯ ПРИ РАКУ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ

М.В. Соколовська, Г.Ю. Чорнай, І.М. Репецька

LISOD - Лікарня ізраїльської онкології, м. Київ, Україна, maris_a@ukr.net

Анотація. Представлено сучасні технології опромінення при раку молочної залози, які застосовують в клінічній практиці. Розглянуто особливості кожного варіанту, визначено позитивні та негативні моменти, покази для їх оптимального застосування.

Ключові слова: променева терапія, рак молочної залози, 3D-CRT, IMRT, VMAT, Tomotherapy, SRS, SBRT, Proton therapy.

Променева терапія – це один із основних методів лікування онкологічних хворих і застосовується майже у 70% випадків у різних програмах лікування: радикальна (дефінітивне, ад’ювантне, неoad’ювантне лікування), паліативна, симптоматична. Основними принципами будь-якої з програм є: 1 – доставка терапевтичної дози до пухлини, від чого залежатимуть локальний контроль за пухлиною, загальна та безрецидивна виживаність, 2 – мінімальне ушкодження оточуючих здорових тканин, що впливатиме в подальшому на якість життя пацієнтів. Саме прогрес технологій опромінення, вдосконалення апаратури для реалізації поставлених завдань і покликані забезпечувати основні принципи променевого лікування хворих.

Рак молочної залози (РМЗ) є найпоширенішою онкологічною патологією серед жіночого населення планети, в лікуванні якої застосовують променеву терапію. І саме на цій

патології розглянемо важливість грамотного вибору технології опромінення, особливості кожного варіанту. Отже, варіанти підведення дози: опромінення МЗ після органозберігаючих операцій (ОЗО) із включенням бусту або без, опромінення грудної стінки після радикальної мастектомії (РМЕ), опромінення після реконструктивних операцій власними тканинами, імплантами або тканинними еспандерами, опромінення зон регіонарного лімфовідтоку, де складною зоною є група інтрамаммарної групи лімфовузлів (ЛВ), методики гіпофракційного опромінення або АРВІ, при яких зростає разова доза опромінення, опромінення при локальному рецидиві пухлини та паліативне лікування метастазів пухлини. При плануванні опромінення певної клінічної задачі потрібно враховувати об'єм клінічної мішені, об'єм оточуючих здорових тканин (ОЗТ), які потраплятимуть в зону опромінення та межі їх толерантності до променевого навантаження, разові та сумарні дози, які будуть підведені до лікувальних об'ємів, топографію розташування ложа пухлини – його близькість до грудної стінки, до шкіри, втягнення останньої в патологічний процес. Особливо ретельним повинно бути планування тактики опромінення при ураженні лівої МЗ, оскільки досить близько знаходиться середостіння, серце, LAD-регіон, що матиме суттєве значення на розвиток кардіальної токсичності в майбутньому та на ймовірність розвитку гострої коронарної патології, серцевої недостатності, порушень ритму, особливо при лікуванні жінок молодого віку.

Як відомо, 3D-CRT є золотим стандартом променевої терапії РМЗ і може застосовуватись для будь-якої із вищенаведених клінічних задач [1]. Так, після ОЗО, РМЕ, реконструктивних операції ділянку ураженої МЗ опромінюють 2ма тангенційними полями із метою забезпечення оптимального, гомогенного покриття запланованою дозою необхідних об'ємів при мінімальному навантаженні (або уникненні його зовсім) на ОЗТ. При опроміненні буста додаткову дозу не лише необхідно підвести

на зону ложа видаленої пухлини, а й врахувати додаткове навантаження на ОЗТ і мінімізувати негативні наслідки.

Розроблені сучасні техніки опромінення (IMRT, VMAT, Tomotherapy, SRS, SBRT, Proton therapy) покликані вдосконалювати основні принципи ПТ – зменшувати навантаження на ОЗТ не впливаючи на гомогенність покриття дозою мішеней. Зокрема, IMRT за рахунок модуляції інтенсивності доставки дози з кожного поля забезпечує кращу конформність дози в мішені (в МЗ, включаючи зони регіонарного л/відтоку) та кращий захист органів ризику (ОР) – менше навантаження на легені, серце, контратеральну МЗ, також дозволяє безпечно включати інтегрований буст, проводити АРВІ, опромінення інтрамаммарних л/в, що суттєво знижує частоту ранніх променевих реакцій та пізніх ускладнень [2, 3]. Однак, застосування IMRT потребує тривалого та ретельного оконтурювання усіх об'ємів, планування, процедура лікування триваліша та потребує прогресивнішого програмного забезпечення. Швидшою в реалізації часу процедури та конформнішою є методика VMAT, яка дозволяє зменшити дозу на ОР, однак розсіювання на ОЗТ є ширшим. Тому, дана техніка може бути доцільніша при опроміненні буста, локального рецидиву. Подібними позитивними моментами в швидкій та прицільній доставці дози до пухлини та мінімальному навантаженні на ОР володіє і Tomotherapy, при якому IMRT реалізовується через віялоподібне ротаційне опромінення при поступовому переміщенні пацієнта через гентрі за допомогою лікувального стола. Проте, даний апарат має 2 варіанти реалізації доставки дози: TomoHelical – ротаційне спіральне опромінення, яке доцільніше застосовувати у випадку білатерального ураження МЗ-з, місцевопоширеному процесі, множинних метастазах та TomoDirect – опромінення slice by slice, яке краще реалізовує себе при невеликому об'ємі мішені (ранні стадії РМЗ, опромінення л/в, при наявності імплантів, при реіrrадіації).

Проведені дослідження, які порівнювали лікувальні техніки з метою оцінки розподілу дози в мішенях, на ОР, із

визначенням ризику розвитку вторинного раку в опромінених тканинах, показали, що найбільше навантаження на оточуючі тканини та негомогенне опромінення лікувального об'єму при застосуванні VMAT та Tomotherapy [4-6]. Однозначним лідером у максимально ефективній реалізації основних принципів ПТ, зокрема мінімальному навантаженні на ОР, є Proton therapy, однак дана техніка є надто дороговартісною та відсутні центри в Україні. Щодо радіохірургічних методик (SRS, SBRT), то вони доцільні при розмірі мішені не більше 4 см, тобто можуть бути застосовані лише при обмежених клінічних завданнях – опромінення бусту, локальних метастазів в головний мозок, у віддалені органи та тканини (при наявності системи трекінг контролю).

Отже, сучасні технології не завжди можуть забезпечити вирішення необхідних клінічних завдань, а їх застосування повинно базуватись на оцінці усіх позитивних та негативних моментів реалізації лікувального плану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. NCCN Guidelines. Breast cancer. Version 6.2020. - https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/breast.pdf
2. Pignol JP, Olivotto I, Rakovitch E, et al. A multicenter randomized trial of breast intensity-modulated radiation therapy to reduce acute radiation dermatitis. J Clin Oncol. 2008; 26(13):2085-2092.
3. Donovan E, Bleakley N, Denholm E, et al. Randomised trial of standard 2D radiotherapy (RT) versus intensity modulated radiotherapy (IMRT) in patients prescribed breast radiotherapy. Radiother Oncol. 2007; 82(3):254-264.
4. Han, Eun Young et al. “Estimation of the risk of secondary malignancy arising from whole-breast irradiation: comparison of five radiotherapy modalities, including TomoHDA.” Oncotarget vol. 7, 16 (2016): 22960-9.
5. Ranger A, Dunlop A, Hutchinson K, et al. A Dosimetric Comparison of Breast Radiotherapy Techniques to Treat Locoregional Lymph Nodes Including the Internal Mammary Chain. Clin Oncol (R Coll Radiol). 2018; 30(6):346-353.

6. Buwenge M, Cammelli S, Ammendolia I, et al. Intensity modulated radiation therapy for breast cancer: current perspectives. Breast Cancer (Dove Med Press). 2017; 9:121-126. Published 2017 Mar 6.

ДОЦІЛЬНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАМЕРНО-СЕГМЕНТАРНОЇ ТА СТАНДАРТНОЇ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЇ В ДІАГНОСТИЦІ ТА ЛІКУВАННІ ЗАХВОРЮВАНЬ СЕРЦЯ

В.П. Невструєв, С.М. Камінський, В.Л. Штанько, О.І. Гай

*Університетська клініка Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

*Київський науково-дослідний інститут медико-біологічних проблем, Київ,
Україна, +380503114153, vnev@ukr.net*

Анотація. Описана актуальність та доцільність комплексного застосування метамерно-сегментарної та стандартної електрокардіографії в діагностиці та лікуванні ішемічних станів та порушень у провідних шляхах серця.

Annotation. Described the relevance and the degree of complex stasis of metameric-segmental and standard electrocardiography in diagnostics and correction of ischemic mills and breakdowns in the wards of the heart.

Ключові слова: метамерно-сегментарна електрокардіографія, електрогенез, ембріогенез.

Метою нашої роботи була розробка та застосування і випробування у клінічних умовах технології реєстрації електричних потенціалів серця [1] з урахуванням метамерно-сегментарної іннервації серця та особливостей його ембріогенетичного формування.

Топографія відведень при метамерно-сегментарній електрокардіографії.

1. Th-2s – ліве передсердя
2. Th-2d – праве передсердя
3. Th-3s – передня частка міжпередсердної перетинки
4. Th-3d – задня частка міжпередсердної перетинки
5. Th-4s – ліва бічна та передня стінка лівого шлуночка

6. Th-4d – права бічна та передня стінка правого шлуночка
7. Th-5s – передня частка міжшлуночкової перетинки
8. Th-5d – задня частка міжшлуночкової перетинки
9. Th-6s – ліва частка верхівки серця
10. Th-6d – права частка верхівки серця

Нашими співробітниками була розроблена та випробувана у медичній практиці технологія реєстрації електричних потенціалів серця. Основою, на якій ґрунтувалася методологія реєстрації електрокардіографічних показників, була особливість ембріогенетичного формування серця [5] зі збереженням своїх метамерно-сегментарних зв'язків. Крім того враховувалось і те, з яких грудних метамерів формувалися усі ділянки серця. Також були проведені додаткові електронейрофізіологічні дослідження [2] для з'ясування з яких паравертебральних ділянок шкірного покриву доцільно знімати електричний потенціал для підвищення рівня достовірності та інформативності даних.

При використанні запропонованої методики «стрічка» електродів накладалася паравертебрально праворуч та ліворуч від хребта на відстані 3-5 см від середньої хребтової лінії від 2 по 7 грудні хребці у міжхребцевих проміжках. Реєстрація електрокардіограми здійснювалася звичайним чином.

Дослідження проводилось із залученням клінічно здорових осіб, пацієнтів з клінічно підтвердженими даними про зміни у міокарді та необстежених пацієнтів зі скаргами на біль у ділянці серця.

У зазначених груп проводилось обстеження з використанням тільки стандартної електрокардіографії [3, 4], а також у комплексі з застосуванням метамерно-сегментарній електрокардіографії.

В результаті проведеного обстеження доведено, що комплексне електрокардіографічне діагностичне обстеження з застосуванням метамерно-сегментарної електрокардіографії достовірно більш інформативно, ніж при застосуванні лише стандартної електрокардіографії на 12,5%.

У подальшому проводилось співставлення даних електрогенезу стандартних та паравертебральних електрокардіографічних відведень.

На підставі отриманих даних робили висновки про біоелектричні особливості різних відділів міокарду.

Крім того, на підставі даних комплексної електрокардіографії проводились динамічні спостереження ефективності та цілеспрямованості медикаментозної корекції ішемічних станів та порушень у провідних шляхах серця.

Використання методик стандартної та метамерної електрокардіографії дозволяє не тільки підвищити рівень достовірності та інформативності отриманих даних, а також – оптимізувати ефективність і цілеспрямованість лікувальних заходів на початковому рівні обстеження пацієнтів.

Висновки. Досвід клінічної практики лікарів показує, що найчастіше патологічний процес, який зайшов далеко, не відбувається на контрольованих параметрах стандартної ЕКГ. Саме тому технологія комплексного електрокардіографічного діагностичного обстеження дозволить значно підвищити якість, інформативність та достовірність отримуваних даних для раннього виявлення ішемічних станів та порушень у провідних шляхах серця, що надасть можливість лікарям проводити цілеспрямовану медикаментозну корекцію виявлених патологічних змін. Такий комплексний метод електрокардіографії може використовуватися як складова частина скринінгових обстежень великих груп населення, особливо у амбулаторно-поліклінічній практиці та в умовах сільських амбулаторій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. — М.: Медицина, 1975. — 446с.
2. Наточин Ю.В. Эволюционная физиология. - Журнал эволюционной биохимии и физиологии, 2017. -№ 2.-С.141
3. Теоретические основы электрокардиологии / Под ред. К.В. Нельсона и Д.Б. Гезеловица; Пер.с англ. Л.И. Титамира. — М.: Медицина, 1979. — 200 с.

4. Кечкер М.И. Руководство по клинической электрокардиографии. – М., 2000. – 395 с.
5. О.Л. Коренівська, Ю.О. Лазебник. Розгляд електрогенезу серцевої діяльності за допомогою створення індуктивно-ємнісної моделі серця. - Вісник ЖДТУ № 4 (31). – 32 с.

PRE-IRRADIATION OF A SOLVENT – A WAY TO RESPECT THE THERAPEUTIC EFFCACY OF SOME WATER- SOLUBLE DRUGS

**M.A. Zabolotnyy¹, G.I. Dovbeshko², V.E. Orel³,
G.I. Solyanik⁴, L.N. Kirkilevskaya⁵**

¹ *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine*

² *[Institute of Physics](#) of NASU, Kyiv, Ukraine*

³ *National Cancer Institute, Kyiv, Ukraine*

⁴ *Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology of NASU, Kyiv, Ukraine*

⁵ *Kyiv Medical University, Kyiv, Ukraine, +380445213284, radbez@gmail.com*

Annotation. The work is devoted to the study of the processes that determine the possibilities of the method of increasing the effectiveness of the antitumor action of already known antitumor drugs without the use of foreign nano dipurities using high-energy electron irradiation. The electron energy was 2 MeV. The method is based on the use of the original technique, which uses irradiation of the solvent (water or saline) before the introduction of a drug (doxorubicin). Conformational changes in doxorubicin molecules in irradiated saline were analysed by changes in their vibrational spectra, which were recorded using an IR-Fourier spectrometer. Quantum chemical calculations were performed using the Gaussian program, the method of density functional (B3LYP). The geometry of the doxorubicin molecule was optimized and its oscillation spectrum was calculated. To study the pharmacological activity of the antitumor drug doxorubicin used Lewis lung carcinoma. Cells were maintained in RPMI 1640 medium with the addition of 10% ETS, 2 mm L-glutamine and 40 µg / ml gentamicin at 37 ° C. Studies have shown that the use of pre-irradiated saline (0.9% NaCl) for the antitumor drug doxorubicin significantly alters the conformational properties of its molecules. The minimum dose of high-energy electron irradiation (2

MeV) absorbed by the solvent, at which changes in the conformation states of the drugs dissolved in them are recorded, is equal to 4 kGy.

Key words: irradiation, conformation, electrons, molecule, konium, doxorubicin.

Introduction. Experience with antitumor chemotherapy has shown its limited capabilities and low efficacy in the treatment of locally advanced and disseminated forms of malignant neoplasms. In this regard, the definition of new biologically active materials, the study of their physical, chemical and therapeutic properties and the creation on their basis of effective and low - toxic antitumor drugs is one of the most pressing tasks of modern pharmacology and practical oncology [1, 2, 3] an important issue is the choice of the optimal modifier of therapeutic drugs, which is usually in a nanostructured state. Note that the modification of drug molecules by nanosized particles has important theoretical and practical significance, as it provides the opportunity to obtain biocompatibility with cells of the body, specific interaction with living tissues. Preliminary studies have shown the prospects of a new non-destructive method of modifying both the physical and therapeutic properties of some antitumor drugs without changing their chemical composition.

The aim of the work is to study the regularity of the method of increasing the effectiveness of antitumor action of already known antitumor drugs without the use of foreign nanodipurities using high-energy electron irradiation, to reduce the dose of antitumor drugs and minimize side effects when used in oncology.

Experimental procedure. The studies used saline 0.9% NaCl (Novopharm-Biosynthesis, Ukraine). Saline, collected in sterile medical syringes of 20 ml, was irradiated with electrons with an energy of 2.0 MeV using a linear accelerator ILU-6. The dose of absorbed radiation ranged from 4 to 80 kGy. Under such electron irradiation, the solvent temperature changed by no more than 5 C⁰. Characteristics of the electron irradiation process of doxorubicin solutions are given in Table 1.

Table. 1.

Position of points of local maxima of absorption spectra

Fluence of the electron flux, sm^{-2}	Irradiation time s	Absorbed dose of irradiation, kGy
4×10^{13}	45 c	5
6×10^{13}	60 c	10
1×10^{14}	76c	20
2×10^{14}	270	35
4×10^{14}	520	70
4×10^{14}	580	80

Solutions of doxorubicin (adriblastine) were prepared using Actavik Italy powder, SpA and saline, bringing the concentration of the active drug to 5 mg / ml and and Conium (Weleda, Germany). Drug Conium, contains a number of alkaloids, the main of which are Coniin ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{N}$), N-Methylconiin ($\text{C}_9\text{H}_{19}\text{N}$), γ - Konitsiin ($\text{C}_8\text{H}_{15}\text{N}$), Conhydrin ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{NO}$) and Pseudoconhydrin ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{NO}$).

Conformational changes in doxorubicin molecules in irradiated saline were analysed for changes in their vibrational spectra, which were recorded using an IR-Fourier spectrometer (Bruker IFS 66, Germany) and a Shimadzu UV-260 diffuse knockout spectrophotometer. The accuracy of determining the wave number was 0.2 cm^{-1} , and the accuracy of determining the transmission - 0.1%. Processing of IR spectra was performed using the program OPUS 5.5. Measurements were performed no later than 10 days after irradiation of saline. The temperature of the sample was in the range of $20\text{--}25 \text{ C}^0$.

Quantum chemical studies used the GAUSSIAN program, which was used to calculate the vibrational frequencies of the doxorubicin molecule in vacuum and water.

Results and discution. The results of measurements in the visible and IR regions of the spectra are illustrated by the graphs

presented in Figs. 1 and Fig.2, respectively. The time between irradiation of the samples and registration of their vibrational spectra did not exceed 14–23 days. The measurements showed that the absorption of the samples in this case was constant. The results of the measurements in the visible region of the spectrum are illustrated in Fig. 1, which shows the spectral dependences of the absorption of doxorubicin molecules in unirradiated and irradiated (70 kGy) saline.

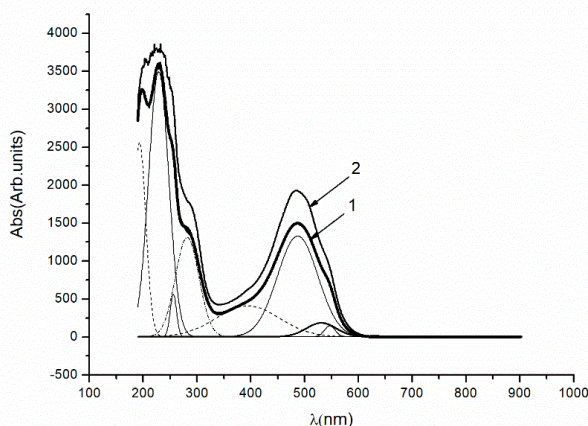


Fig. 1. Absorption spectra in the visible region of a doxorubicin solution dissolved in saline solution not irradiated (curve 1) and pre-irradiated (curve 2)

The absorption spectrum of the solution obtained without prior irradiation was analysed using its representation as a composition of Gaussian functions. The graph of the sum of these Gaussian functions conveys all the characteristic features of the experimentally established spectrum (Pearson's pairwise correlation coefficient between them is 0.98). The absorption of radiation in these regions is associated with the excitation of electrons of the s-, p- and n-orbitals of the ground state and the transitions of molecules into the excited state. Therefore, studying the shift of the positions of the maxima and the change in intensity in this area, we can draw conclusions about the change in the optical properties of the doxorubicin molecule. The dependence of the positions of the local maxima of the sectors on the value of the

absorbed dose in the optical absorption spectra taken immediately after irradiation of the solvent and the preparation of solutions with doxorubicin are shown in Table 2.

Table 2.

Dependence of the position of the absorption maxima on the dose in the optical absorption spectra taken immediately after irradiation of the solvent and preparation of solutions with doxorubicin

DOX +NaCl, 0 kGy, λ (nm)	193,23	225,86	256,95	280,64	393,33	486,37	530,18	545,21
DOX +NaCl 70 kGy, λ (nm)	192,50	235,11	255,24	291,69	401,87	489,76	529,81	535,42

Significant dependence on the amount of absorbed dose is also shown by the absorption spectra in the IR range, illustrating the data shown in Fig.2.

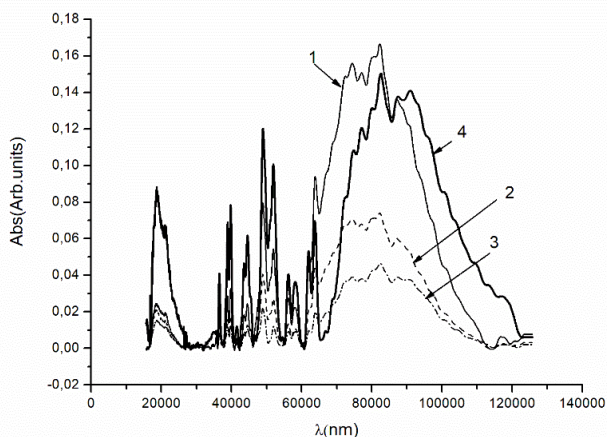


Fig.2. The dependence of the normalized absorption of doxorubicin on the wavelength in the unirradiated and irradiated solution of 0.9% NaCl at different doses of absorbed electron irradiation

Curve 1 presented in Fig.2 describes the absorption spectrum of doxorubicin in non-irradiated saline, curve 2 was obtained about the absorbed dose of 10 kGy, curve 3 - 35 kGy, and 4 - 70 kGy. As can be seen from Fig.2 for the above spectra is characterized by a

significant non-monotonic dependence of the configuration of the spectra (the ratio of the amplitudes of high-frequency and low-frequency maxima) from the absorbed dose. This behavior may be due to coagulation (clustering) of babstones [5], which can be realized at high values of the concentration of babstones (at high levels of radiation).

Studies have shown that the minimum dose of high-energy electron irradiation absorbed by the solvent, at which changes in the conformation states of the drugs dissolved in them are recorded, is 4 kGy. In this case, the radiation-induced changes in the absorption spectra of the samples exceed the noise effects of physiological solutions.

Studies of the ability of high-energy electron irradiation of saline as a drug solvent to modify the pharmacological activity of the antitumor drug doxorubicin were investigated in vitro using the Lewis lung cancer cell line (LLC). Studies have confirmed our previous conclusion [6] that the use of doxorubicin dissolved in irradiated saline leads to increased cytotoxic / cytostatic effects. This potentiating effect is most significant at low concentrations of doxorubicin.

Conclusions.

1. Preliminary irradiation of physiological solution causes a change in the absorption spectra of doxorubicin dissolved in it in the visible and IR region of the spectrum. Changes in the spectra of these spectra are characterized by a significant non-monotonic dependence of the configuration of the spectra (the ratio of the amplitudes of high-frequency and low-frequency maxima) on the absorbed dose.
2. The use of pre-irradiated solvent (0.9% NaCl) antitumor drug doxorubicin significantly changes their conformational properties. The minimum dose of high-energy electron irradiation (2 MeV) absorbed by the solvent, at which changes in the conformation states of the drugs dissolved in them are recorded, is equal to 4 kGy. In this case, the radiation-induced changes in the absorption spectra of the samples exceed the noise effects of physiological solutions.

3. The modifying effect of high-energy electron irradiation of the doxorubicin solvent persists for 2-3 weeks.
4. The structural forms were determined, the values of the dipole moments and the energy of the ground state of alkaloids included in the konium were calculated: koniyina, N-methylconiine, γ -konitsiina, conhydrin and pseudoconhydrin. It has been established that the conformations of the molecules of alkaloids with the lowest energy have the maximum possible linear dimensions and the smallest values (for stable states) of the dipole moment [6].

REFERENCES

1. Ambili Remesh. Toxicities of anticancer drugs and its management// International Journal of Basic and Clinical Pharmacology. – 2012 – Vol.1 – № 1. – P. 2 – 12.
2. V.B. Orel, M.A. Zabolotnyy, V.E. Orel. Heterogeneity of hypoxia in solid tumours and mechanochemical reactions with oxygen nanobubbles// Medical Hypotheses. – 2017 – №102 – P.82-86, doi: 10.1016/j.mehy.2017.03.006.
3. Oncology 2020: a drug development and approval paradigm// Annals of Oncology – 2020 – №26 – P. 2347 – 2350; 2015 doi:10.1093/annonc/mdv353.
4. М.А. Заболотний, М.П. Куліш, О.П. Дмитренко, Г.І. Соляник, Ю.І. Прилуцький, М.А. Драпиковський, М.О. Кузьменко, Н.А. Полуян, В.А. Кияшко. Спосіб модифікації водорозчинних протипухлинних препаратів за допомогою радіаційного опромінення, Патент на винахід № 116227, Дата подання заявки: 07.07.2015, Зареєстровано 26.02.2018.
5. Fang C-K., Ko H-C., Yang C-W., Lu Y-H., Hwang I-S. Nucleation processes of nanobubbles at a solid/water interface// Scientific Reports – 2016 - №6 (24651) – P.1-10.
6. L.I. Aslamova, M.A. Zabolotnyy, G.I. Dovbeshko, G.I. Solyanik. Electron irradiation as a method of increasing efficacy of some water soluble drugs in oncology// Proceedings of International Conference “Medical Physics 2019 in the Baltic States”, 7 – 9 November 2019 – Kaunas – Lithuania – P. 151 – 152.

ТЕРМОЧАСОВІ ЗМІНИ ІМПЕДАНСНИХ СПЕКТРІВ ТКАНИН ПЕЧІНКИ, ОТРИМАНИХ У ШИРОКОМУ ЧАСТОТНОМУ ДІАПАЗОНІ

Т.В. Приймак, І.М. Гасюк., О.Г. Попадинець*

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна*

**Івано-Франківський національний медичний університет,
Івано-Франківськ, Україна, pryjmak488taras1996@ukr.net*

Анотація. Експериментально встановлено кореляцію між ступенем і характером пошкоджень тканин печінки, відповідними до них еквівалентними схемами та параметрами імпедансу. Показано, що, в залежності від температури, при зберіганні зразків на повітрі змінюється час трансформації електрохімічної схеми, характер якої пов'язаний з існуванням неруйнуючого і незворотнього діапазонів змін структури тканин.

Annotation. The correlation between the degree and nature of liver tissue damage, the corresponding equivalent circuits and impedance parameters has been experimentally established. It is shown that depending on the temperature, when storing samples in air, the transformation time of the electrochemical scheme changes, the nature of which is associated with the existence of non-destructive and irreversible ranges of changes in tissue structure.

Ключові слова: імпеданс, температура, печінка, електрична еквівалентна схема, деструкція, мікроскопія.

Метод імпедансної спектроскопії (ІС) є одним із способів, який використовується для характеристики біооб'єктів на основі пасивних електричних властивостей матерії. Широкий спектр його застосування пов'язаний з інтенсивним розвитком таких галузей, як медицина, харчова промисловість [1], тканинна інженерія, кріохірургія [2], де структурна цілісність біологічних тканин та дослідження впливу на них температур, циклів замороження-відтавання, механізми пошкодження, спричинені ними, зокрема явище “розчинного ефекту” [3, 4] та утворення кристалів льоду [5], відіграють важливу роль.

Метою пропонованого дослідження є встановлення відповідності між часовими трансформаціями тканини печінки свині при зберіганні її на повітрі під впливом температури протягом певного часу, параметрами еквівалентних схем та їх імпедансу, експериментально отриманого у широкому частотному діапазоні.

При проведенні досліджень, використовувались комірки конденсаторного типу, зроблених із звичайних шприців, об'ємом 2 мл. Об'єктом для вимірювання було вирішено обрати органи, зокрема свинячу печінку, у зв'язку з доступністю та відносною дешевизною матеріалу, отриману через 5 - 6 годин після смерті тварини. Зразки органу у комірках поміщались у герметичний термостат 1/120 СПУ під вплив температури при 2, 8, 12, 25 та 35°C протягом 2, 8 та 14 годин. Паралельно проводилась оптична мікроскопія (рис. 3). Імпедансна спектри реєструвались спектрометром AUTOLAB PGStat 30 у діапазоні частот 0,01 Гц – 100 кГц (рис. 1). Для зменшення впливу амплітудних значень напруги вимірювального сигналу на стан органічних тканин, діапазон потенціалу задавався в межах 0 – 5 мВ. Чисельне опрацювання результатів вимірювання для визначення параметрів елементів еквівалентних схем (рис. 2) проводились із допомогою програмних середовищ FRA-2, Origin та Z-View 2.

Дана методика дозволяє експериментально оцінити ступінь пошкодження тканин та відобразити відповідні зміни у вигляді еквівалентних схем. В результаті, відповідно до імпедансного спектру, отримана шести-елементна схема свіжого зразку, змінилась до двох- та трьох-елементної, у випадку експериментального, що дозволяє робити висновки про повне руйнування тканинних компонентів, які відповідають елементам схеми.

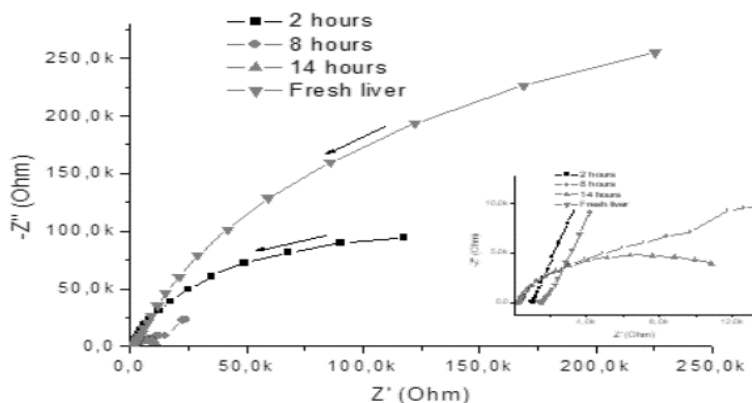


Рисунок 1. Спектри імпедансу тканин печінки свіжого зразка та зразка під впливом температури 35°C протягом 2-ох, 8-ох та 14 годин у діапазоні частот 0,01 Гц – 100 кГц, $-Z''$ - уявна частина, Z' – дійсна частина електричного імпедансу, у вкладці – високочастотні ділянки діаграми. Стрілкою показано напрям зростання частоти

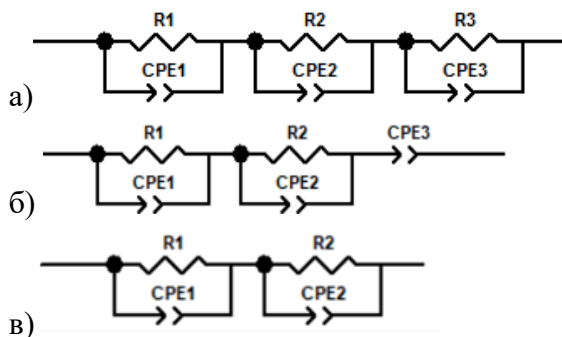
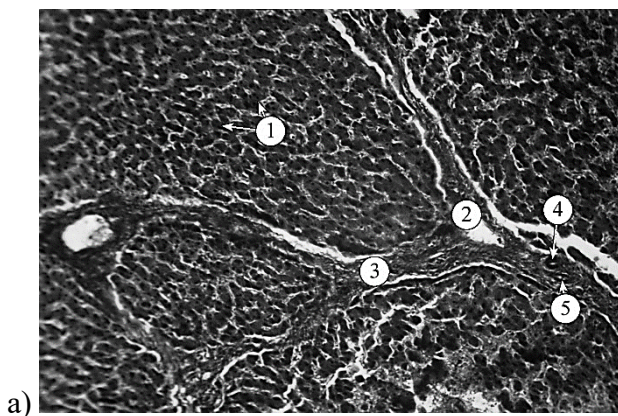
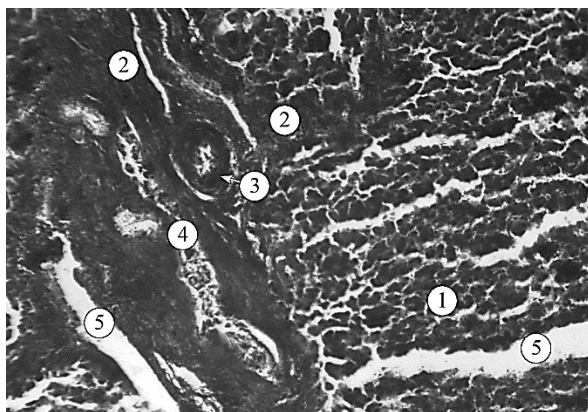


Рис. 2. Електричні еквівалентні схеми свіжого зразка (а) та зразка під впливом 35°C протягом 8 (б) та 14 годин (в) відповідно



а)



б)

Рис. 3. Гістологія печінки свині свіжого зразка (а) та зразка під впливом 40°C протягом 1 години. а) 1 – печінкові пластинки, 2 – міжчасточкова вена, 3 – прошарки пухкої сполучної тканини, 4 – міжчасточкова артерія, 5 – міжчасточкова жовчна протока, забарвлення: за Хартмом. Зб.: $\times 100$; б) 1 – дезорганізовані печінкові пластинки, 2 – ущільнені ділянки міжчасточкових сполучнотканинних прошарків, 3 – міжчасточкова артерія, 4 – міжчасточкова вена, 5 – явища набряку. Забарвлення: трихромне за Масоном. Зб.: $\times 100$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yu TH, Liu J, Zhou YX. Using electrical impedance detection to evaluate the viability of biomaterials subject to freezing or thermal

- injury. Anal Bioanal Chem. 2004; 378(7):1793–1800. DOI: 10.1007/s00216-004-2508-2.
2. Han B, Bischof JC. Direct cell injury associated with eutectic crystallization during freezing. Cryobiology. 2004; 48(1):8–21. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2003.11.002.
3. Yu TH, Liu J, Zhou YX. Using electrical impedance detection to evaluate the viability of biomaterials subject to freezing or thermal injury. Anal Bioanal Chem. 2004; 378(7):1793–1800. DOI: 10.1007/s00216-004-2508-2.
4. Приймак Т.В., Гасюк І.М., Груб'як А.Б., Бойчук А.М. Деструктивна трансформація параметрів електричної еквівалентної схеми тканин печінки. Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології: матеріали міжнар. наук. конф. м. Київ, 26 – 27 вересня, 2019 р. с. 202-205.
5. Fischer G, Handler M, Johnston PR, Baumgarten D. Impedance and conductivity of bovine myocardium during freezing and thawing at slow rates - implications for cardiac cryo-ablation. Med Eng Phys. 2019; 74:89–98. DOI:10.1016/j.medengphy.2019.09.017.

USAGE OF HIGH-FREQUENCY ELECTRIC WELDING IN VASCULAR SURGERY

**V.A. Chernyak ¹, K.K. Karpenko ³, D.Ye. Dubenko ²,
P.F. Muzichenko ²**

¹*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, 0689002428,
victorchernyak.ohta@gmail.com*

²*National Medical University named after O.O. Bohomolets,*

³*National Military-Medical Clinical Centre of the Ministry of Defense of
Ukraine*

Annotation. Possibilities of high-frequency electric welding of living tissues for treatment of blood vessels are substantiated. An experimental research on human vessels described the physical and morphological effects of electric welding on tissues. The obtained data allowed to introduce technology and original medical devices into clinical practice.

Key words: electric welding, vessels, surgery, experiment.

Introduction. In Ukraine, the treatment of surgical diseases of vascular origin is relevant, given the independent statistics and treatment results [1-7]. The application of domestic latest

technologies in this area, their improvement and development is a priority of modern medicine and science.

Aim. Research in the experiment and implement in clinical practice the technology of high-quality electric welding in the surgery of peripheral and main vessels.

Experimental studies. The features of high-frequency electric welding, its influence on the condition of the walls of the perforating veins and the surrounding biological tissues, and the subfascial space of the lower extremities were studied in the experiment. Thus, it is proved that a significant advantage of high-frequency electric welding over diathermy is the effect of strong adhesion of the vein walls at low temperatures (up to 110 degrees Celsius) without thrombosis and tissue carbonization. It is proved that the strength of the connection of tissues in the area of formation of the electric weld depends on the degree of homogenization of the tissues that form its substance. The main component of the substance of the electric weld, which gives it strength, are collagen fibers of the vein wall. In bipolar welding of biological tissues, heating is carried out due to the release of heat in an electrically conductive biological fluid, which is an electrolyte, when an electric current passes through it. It was found that the solids of biological tissues surrounding biological fluids or in them are not electrically conductive, are not heated by electric current, and, therefore, are always colder than liquids. As a result of these studies, it was found that from the line of electrode application to the peripheral parts of the vein layers, three zones of morphological changes are formed. Based on these studies, high-tech surgical devices and methods of their use based on the technology of electric welding of living tissues were created for clinical implementation.

Materials and methods. From 2012 to 2019 among 98 operated patients with the postthrombotic syndrome of the lower extremities (PTS) subfascial endoscopic dissection of perforating veins of the legs using high-quality electric welding was performed in 44 (45.0%).

Sowing from the area of the trophic ulcer is carried out repeatedly, and after surgical treatment adjusts depending on the

flora and its sensitivity to antibacterial drugs. In order to prevent infectious drugs in the postoperative period used LEFLOCIN (levofloxacin) - an antibacterial drug with a broad spectrum of action, fluoroquinolone series with pronounced bacterial effects. In particularly severe cases the Ukrainian drug Grandazole was used - a combined antibacterial drug, which includes levofloxacin hemihydrate and ornidazole in vials intravenous of 100 and 200 ml. TIVOREL (4.2 g of arginine hydrochloride + 2.0 g of L-carnitine) was also used in this group. The drug was administered intravenously at a rate of 10 drops per minute, lasting the first 10-15 minutes, then the rate of administration can be increased to 30 drops per minute. The daily dose of the drug is 100 ml of the solution. The positive effect of arginine on vascular endothelium has already been proven [8,9]. In a complex of means of detoxification drugs of domestic production xylate, reosorbilakt, sorbilakt are applied.

The antiseptics of choice for ulcers were Dekasan and betadine, for skin treatment - Gorosten. For conduction anesthesia, preference was given to local anesthetics with rapid initial action and long-term surgical anesthesia. The most popular local anesthetic is domestic bupivacaine (Longocaine).

Results and discussion. The advantages of the implemented method of high-frequency electro-welded endoscopic subfascial dissection of perforating veins over other thermal (primarily coagulation) methods were revealed, namely: thermal damage to surrounding tissues, sensation of soot by patients in exhaled air, lack of smoke in the subfascial space, tissue carbonization, vascular burns, bleeding, etc.

Conclusions.

1. Clinical and experimental study of electric welding has shown its undeniable advantages in subfascial dissection of the perforating veins of the leg.
2. Usage of domestic instrumental and pharmaceutical developments has significantly improved the treatment process.

REFERENCES

1. Альбицкий, А.В. Лечение трофических язв венозной этиологии с точки зрения доказательной медицины / А.В. Альбицкий, В.Ю. Богачев, Е.В. Калинина // Ангиол. и сосуд. хирургия. – 2006. – Т. 12, №2. С. 137-144.
2. Богачев, В.Ю. Новые данные о хронической венозной недостаточности: от эпидемиологии к лечению / В.Ю. Богачев // Ангиол. и сосуд. хирургия. – 2002. – Т. 8, №2. – С. 119-126.
3. Богачев, В.Ю. Флебология сегодня и завтра. Обзор материалов 15-го всемирного конгресса флебологов (IUP) / В.Ю. Богачев // Ангиол. и сосуд. хирургия. – 2007. – Т. 13, №1. – С. 96-99.
4. Волкославская В.Н. Экономические потери народного хозяйства Украины в связи с заболеваемостью венерическими и кожными болезнями / В.Н. Волкославская // Журнал дерматологии и венерологии. – 1999. – № 1. – С. 22–24.
5. Игнатьев И.М. Варикозная болезнь. Современные аспекты проблемы / И.М. Игнатьев, Р.А. Бредихин // Вестник хирургии. – 2004. – Т. 163, № 4. – С. 105–109.
6. Игнатьев И.М. Дуплексное сканирование в диагностике нарушений венозной гемодинамики при посттромботической болезни / И.М. Игнатьев, С.Ю. Ахунова, Р.А. Бредихин // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2002, Т. 8. – № 2. – С. 45–51.
7. Липницкий Е.М. Лечение трофических язв нижних конечностей/ Липницкий Е.М. //Медицина, 2001. – С. 160.
8. Fujita H, Yamabe H, Yokoyama M.Effect of L-arginine administration on myocardial thallium-201 perfusion during exercise in patients with angina pectoris and normal coronary angiograms. J Nucl Cardiol. 2000 Mar-Apr; 7(2):180-4.
9. Sozykin AV, Noeva EA, Balakhonova TV, Pogorelova OA, Men'shikov MI. Effect of L-arginine on platelet aggregation, endothelial function and exercise tolerance in patients with stable angina pectoris Ter.Arkh 2000.-72(8). - :24-7.

CHARACTERISTIC CHANGES IN THE DENSITY AND SHEAR VISCOSITY OF HUMAN BLOOD PLASMA WITH VARYING PROTEIN CONCENTRATION

²A.A. Guslisty, ¹E. Alieva, ¹N. Fudulei, ¹S. Kulikov

²*Municipal non-commercial enterprise «Odessa Regional Medical Centre of Mental Health» by Odessa Regional Rada, Odesa, Ukraine;
aguslisty@gmail.com*

¹*Odessa I.I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine*

Annotation. This work is devoted by investigation of the density and shear viscosity of human blood plasma and their dependence on the concentration of proteins (albumin, γ -globulin, fibrinogen, etc.), which form the human blood plasma composition. The biomaterial concentration is varying by dilution the plasma blood with isotonic aqueous solution. It is shown, that a decrease in the proteins of plasma blood down to 0.91 of its initial value leads to a drastic change in the plasma density and to a change in the character of the concentration dependence of the shear viscosity of blood plasma. These phenomenon is the result of structural transformations, which was caused by oligomerization processes, first of all, by the albumin dimerization. The conclusion is that the introduced blood substitutes should not exceed 10% of the blood mass; otherwise, structural transformations of a biomaterial in blood plasma can be provoked.

Key words: blood plasma, density, shear viscosity, protein concentration, oligomerization of biomolecules.

In our work we focus our attention to the experimental study of the plasma density and its dependence on the concentration of protein. The behavior of plasma shear viscosity was studied too. From all of protein species, albumin makes a significant contribution in change of plasma blood features, which were study (until 65% of all plasma protein component). By that reason, it may play a dominant role in changes of studying plasma properties. It is well known that an albumin molecule in the “dry” state is a “heart-like” complex about 80 Å. When dissolving in water, the rigid configuration of all three domains is destroyed. As a result, albumin molecules transit to quasilinear complexes. The interaction

between the domains of different macromolecules may result the appearance of quasilinear complexes, i.e., dimers or, in the general case, high-order albumin oligomers.

The density of plasma blood was determined by applying the pycnometric method, and the viscosity was measured by making use of Hess differential viscosimeter. We used the relative concentration C/C_0 and viscosity (η/η_0) of the samples, by normalizing their absolute values to their initial values obtained for native plasma. Further changes in the concentration were made by replacing some part of the sample volume with the physiological saline. Every time, the sample volume was reduced by one percent, and then it was brought back to the original value. The shear viscosity measurement by foregoing method was make with relative accuracy 10^{-5} . The masses of the sample, (M_ω) , and the standard, (M_l) were determine on an analytical balance with an accuracy of 0.2 mg. The density of an examined fluid was determined by the formula: $\rho = M_l / M_\omega$

Figures 1 and 2 demonstrate the measurement results for the density and shear viscosity of blood plasma diluted with an isotonic solution:

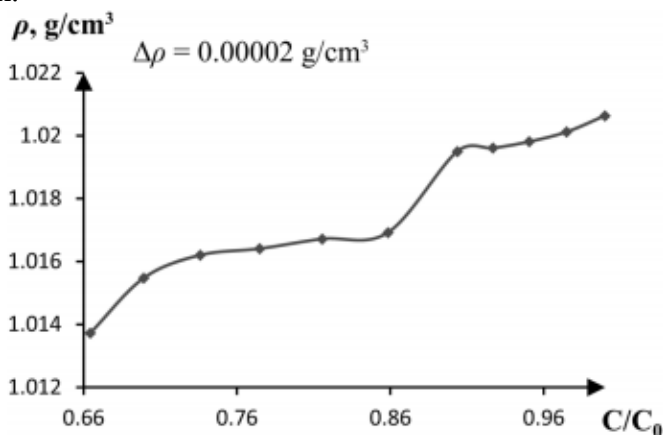


Fig.1. Dependence of the human blood plasma density on the relative concentration of proteins in plasma diluted with an isotonic

NaCl solution immediately after the plasma separation from blood. C_0 is the average protein concentration in human blood [9]

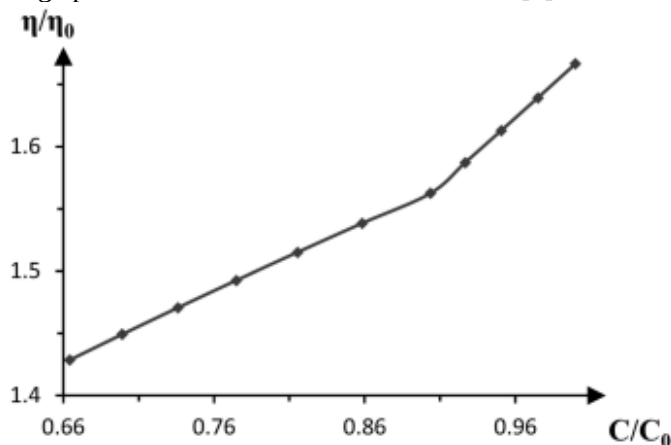


Fig.2. Dependence of the relative viscosity of human blood plasma on the relative concentration of proteins in plasma diluted with an isotonic *NaCl* solution immediately after the plasma separation from blood, η_0 is the shear viscosity of water

As we can see, when relative protein concentration amount to $C/C_0 \approx 0.90$, then blood plasma density and shear viscosity drastically change. Such behavior of plasma blood features in range of this value can be caused by changed of spatial ordering. It is supposed, that spasmodic change be due to superimpose of quasiplanar surfaces albumin macromolecules, which has a “heart-like” medallion form. As a result, the appearance of structure as a rouleau. The interaction between albumin macromolecules in such packing is due to dispersing and electrostatic forces (between heteropolar aminoacid residues) [2].

REFERENCES

1. V.Ya Gotsulskyi, A.A. Guslisty, N.P. Malomuzh, Characteristic changes in the density and shear viscosity of human blood plasma with varying protein concentration Ukr.J.Phys. 65, No. 2 p. 151-156 (2020).
2. L.A. Bulavin, V.Ya. Gotsulskyi, N.P.Malomuzh, A.I.Fisenko The determinant role of water characteristic in formation of basic properties of living matter Ukr. J. Phys. 64, 287 (2020).

ПРОВЕДЕННЯ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ ПАЦІЄНТІВ З РЕНТГЕНОКОНТРАСТНИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ

К.В. Гуменюк, М.Б. Гуменюк, С.І. Крулько

Товариство з обмеженою відповідальністю «Український центр томотерапії», Кропивницький, Україна, k.goptsii@gmail.com

Анотація. При проведенні променевої терапії у пацієнтів з металічними конструкціями, які використовуються під час хірургічного втручання та необхідні для стабілізації відповідних частин тіла, можуть виникати неточності при розрахунку розподілу дози в металі та органах навколо нього. Неточності викликають артефакти, які утворюються під час сканування пацієнта на kVCT. Тому виникла необхідність проаналізувати дози на критичні органи, які знаходяться поблизу металічної конструкції та в самому металі, а також модернізувати криву, яка переводить значення HU в фізичну густину, для отримання більш точного розрахунку дози та використання MVCT під час розробки лікувального плану.

Ключові слова. TomoTherapy Tomo HD, MVCT, kVCT, металоконструкції, treatment planning system, дозовий розподіл, лікувальний план, IVDT крива.

Матеріали та методи. В Товаристві з обмеженою відповідальністю «Український центр томотерапії» (далі – Томоклінік) для проведення променевої терапії пацієнтам з металоконструкціями використовують наступне обладнання:

- передпроменева підготовка пацієнта: kVCT Aquilion LB, CTtrue - MVCT режим сканування радіотерапевтичної установки TomoTherapy TomoHD.

- розробка плану лікування: оконтурювання області опромінення та органів ризику з допомогою ПЗ MIM Maestro, розрахунок плану лікування на системі дозиметричного планування (TPS – treatment planning system) TomoTherapy.

- променева терапія: радіотерапевтична система TomoTherapy TomoHD.

Для проведення розрахунку дози на фантомі з використанням титанової вставки використовували

твердотільний фантом Cheese phantom та титанові скоби в якості вставки.

Результати та обговорення. В даній роботі було проаналізовано розподіл дози в лікувальних планах пацієнтів з металоконструкціями в поперековому відділі хребта. Це пацієнти з саркомою Юінга та злоякісними новоутвореннями нирки з mts в хребет. Саркома Юінга - друга за частотою злоякісна пухлина кісткової тканини, що виникає в дитячому віці, становить від 10 до 15% від загального числа злоякісних новоутворень кісток.

Променева терапія проводиться після хірургічного втручання, в процесі якого використовуються металоконструкції, що необхідні для стабілізації певної ділянки. Використання металевих конструкцій викликає артефакти на КТ зображеннях, створюють проблеми при визначенні мішені і органів ризику, при розрахунку дозиметричного плану і лікуванні пацієнтів.

Для того, щоб розробити план лікування необхідно провести передпроменеву підготовку пацієнта, яка включає в себе сканування пацієнта на комп'ютерному томографі (kVCT) з використанням фіксуючих пристроїв, а також MVCT – це режим сканування пацієнта, який можна провести на радіотерапевтичній системі TomoTherapy Tomo HD [1].

На відміну від зображень kVCT, на яких рентгеноконтрастні включення можуть викликати серйозні артефакти, MVCT зображення практично позбавлені даного недоліку і відносно чітко показують положення і розміри включень та органів. Співставлення двох типів зображень дозволяє бачити чіткі контури металу без артефактів (MVCT), та контури органів поза зоною артефактів (kVCT).

Після отримання зображень за допомогою програмного забезпечення MIM лікар-радіолог (променевий терапевт) оконтурює мішені (GTV, CTV, PTV) і критичні органи. Далі медичні фізики створюють додаткові логічні структури. Також, в даному випадку додатковими структурами є метал і артефакти від металу.

Структура «метал» використовувалася для кращого контролю над розподілом дози в мішені, зниження дози в самому металі, а також зниженням дози на спинний мозок, який є основним критичним органом у випадках опромінення хребта.

В області артефактів (HU і фізична густина в цих областях, отримана на kVCT може відрізнитись від реальної в десятки і сотні разів, що відповідно впливає на точність розрахунку дози) на основі даних MVCT створюються спеціальні структури, що використовувалися для заміни значення щільності в різних тканинах тіла пацієнта. Чим точніші значення густини відповідних органів і тканин підбираються фізиком, тим точнішим буде розрахунок розподілу дози. Даний метод має недоліки – як під час оконтурювання, так і під час обрахунку плану виникає ряд неточностей.

Для того, щоб перевірити, яку реальну дозу отримали органи, існує можливість перерахунку плану з використанням даних MVCT. Для перерахунку дозового розподілу необхідно:

1. Вибрати для сканування всю область PTV (Image-guided radiation therapy (IGRT) проводиться для кожного пацієнта перед лікуванням щоденно за допомогою режиму сканування MVCT на радіотерапевтичній системі Tomotherapy) [2].

2. Співставити положення пацієнта на MVCT (з модернізованою кривою IVDT) з kVCT, яке використовувалося для планування.

3. Завантажити дані зображення в спеціальне ПЗ Planned Adaptive.

4. Перерахувати дозовий розподіл на основі зображень MVCT та порівняти з розподілом на kVCT.

Отримано наступні результати: доза на метал збільшилась до 10%, на PTV та критичні органи середня доза (D_{mean}) зменшилась до 5%, в області заміни густин – доза практично не змінилась. Це свідчить про те, що не лише заміна щільностей впливає на точність розподілу, але й не менш

важливим є розширення та модернізація кривих переводу HU значень в відповідні густини.

Для уникнення неточностей, вказаних вище і перевірки адекватності роботи модернізованої кривої IVDT фізиками ТОВ «УЦТ» було розроблено дозиметричний план для твердотільного фантома з використанням титанової вставки на основі даних MVCT.

В результаті отримали:

$$\frac{D_{meas.}}{D_{calc. point}} * 100\% = 99.7\% \quad (1)$$

$$\frac{D_{meas.}}{D_{calc. mean}} * 100\% = 99.2\% \quad (2)$$

D_{meas} – виміряна доза,

$D_{calc. point}$ – розрахована доза в точці,

$D_{calc. mean}$ – розрахована середня доза

Поміряна доза відрізнялася від розрахованої $\leq 1\%$.

Висновки. При опроміненні пацієнтів з металевими конструкціями для розробки дозиметричних планів можна використовувати kVCT, але з розширеною IVDT (CT to ED, CT calibration curve), яка дозволить вводити більш вірну щільність органів і тканин, дозволяючи зробити точніший розрахунок дози. Для того, щоб уникнути артефактів, неточностей при заміні густин та отримати точніший розподіл дози при розрахунку лікувального плану можна (в деяких випадках і потрібно) використовувати MVCT.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mackie T. R. et al., Image guidance for precise conformal radiotherapy. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. – 2003. – №1. – С. 89–105.
2. Mackie T. R. Tomotherapy: a new concept in the delivery of dynamic conformal radiotherapy / Mackie. // Med. Phys. – 1993. – №6. – С. 1709–1719.

ВАЖЛИВІ АСПЕКТИ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ В ТОМОКЛІНІК З ТОЧКИ ЗОРУ ФІЗИКА

М.Б. Гуменюк, К.В. Гуменюк, С.І. Крулько

*Товариство з обмеженою відповідальністю «Український центр
томотерапії», Кропивницький, Україна, gumenick@gmail.com*

Анотація. Методи IMRT/VMAT (IGRT) – сучасні методи, що забезпечують точну відповідність форми розподілу приписаної дози тривимірним контурам пухлини за рахунок модулювання пучка та контролю інтенсивності випромінювання. Однак, для отримання хороших результатів ці методи вимагають відповідного професіоналізму всіх членів команди, що беруть участь в процесі лікування. Розглянуто певні аспекти в променевій терапії з точки зору медичного фізика, а саме: принципи створення додаткових структур, методи автоматизації при роботі з структурами, особливості апаратів дистанційної променевої терапії та їх переваги залежно від клінічної ситуації та локалізації мішені.

Ключові слова. TomoTherapy TPS, Monaco TPS, MIM Maestro, «логічні» структури, 4DCT, XVI Symmetry, CTrue™ Imaging Technology, Tomo HD, Elekta Synergy.

Матеріали та методи. Для вибору найкращого методу лікування медичному фізику і лікарю-радіологу (променевому терапевту) необхідно розуміти особливості будови та принципи роботи апаратів дистанційної променевої терапії (далі – АДПТ) та відповідно використовувати їх технічні відмінності та переваги, що можуть в тій чи іншій мірі вплинути як на комфорт лікування пацієнта, так і на якість життя та ефект від лікування вцілому.

Розглянуто особливості будови та характеристик АДПТ, наявних в Томоклінік та особливості їх використання залежно від клінічної ситуації.

З метою ознайомлення студентів з процесом планування поверхнево показано стадії створення плану на прикладі використання програмного забезпечення для створення контурів MIM Maestro та системи дозиметричного планування TomoTherapy Treatment Planning System (TPS).

Для розширення можливостей контролю над розподілом доз під час створення планів показано особливості створення додаткових «логічних» структур та підструктур. Необхідність використання даних структур особливо виражена в TomoTherapy TPS, однак і інші системи планування також інколи потребують створення аналогічних структур.

Показано елементи автоматизації процесу створення планів з використанням спеціальних шаблонів, що спрощує роботу медичного фізика в стандартних клінічних ситуаціях.

Результати та обговорення. Розглянуто певні клінічні випадки з демонстрацією результатів обчислень та розподілу доз.

На базі Томоклінік для проведення променевої терапії пацієнтів використовуються два лінійні прискорювачі, які між собою відрізняються способом доставки дози. Вибір, на якому апараті буде проведено лікування, залежить від локалізації та складності методу.

В силу відмінностей в будові апарати не є 100 відсотково взаємозамінними, однак для переважної частини локалізацій обидва дають хороші результати і водночас розширюють можливості Центру в цілому.

Томо HD – довгі, складні мішені, високі градієнти і техніки Simultaneous Integrated Boost (SIB – коли за один план на різні участки підводяться різні дози) та ті локалізації, де є висока необхідність захистити критичні органи H&N, Brain, Spine тощо [1].

У випадку використання радіотерапевтичної системи TomoTherapy, розподіл дози в мішені характеризується високою однорідністю та конформністю [2]. Критичні органи максимально захищені навіть у тих випадках, коли вони знаходяться в безпосередній близькості від мішені. Головною особливістю планів TomoTherapy є високий градієнт дози навколо мішені та можливість контролювати максимальні дози в тих областях, де частина або всі критичні органи мають спільні ділянки з мішенню, що дає можливість забезпечити хороше опромінення PTV та максимізувати в порівнянні з

іншими методами захист органів, що знаходяться в зоні ризику. Доступна можливість реконструкції фактичної дози на основі даних сканування системи STtrue™ Imaging Technology, що є необхідною умовою при адаптивній радіотерапії.

Elekta Synergy з Agility MLC дає можливість більш швидко та якісно опромінювати більшість локалізацій. Також вагомою перевагою є використання систем контролю дихання Symmetry в реальному часі. В комбінації Monaco TPS з 4DCT технологією, що впроваджуються в практику в Центрі, використання Elekta Synergy з системою XVI Symmetry забезпечує високий захист здорових тканин при опроміненні внутрішніх мішеней легень, що залежать від дихання.

Висновки на базі Томоклінік використовується сучасне обладнання та методики, що дають можливість забезпечити пацієнту максимально якісне лікування. Критичні органи та структури максимально захищаються, що забезпечує хорошу якість життя більшості пацієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Tomotherapy – a different way of dose delivery in radiotherapy /Т. Piotrowski, М. Skórska, А. Jodda, R. Ryczkowski. // Contemp Oncol (Pozn). – 2012. – №1. – С. 16–25.
- 2 Paddick I. A simple scoring ratio to index the conformity of Conformity index / Paddick. // J. Neurosurg. – 2000. – №3. – С. 219-222.

ВПЛИВ ІТЕРПОЛЯЦІЙНИХ ДОПОВНЕНЬ СИГНАЛІВ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОГО ВІДГУКУ У ГРАДІЄНТНОМУ К – ПРОСТОРІ НА ІНФОРМАТИВНІСТЬ

**Ю.О. Кияшко, А.В. Нетреба, О.О. Нагуляк,
С.П. Радченко, Р.В. Погорєлов**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
*vriy.kyashko@gmail.com*

Магнітно – резонансна томографія на сьогоднішній день вважається одним з найкращих методів неінвазивного

дослідження внутрішньої будови, структури тіла людини. Використання типових протоколів вимірювання даних та відновлення не завжди дозволяє проводити адаптовані дослідження для певних вимог по часу обстеження чи деталізації аналізу параметрів певних частин просторових областей.

Робота присвячена вивченню можливості отримати більш інформативні дані з томограми меншої інформативності та вивченню можливості відновлення даних томографічного зображення при наявності пропусків при збиранні даних, зокрема відсутності сигналу в певній точці k-простору, потрібних для побудови зображення. У роботі використано реальне томографічне зображення голови людини. За допомогою розробленого програмного забезпечення реалізована процедура пропусків вимірювань та реконструкції. Розроблена методика заповнення даних пропуску вимірювань інтерпольованими даними. Використано для інтерполяції дані з точок, які знаходяться в околі точки, де пропущено вимірювання. Для відновлення точки, обиралися дані трьох сусідніх найближчих точок в k-просторі. Даний підхід відновлення втраченого виміру підходить також для зменшення впливу артефактів та для пришвидшення часу збирання даних томографічного зображення.

Для моделювання був прийнятий сигнал відгуку, який описується виразом 1.[1]

$$S(k_{xl}, k_{ym}) = S_0 \sum_{a,b} \rho(x_a, y_b) \cdot e^{i(k_{xl}x_a + k_{ym}y_b)} \quad (1)$$

де S_0 константа, $K_{x,y} = \gamma G_{x,y} \tau_{12}$ (γ - гіромагнітне відношення; $G_{x,y}$ - поперечні градієнти магнітних полів; τ_{12} - імпульсні часові характеристики).

Для оцінювання якості відновленого зображення та порівняння результатів використано як кількісний параметр коефіцієнт кореляції

$$k = \frac{\sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} (x_{i,j} - \bar{x}) \times (y_{i,j} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} (x_{i,j} - \bar{x})^2 \times \sum_{i=0}^{255} \sum_{j=0}^{255} (y_{i,j} - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

де k – коефіцієнт кореляції, $x_{i,j}$ - яскравість кожного пікселя початкового зображення, $y_{i,j}$ - яскравість кожного пікселя реконструйованого зображення, $\bar{y}$ - середнє значення яскравості пікселів реконструйованого зображення, $\bar{x}$ - середнє значення яскравості пікселів початкового зображення [2].

Алгоритм відновлення зображення був протестований на різних типах томографічних зображень (зважених за густиною ρ та T_1 , T_2 зважених зображень). Нижче наведені результати для T_2 зваженого зображення. Результати кореляції обрхованої за формулою 2 наведені в Таб. 1 [3].

Таблиця 1.

Залежність коефіцієнту кореляції від кількості відновлених точок даних

Процент відновлених точок (%)	К 30%	К 20%	К 10%	К 7,7 %	К 7,7 (нерівномірна неоднорідність)
T2	0.9067	0.9448	0.9736	0.9778	0.9901

Досліджено вплив змін параметрів у різних зонах зображення на якість самого зображення. Зображення було поділено на 7 різних зон і в кожній з зон створювався свій відсоток неоднорідності. При створенні неоднорідності в зонах сигналу було відновлено 7.7 % точок, такий самий відсоток точок було відтворено і при однорідній неоднорідності, що й наведено в таблиці 1 та на Рис. 1.

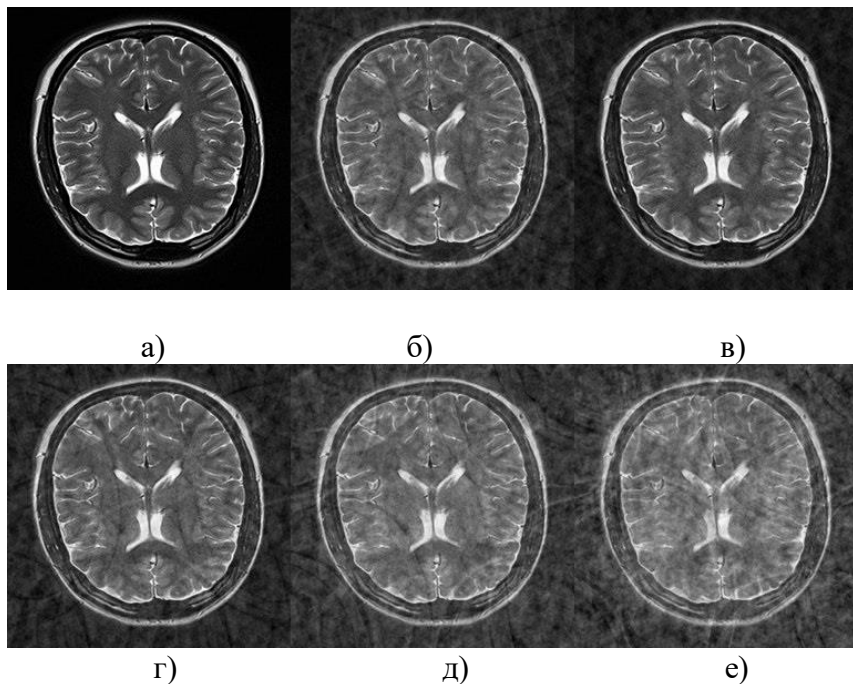


Рис. 1. а) візуальне відображення оригіналу зображення перерізу головного мозку T₂ зваженого зображення, б) 7,7% відновлених точок, які рівномірно розподілені по k – простору, в) 7,7% відновлених точок, які розподілені в 7 зонах сигналу з різним відсотком неповноти даних, г) відновлене зображення при 10% відновлених точок зображення, д) при 20%, е) при 30%.

Як можна помітити з табл. 1 та рис. 1 для T₂ зваженого зображення має значення в якій саме частині k-простору ми відновлюємо точки. Важливими є визначення залежностей розташування зон у k-простору, для яких мають місце неповністю проведені вимірювання на якість відновленого зображення. Рис. 1 демонструє, що існує можливість відновлення даних при значній кількості відновлених точок. Навіть при 30 % відновлених точок зберігається значний відсоток кореляції (90%) хоча візуально зображення виглядає досить спотвореним (рисуюнок 1 е).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. S. P. M. Crijns, B. W. Raaymakers and J. J. W. Lagendijk, Real-time correction of magnetic field in homogeneity-induced image distortions for MRI-guided conventional and proton radiotherapy, Phys. Med.Biol. 56, 289 (2010).
2. Gavriluk V.S., Netreba, A.V., Radchenko, S.P., MR image reconstruction from data acquired on an irregular k-space trajectory, - IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology, 183-186 (2016).
3. A.V Netreba, Y.O. Kyiashko, A. Komarov, Reconstruction of the mr-images by partially interpolated signal data, 61st International Conference for Students of Physics and Natural Sciences, 243 (2018).

ПОРІВНЯННЯ ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ПАЦІЄНТА ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО РЕНТГЕНІВСЬКОГО ТОМОСИНТЕЗУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ОРГАНІВ ГРУДНОЇ ПОРОЖНИНИ

**О.С. Мірошниченко^{1*}, С.І. Мірошниченко²,
А.Н. Невгасимий², Ю.В. Хобта²**

¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

² НВО «Телеоптика», Київської обл., Україна,

o.miroshnychenko@nau.edu.ua

Анотація. Виконано порівняння дозового навантаження на пацієнта при дослідженні грудної порожнини для вертикального та горизонтального цифрового рентгенівського томосинтезу з рентгенівським коліматором. Проведений аналіз потрапляння рентгенівського випромінювання на зони щитоподібної залози та шлунково-кишкового тракту під час реальних досліджень вертикального та горизонтального томосинтезу й порівняння отриманих результатів.

Ключові слова: цифровий рентгенівський томосинтез, відносно дозове навантаження, рентгенівська трубка, рентгенівський цифровий приймач.

2020 рік позначився розповсюдженням вірусу SARS-CoV-2, який на момент написання цієї статті був

діагностований у більш як 29 млн. людей і від якого померло більше 900 тис. В більшості випадків це захворювання проходить без ускладнень і, навіть, безсимптомно, проте у випадку середнього та важкого перебігу хвороби ускладнення йдуть на легені та серцево-судинну систему. Через це збільшилося навантаження не тільки на лабораторії, але і на рентгенівські кабінети. Рентгенівська діагностика дозволяє вчасно виявити та запобігти подальшим серйозним ускладненням розвитку пневмонії, викликаной COVID-19.

На сьогоднішній день у медичній практиці використовуються 3 рентгенівські методи діагностики органів грудної порожнини (ОГП): цифрова рентгенографія (ЦР), комп'ютерна томографія (КТ) та цифровий рентгенівський томосинтез (ЦРТ). ЦРТ це новий 3D метод, що швидко розвивається. За простотою побудови він близький до цифрової рентгенографії, а за ефективністю обстеження наближається до комп'ютерної томографії. Основною перевагою режиму цифрового томосинтезу є те, що він може бути встановлений на базовій рентгенографічній системі і використовуватись у приймальних відділеннях більшості клінічних установ вторинної ланки [1]. У таблиці 1 наведено деякі експлуатаційні параметри ЦР, ЦРТ та КТ для діагностики патологій ОГП.

Табл.1.

Експлуатаційні параметри ЦР, ЦРТ та КТ для
діагностики патологій ОГП

Тип системи	Латеральна розрізняльна здатність, п.л./мм	Розрізняльна здатність у глибину, п.л./мм	Доза опромінення, мЗв	Можливість побудови 3D зображення	Чутливість
ЦР	До 5,0	-	До 0,1	-	0,4
КТ	До 1,0	До 1,0	До 4	+	0,98
ЦРТ	До 2,0	До 1,6	До 0,4	+	0,9

На сьогоднішній день існує обмеження дози опромінення для скринінгових методів для населення на рівні 1 мЗв на рік. Цифрова рентгенографія та цифровий рентгенівський томосинтез відповідають цьому обмеженню,

проте в клінічній практиці при використанні радіаційних методів діагностики користуються принципом ALARA (as low as reasonably achivable), що вимагає за можливості зменшувати дозу опромінення, якщо це не впливає на якість постановки діагнозу.

Було проаналізовано, що підчас процедури діагностики за допомогою цифрового рентгенівського вертикального томосинтезу (Рис.1.а) при зміщенні рентгенівської трубки щодо приймача для отримання повної необхідної діагностичної інформації опромінюються наступні органи: органи кишково-шлункового тракту (кишківник, печінка, шлунок), легені та щитоподібна залоза. Опромінення кожного з цих органів несе свій вклад до відносного опромінення пацієнта. Це відносне опромінення вираховується таким чином:

$$H_{ef} = k_{щз} \cdot r_{щз} \cdot W_{щз} \cdot H_{щз} + k_{киш} \cdot r_{киш} \cdot W_{киш} \cdot H_{киш} + k_{печ} \cdot r_{печ} \cdot W_{печ} \cdot H_{печ} + k_{шл} \cdot r_{шл} \cdot W_{шл} \cdot H_{шл} + k_{лег} \cdot r_{лег} \cdot W_{лег} \cdot H_{лег},$$

де $W_{щз}, W_{киш}, W_{печ}, W_{шл}, W_{лег}$ – масові коефіцієнти опромінення щитоподібної залози, кишківника, печінки, шлунку та легенів відповідно;

$H_{щз}, H_{киш}, H_{печ}, H_{шл}, H_{лег}$ – дози опромінення щитоподібної залози, кишківника, печінки, шлунку та легенів відповідно;

$k_{щз}, k_{киш}, k_{печ}, k_{шл}, k_{лег}$ – коефіцієнти, що залежать від об'ємної частки щитоподібної залози, кишківника, печінки, шлунку та легенів відповідно, що потрапили під випромінення;

$r_{щз}, r_{киш}, r_{печ}, r_{шл}, r_{лег}$ – коефіцієнт, який залежить від кількості проєкцій на які потрапило зображення щитоподібної залози, кишківника, печінки, шлунку та легенів відповідно, тобто опосередковано від часу опромінення.

При виконанні процедури горизонтального томосинтезу (Рис.1. б, Рис.1. в) можна використовувати коліматор таким чином, щоб зменшити переопромінення органів, що не входять в зону інтересу дослідження.

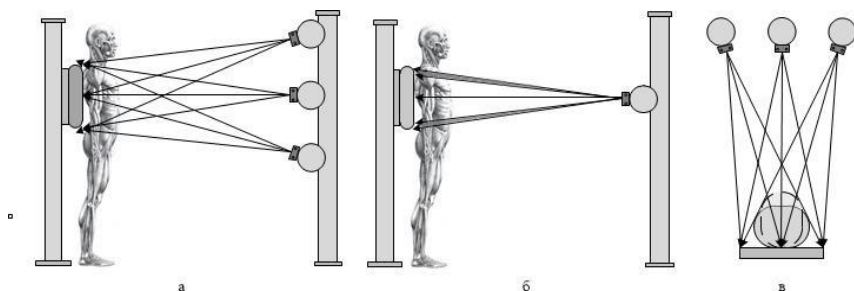


Рис.1. Принципові схеми проведення томосинтезу ОГП а – вертикальний, б і в – горизонтальний

Було розглянуто 20 досліджень грудної порожнини за допомогою вертикального томосинтезу. Щитоподібна залоза частково потрапляла у зону опромінення у 14 випадках (70%), кишківник у 16 випадках (80), шлунок і печінка у 20 випадках (100). При горизонтальному томосинтезі, навіть при дуже вдалій колімації шлунок та кишківник також частково потрапляють у зону дослідження. В результаті досліджень і розрахунків було виявлено, що при використанні горизонтального томосинтезу порівняно з середніми показниками вертикального томосинтезу можна у 1.74 рази зменшити дозу опромінення пацієнта за допомогою колімації випромінювання рентгенівської трубки.

Висновки. Під час виконання досліджень було зроблено такі висновки:

- при виконанні вертикального томосинтезу для зменшення дози опромінення бажано проводити дослідження таким чином, щоб переопромінення проводилось більше у сторону голови пацієнта;

- при використанні горизонтального томосинтезу в середньому у 1.74 рази зменшується доза опромінення пацієнта за допомогою колімації випромінювання рентгенівської трубки порівняно з вертикальним томосинтезом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мирошніченко С.И., Урина Л.К. Томосинтез на базовой

ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЩІЛЬНОСТІ ТКАНИН ПРИ ТОМОСИНТЕЗІ

С.І. Мірошніченко^{1*}, О.С. Мірошніченко²,

¹ НВО «Телеоптика, с.Підгірці, Київської обл., Україна

² Національний авіаційний університет, Київ, Україна,

* s.miroshnichenko@teleoptic-pra.com.ua

Анотація. Підкреслена доцільність використання томосинтезу при скринінгових обстеженнях населення з метою підвищення діагностичної чутливості, а також оптимізації дозових навантажень. Запропоновано використання фантому для синхронного сканування тканин при томосинтезі, як метод для перерахунку в одиниці Хаунсфільдів. Наведені результати експериментів.

Ключові слова: цифровий рентгенівський томосинтез, дозове навантаження, комп'ютерна томографія, рентгенівський цифровий приймач.

Остеопороз у людей похилого віку є найпоширенішим захворюванням і, за даними експертів ВООЗ, посідає 4-е місце після серцево-судинних, онкологічних захворювань і цукрового діабету. Стан кісткової тканини залежить від багатьох чинників: мінеральної щільності кісткової тканини, її метаболізму, мікроархітектури та інших параметрів. Золотим стандартом досліджень остеопорозу є комп'ютерна томографія (КТ). Але застосування КТ супроводжується значним дозовим навантаженням, у середньому 3-4 мЗв. Доза опромінення при цифровому рентгенівському томосинтезі (ЦРТ) на порядок менша ніж для КТ [1].

Окрім існування чітко визначеного рівня дозового навантаження для скринінгу населення, що дорівнює 1 мЗв на рік, радіологи використовують також так званий принцип ALARA (as low as reasonably achievable). Цей принцип вимагає, щоб дозове навантаження на пацієнта було зменшене на

стільки, на скільки це можливо при достатньому рівні якості зображення для постановки діагнозу. Рентгенівський цифровий томосинтез відповідає цим вимогам і має всі підстави вважатись альтернативою КТ.

На жаль важко провести порівняння характеристик зображень тканин при дослідженнях ЦРТ та КТ, бо вони фіксуються у різних одиницях.

Фантом призначений для вимірювання щільності кісткової тканини на зображеннях рентгенівського томосинтезу та комп'ютерної томографії методом синхронного сканування. Дозволяє перераховувати параметр «sigma» з одиниць DT що використовується для ЦРТ в одиниці Хаунсфільда (HU)

Конструктивно фантом складається з циліндрів з певною референтною щільністю. Циліндри послідовно розміщені всередині зовнішнього пластикового пакування (рис.1). фантом прикріплено до алюмінієвої пластини товщиною 4 мм – тримача зі затискачем на кінці, що дозволяє встановити фантом в поле рентгенівського приймача для синхронного сканування підчас дослідження (рис.1)

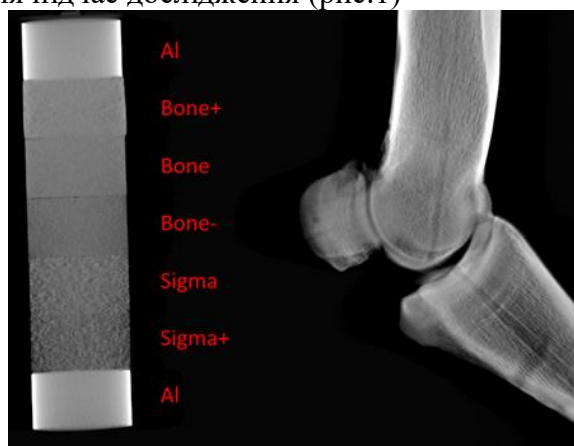


Рис.1. Зображення зрізу томосинтезу фантому та кісткової тканини підчас синхронне сканування

Було проведено наступні дослідження.

На КТ за заданої напруги на трубі (наприклад 100 kV) і каліброваних за повітрям $HU_{air} = -1000$ и воді $HU_w = 0$ параметрах реконструкції виконують вимірювання щільності циліндрів фантома $HUA11$, $HUB+$, HUB , $HUB-$, HUs , $HUs+$ та $HUA12$.

На апараті з томосинтезом було зроблено синхронне сканування кісткових тканин у присутності фантому. В результаті було отримано значення рентгенівської щільності циліндрів фантому за даної реалізації томосинтезу: $DTA11$, $DTB+$, DTB , $DTB-$, DTs , $DTs+$ и $DTA12$.

Отримані дані за обома дослідженнями були занесені до таблиці Excel і автоматично екстрапольовані у лінійну модель (рис.2).

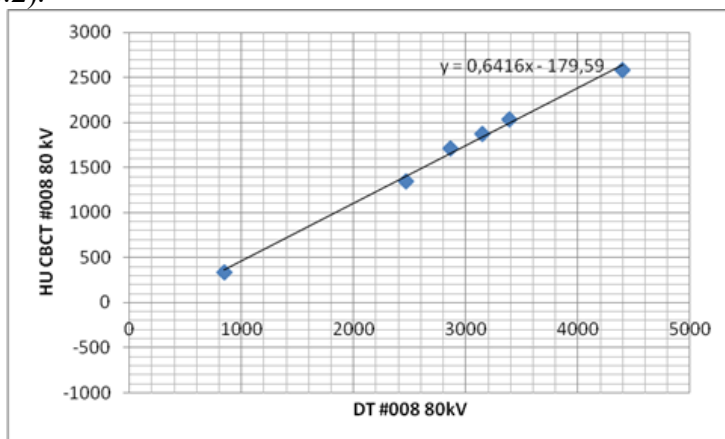


Рис.2. Лінійна модель перерахунку DT у HU за заданих режимів сканування ЦРТ та КТ

Наведені на рис.2. результати вимірювання і автоматично розрахована лінійна модель демонструють хорошу кореляцію результатів вимірювань на КТ в HU одиницях і на ЦРТ в DT одиницях. В табл.1 наведені результати вимірювань параметрів DT і HU і розрахунок параметру HU від DT за моделлю та точність моделі.

Табл. 1.

Результати вимірювань параметрів зображень фантому за допомогою ЦРТ (DT) та КТ (HU) і розрахунок параметру HU за моделлю та точність моделі

Phantom#008	DTi	HUi	Расчет HUi	d, %
Bone+	4400	2580	2643	+2,4
Bone	3390	2037	1995	-2,0
Bone-	3147	1875	1840	-1,9
Sigma	2861	1716	1656	-3,5
Sigma+	2463	1350	1401	+3,8
PMMA	845	340	363	+6,6

Діапазон точності моделі коливається від – 3,5% до +6,6%, що задовольняє вимогам задачі.

Висновки. Використання фантому для дослідження кісткових тканин дозволяє:

- Перераховувати результати вимірювань щільності і сігми томосинтезу в одиницях Хаунсфілда HU для заданих режимів сканування на КТ;
- Перераховувати результати вимірювань щільності і сігми томосинтезу в одиницях Хаунсфілда HU для заданих режимів сканування на томосинтезі;
- Отримана лінійна модель перерахунку DT для томосинтезу у HU на КТ для обраного режиму сканування. При зміні режиму сканування лінійна модель буде мати інші параметри;
- Потенційно вимірювати мінеральну щільність кісткової тканини і «sigma» в г/см^3 .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шармазанова О. П., Бортний М. О., Арсенідзе Т. О., Волковська О. В. Променева діагностика остеопорозу: можливості методів // [Радіологічний вісник](#). - 2017. - № 1-2. - С. 109-111.

FEATURES OF ELASTIC PROPERTIES OF NANO COMPOSITES MULTIWALLED CARBON NANOTUBES AND POLYVINYL CHLORIDE, POLYETHYLENE, POROUS POLYSTYRENE

A.P. Onanko*, M.P. Kulish, O.P. Dmytrenko, D.V. Charnyi,
Y.A. Onanko, T.M. Pinchuk-Rugal, M.A. Alieksandrov,
O.L. Pavlenko, T.O. Busko, O.M. Rozhkovskiy,
L.I. Kurochka, O.I. Polovina, P.P. Ilyin

Taras Shevchenko National University of Kyiv, onanko@i.ua

Experiment methodology. Experimental methods were used: metallography optical supervision of microstructure by means of the microscope «LOMO MVT», atomic-force microscopy (AFM) with high resolution. Ultrasonic (US) pulse-phase method for determining the velocities of elastic waves using USMV-LETI, modernized USMV-KNU, computerized KERN-SG in fig. 1 measurement equipments, US invariant-polarization method for determining effective acoustic μ_{11} and elastic constants C_{ijkl} were used [1].



Fig. 1. The ultrasound device KERN-SG of elastic waves velocities measuring

The concentration dependence of the quasilongitudinal elastic waves velocities $V_{\parallel}(C)$ in PVC $(C_2H_3Cl)_n$ + multiwalled carbon nanotubes (MCNT) is demonstrated in fig. 2.

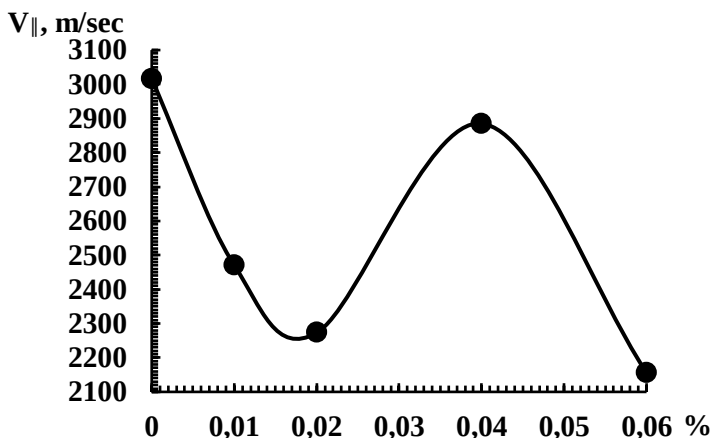


Fig. 2. The concentration dependence of the quasilongitudinal elastic waves velocities $V_{||}(C)$ in PVC $(C_2H_3Cl)_n + MCNT$

Conclusions.

1. As the result of the mechanical study the presence of the strong effect between low-density polyethylene $(C_2H_4)_n$, polyvinyl chloride $(C_2H_3Cl)_n$ and methylene dark blue squaring dyes (CH_2-) DBSQ was confirmed.
2. The increase of the nano composite crystalline degree at growth of multiwalled carbon nanotubes concentration filling with the nanotubes of matrix results in the decline of content of well-organized phase.
3. The measuring of internal friction background Q^{-1}_0 after different heat treatments gives information about the changing of the fields of the heat tension σ_i after the solution satiation and before.

REFERENCES

1. Onanko A.P., Kulish M.P., Onanko Y.A. Inelastic-elastic properties of SiO_2 , $SiO_2 + TiO_2 + ZrO_2$ // [Conference Proceedings](#) of 2012 IEEE international conference on oxide materials for electronic engineering (OMEE), Lviv, Ukraine. – 2012. – P. 81-82 (2012). DOI: [10.1109/OMEE.2012.6464790](https://doi.org/10.1109/OMEE.2012.6464790).

SPECIFICITIES OF CONCENTRATION DEPENDENCES OF SHEAR, ELASTIC MODULUS OF IRRADIATION NANO COMPOSITES MULTIWALLED CARBON NANOTUBES AND POLYETHYLENE, POLYVINYL CHLORIDE, FOAM POLYSTYRENE

A.P. Onanko*, M.P. Kulish, O.P. Dmytrenko, D.V. Charnyi,
Y.A. Onanko, T.M. Pinchuk-Rugal, M.A. Alieksandrov
Taras Shevchenko National University of Kyiv, onanko@i.ua

Experimental results and discussion. The concentration dependences of the elastic modulus $E(C)$, shear module $G(C)$ of nano composite low-density polyethylene (C_2H_4)_n + methylene dark blue squaring dyes (CH_2 -) DBSQ at initial state [1] and after electron irradiation with dose $D_{e-} \approx 10$ Mrad and energy $E_{e-} \approx 2,0$ Mev are demonstrated in fig. 1 and fig. 2.

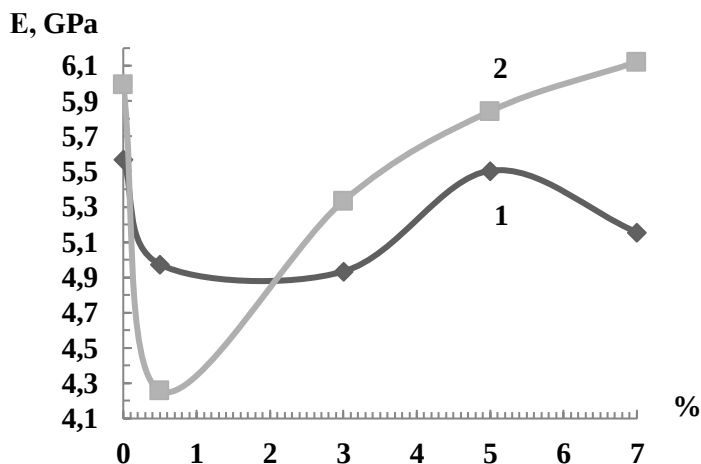


Fig. 1. The concentration dependence of elastic modulus $E(C)$ of nano composite low-density polyethylene + methylene dark blue squaring dyes at initial state (1) and after electron irradiation (2).

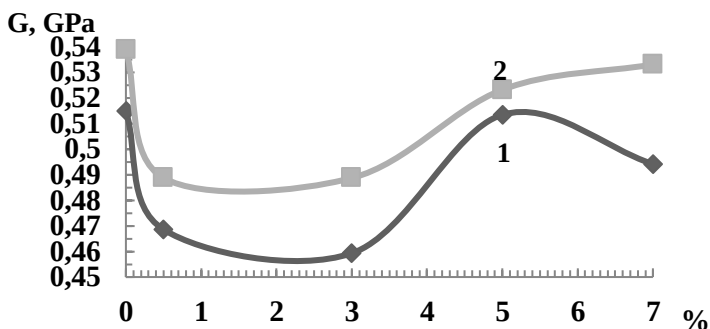


Fig. 2. The concentration dependence of shear modulus $G(C)$ of nanocomposite low-density polyethylene + methylene dark blue squaring dyes at initial state (1) and after electron irradiation (2).

Conclusions.

1. The large absolute value of the shear modulus $G(C)$, the elastic modulus $E(C)$ of nano composite polyvinyl chloride $(C_2H_3Cl)_n$ + and methylene dark blue squaring dyes $(CH_2)_n$ DBSQ indicate about the significant interaction with maximum at $C_0 \approx 5\%$.
2. As the result of the mechanical study, the presence of a strong effect between low-density polyethylene $(C_2H_4)_n$, polyvinyl chloride $(C_2H_3Cl)_n$ and multiwalled carbon nanotubes was confirmed.
3. The large absolute value of the elastic modulus E , the shear modulus G of nano composite polyvinyl chloride $(C_2H_3Cl)_n$ + and multiwalled carbon nanotubes indicate about the significant interaction with maximum at $C_0 \approx 0,04\%$.

REFERENCES

1. Onanko A.P., [Charnyi](#) D.V., [Onanko](#) Y.A., [Kulish](#) M.P. etc. Inelastic, elastic characteristics of SiO_2 , porous polystyrene and automated system // [Conference Proceedings](#) of 18 [Geoinformatics: theoretical and applied aspects](#). – 2019. – P. 1-5 (2019). DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201902110>.

РАДІАЦІЙНА СТИМУЛЯЦІЯ НАКОПИЧЕННЯ ВТОРИННИХ МЕТАБОЛІТІВ У СИРОВИНІ ШАВЛІЇ ЛІКАРСЬКОЇ ТА РОЗТОРОПШІ ПЛЯМИСТОЇ

**С.А. Пчеловська*, С.В. Літвінов, Ю.В. Шиліна, В.В. Жук,
К.В. Листван, А.Г. Салівон, Л.В. Тонкаль**

*Інститут клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, Київ,
Україна, +380988129289, svetapchel@gmail.com*

Анотація. Багаторічні дослідження впливу сублетальних доз передпосівного рідкоіонізуючого опромінення насіння продемонстрували придатність методу радіаційної стимуляції для підвищення вмісту фармацевтично цінних вторинних метаболітів у лікарській сировині низки поширених в Україні лікарських рослин. Метою роботи була оцінка ефективності даної технології щодо насіння шавлії лікарської (*Salvia officinalis* L.) та розторопші плямистої (*Silybum marianum* L.). Визначено дози передпосівного рідкоіонізуючого опромінення насіння, які стимулюють як приріст біомаси лікарської сировини, так і накопичення у ній вторинних метаболітів. Для шавлії лікарської такими дозами є 5 Гр і 20 Гр, для розторопші плямистої – 10 Гр та 20 Гр. Показано, що підвищення вмісту флавоноїдів і фенолів у лікарській сировині є надійним та відтворюваним маркером стимуляції накопичення розмаринової кислоти у листках шавлії лікарської.

Ключові слова: радіаційна стимуляція, *Salvia officinalis*, *Silybum marianum*, розмаринова кислота, силібінін.

Питання модифікації процесів вторинного метаболізму у лікарських рослинах після впливу іонізуючої радіації є актуальним та перспективним з огляду на зручність використання технології передпосівного рідкоіонізуючого опромінення насіння лікарських рослин. В ході попередніх досліджень було продемонстровано стимулюючий вплив сублетальних доз передпосівного опромінення насіння низки лікарських рослин на вихід речовин фенольної природи у водно-етанольні екстракти [1-3]. На основі отриманих даних

було запропоновано радіаційну біотехнологію підвищення вмісту фенолів та флавоноїдів у водно-етанольних екстрактах з лікарської сировини ромашки лікарської та звіробою продірявленого [4]. У даній роботі представлено результати дослідження впливу експериментально підібраних доз рідкоіонізуючого опромінення насіння шавлії лікарської та розторопші плямистої на вміст у лікарській сировині фенолів, флавоноїдів, розмаринової кислоти та силібініну.

Матеріали і методи. Екстракцію суми флавоноїдів та фенолів здійснювали мацерацією наважки подрібненого матеріалу 70 % етанолом у кількісному співвідношенні 1:100 при 24 °С протягом 72 год. Отриманий екстракт фільтрували через ватний фільтр, за необхідності доводили до початкового об'єму 70 % етанолом і центрифугували (6 т.о., 40 хв.) [5]. Кількісну оцінку вмісту вторинних метаболітів у екстрактах визначали шляхом вимірювання оптичної густини комплексу флавоноїдів і хлориду алюмінію [6].

Дослідження вмісту фенольних сполук у екстрактах здійснювали спектрофотометрично за допомогою реакції з реактивом Фоліна-Чокальтеу [7]. Для визначення вмісту силібініну в шроті насіння розторопші 30 мг насіння подрібнювали та гомогенізували з піском, додавали 5 мл 96 % етанолу та настоювали в термостаті протягом 6 годин при температурі 80°С. Потім охолоджували, центрифугували 15 хв при 7000 об/хв. Від отриманого екстракту відбирали 0,1 мл, додавали 2,4 мл 96 % етанолу та вимірювали оптичну густину за довжини хвилі 289 нм проти чистого 96 % етанолу. Вміст флаволігнанів визначали у % в перерахунку на силібінін. Також було проведено мікроскопічне дослідження локалізації включень ефірних олій у листках рослин шавлії лікарської.

Результати та обговорення. На рис. 1 представлена дозова залежність вмісту фенолів, флавоноїдів та розмаринової кислоти у водно-етанольних екстрактах з лікарської сировини шавлії лікарської, вирощеної з насіння, яке піддавали дії опромінення. Отримана залежність демонструє збільшення вмісту флавоноїдів та розмаринової

кислоти в екстрактах за дії всіх доз передпосівного опромінення. Вміст фенольних сполук у водно-етанольних екстрактах із листків шавлії лікарської також перевищував контрольні значення, за винятком варіанту з передпосівним опроміненням у дозі 25 Гр. Дозова залежність виходу розмаринової кислоти з лікарської сировини шавлії лікарської корелювала зі зміною вмісту фенолів ($r = 0,78$, $p < 0,05$) і флавоноїдів ($r = 0,79$, $p < 0,05$). Отже, підвищення вмісту у сировині шавлії лікарської поліфенолів та флавоноїдів можна використовувати в якості маркеру радіаційної стимуляції синтезу розмаринової кислоти.

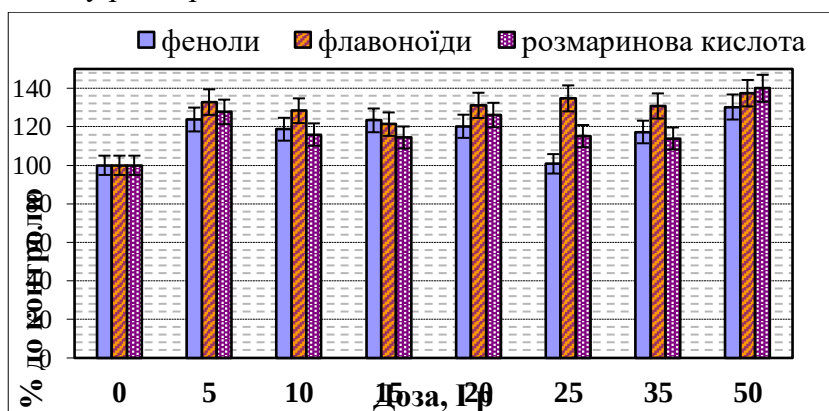


Рис. 1. Вміст фенолів, флавоноїдів та розмаринової кислоти у водно-етанольних екстрактах з листків шавлії лікарської, вирощеної з опроміненого насіння

Дані мікроскопічних досліджень показують, що у листках рослин шавлії лікарської, вирощених із насіння, яке піддавали передпосівному опроміненню, спостерігається збільшення кількості включень ефірної олії в порівнянні із контролем за всіх застосованих доз. Найбільш відтворюване та суттєве збільшення кількості краплинок ефірної олії в листках шавлії виявлено для доз передпосівного рентгеновського опромінення насіння 5 Гр, 20 Гр та 50 Гр. За дії тих самих доз зростає і вміст розмаринової кислоти в екстрактах у перерахунку на одиницю маси лікарської сировини. З урахуванням показника стимуляції збільшення біомаси,

загальний стимулюючий вплив мали дози передпосівного опромінення 5 Гр та 20 Гр. Таким чином, можна очікувати збільшення загального виходу ефірної олії із листків рослин шавлії лікарської при застосуванні пропонованого методу – передпосівного опромінення насіння рідкоіонізуючою радіацією (рентгенівським або γ -опроміненням) у стимулюючих дозах.

Визначення вмісту силібініну у шроті насіння розторопші, вирощеної з опроміненого в дозовому інтервалі 5-25 Гр насіння, показало стимулюючий вплив доз 5 Гр, 10 Гр, 20 Гр. Водночас, доза 5 Гр не є стимулюючою щодо збільшення маси лікарської сировини.

Підсумовуючи усі отримані результати, можна рекомендувати використання для передпосівного опромінення розторопші плямистої доз рідкоіонізуючої радіації 10 Гр та 20 Гр, для шавлії лікарської – 5 Гр та 20 Гр.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pchelovska S.A., Litvinov S.V., Shylyna Yu.V., Lystvan K.V., Zhuk V.V., Sokolova D.O., Tonkal L.V., Salivon A.H., Nesterenko O.H. Vplyv передпосівного опромінення насіння ромашки лікарської на накопичення флавоноїдів. // Фактори експериментальної еволюції організмів: зб.наук.пр. – К.: Укр. Т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2018. – Vol. 22. – Р. 311-317. [in Ukrainian] / Пчеловська С.А., Літвінов С.В., Шиліна Ю.В., Листван К.В., Жук В.В., Соколова Д.О., Тонкаль Л.В., Салівон А.Г., Нестеренко О.Г. Вплив передпосівного опромінення насіння ромашки лікарської на накопичення флавоноїдів. // Фактори експериментальної еволюції організмів: зб.наук.пр. – К.: Укр. Т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2018. – Т. 22. – С. 311-317. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v22.967>
2. Salivon A.H., Lystvan K.V., Litvinov S.V., Pchelovska S.A., Shylyna Yu.V., Zhuk V.V., Tonkal L.V. Vyznachennia vplyvu riznykh doz передпосівного опромінення насіння на вміст флавоноїдів та фенолів у лікарській сировині звіробою звичайного // Фактори експериментальної еволюції організмів Збірник наукових праць. – Київ, 2019. – Vol. 25. – Р. 310-315. [in Ukrainian] / Салівон А.Г., Листван К.В., Літвінов С.В., Пчеловська С.А., Шиліна Ю.В., Жук В.В., Тонкаль Л.В.

Визначення впливу різних доз передпосівного опромінення насіння на вміст флавоноїдів та фенолів у лікарській сировині звіробою звичайного // Фактори експериментальної еволюції організмів Збірник наукових праць. – Київ, 2019. – Т. 25. – С. 310-315. <https://doi.org/10.7124/FEEO.v25.1183>.

3. Liozhina L., Bulko O., Litvinov S., Pchelovska S., Sokolova D., Berestyanaya A., Tonkal L., Salivon A. X-ray effects on stress response of the Ri-transformants in vitro *Digitalis purpurea* L. // *Radiation&Applications*. – 2017.– 2 (1). – P. 1-4. <https://doi.org/10.21175/RadJ.2017.01.001>.

4. Pchelovska S.A., Shylyna Yu.V., Lystvan K.V., Zhuk V.V., Sokolova D.O., Tonkal L.V., Salivon A.H., Nesterenko O.H. Patent na korysnu model "Sposib pidvyshchennia vmistu flavonoidiv u syrovyni likarskykh roslyn shliakhom przedposivnoi radiatsiynoi obrobky nasinnia" No 129749. [in Ukrainian] / Пчеловська С.А., Шиліна Ю.В., Листван К.В., Жук В.В., Соколова Д.О., Тонкаль Л.В., Салівон А.Г., Нестеренко О.Г. Патент на корисну модель «Спосіб підвищення вмісту флавоноїдів у сировині лікарських рослин шляхом передпосівної радіаційної обробки насіння» № 129749.

5. Dai J., Mumper R. J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. // *Molecules*, 2010. – Vol. 15 (No. 10). – P. 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>.

6. Butnariu M., Coradini K. Evaluation of Biologically Active Compounds from *Calendula officinalis* Flowers using Spectrophotometry. // *Chem Cent J*. – 2012. – Vol. 6. – P. 35-40. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-35>.

7. Djeridane A., M. Yousfi, B. Nadjemi et al. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic. // *Food chemistry*. – 2006. – Vol. 97, No.4. – P. 654-660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028>.

DIGITAL X-RAY TOMOSYNTHESIS WITH CONTINUOUS EMISSION MODE

S. Miroshnichenko, A. Nevgasymyi, S. Senchurov*

Teleoptic PRC, Kyiv, Ukraine; s.senchurov@teleoptic-prc.com

Abstract. The possibility to upgrade legacy x-ray machines with new digital tomosynthesis modality was studied. Digital x-ray tomosynthesis resolution was measured with continuous and pulsed x-ray emission modes.

Key words: Digital x-ray tomosynthesis, resolution, motion blur, COVID-19.

Ongoing COVID-19 pandemic clearly displayed the demand in high quality thoracic x-ray imaging for diagnostic of COVID-19 associated pneumonias. The “gold standard” diagnostic modality for this is chest/thorax/lungs computed tomography (CT), while conventional radiography often fails in detecting, especially in early stages [1]. Unfortunately, there is not enough CT machines for diagnostics due to increasing demand.

On the other hand, digital x-ray chest tomosynthesis [2] is reported to be almost as effective in COVID-19 pneumonia diagnostics as CT [1-3] at the part of CT unit price and ionizing radiation patient dose load. Therefore, a number of x-ray machines leading manufacturers – e.g. GE and Sedecal – started intensive clinical studies of tomosynthesis usage in diagnosing patients with COVID-19.

The purpose of our work was to study the possibility of low-cost upgrade of existing x-ray machines with tomosynthesis modality.

Tomosynthesis, also called a limited-angle CT [2] uses a set of x-ray projection images to reconstruct slices parallel to x-ray detector. Projection images are acquired during x-ray tube and/or detector motion around the patient at predefined trajectory. X-ray generator during images acquisition should operate in pulsed mode or in continuous emission mode. Majority of generators in currently manufactured tomosynthesis complexes operate in pulsed fluoroscopy mode, whereas most common radiography generators support only continuous emission mode up to 6 seconds.

Authors compared the resolution in projection images and slices between continuous and pulsed operation modes. We used UNIMAT TOMO X-ray stand with tomosynthesis mechanical adapter, shown in Figure 1, manufactured by Teleoptik SPA, and 3D custom-made x-ray resolution test phantom, shown in Figure 2.



Figure 1. UNIMAT TOMO X-ray stand with IONA2-RF-4360 digital detector and tomosynthesis mechanical adapter. Source-to-image plane distance is 1400 mm, scanning angle is 30°.

Resolutions dependence on the distance between the detector and test object is shown in Table 1.

Table 1.

Resolution measurements results. PL – test pattern lines parallel to tube motion, OR – test pattern lines orthogonal to tube motion.

60 ms projection acquisition frame duration, 98 frames, 2220x1592 pixels per projection, 432x600 mm, pixel size 270 μ m (1,8 line pairs/mm)

Distance Detector- Object, cm	Continuous emission 6 seconds				Pulsed emission 10 ms per frame				Magni- fi- cation
	Voltage, kV	Current, mA	Projections Resolution (Horizontal PL/Vertical OR), lp/mm	Slices Resolution (Horizontal PL/Vertical OR), lp/mm	Voltage, kV	Current, mA	Projections Resolution (Horizontal PL/Vertical OR), lp/mm	Slices Resolution (Horizontal PL/Vertical OR), lp/mm	
4	70	10	1.8/1.8	1.6/1.6	80	31	1.6/1.6	1.6/1.6	1.0
12	70	10	2.0/1.4	1.6/1.8	80	31	1.6/1.6	1.8/1.8	1.1
22	70	10	2.2/1.3	1.4/1.4	80	31	1.6/1.8	1.6/1.6	1.2
32	70	10	2.0/1.1	1.3/1.0	80	31	1.6/1.8	1.3/1.6	1.35
42	70	10	2.0/1.1	1.3/0.8	80	31	1.4/1.4	1.4/1.4	1.5

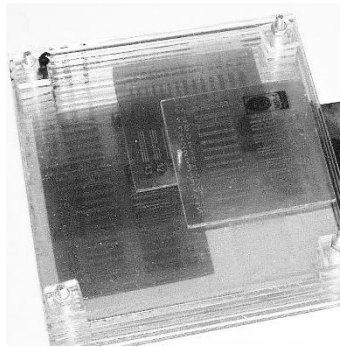


Figure 2. 100x100x35 mm custom-made resolution test pattern, assembled from x-ray test patterns and 3,0 mm PMMA plates and spacers

Conclusion

1. Continuous emission allows to get projections with compared or even higher resolution despite the motion blur.
2. Pulsed emission mode scanning results in higher slices resolution due to shorter pulse length.
3. Projection resolution, projection accumulation time/frame rate are limited by the GigabitEthernet throughput.
4. To upgrade legacy x-ray radiography units with continuous emission only to high resolution tomosynthesis one needs x-ray detector capable of capturing high resolution images with high frame rate.

REFERENCES

1. Access mode: <https://www.gehealthcare.co.uk/article/the-evolving-role-of-x-ray-in-the-fight-against-covid-19>
2. Dobbins JT 3rd, McAdams HP, Godfrey DJ, Li CM. Digital tomosynthesis of the chest. // J Thorac Imaging. 2008;23(2):86-92. doi:10.1097/RTI.0b013e318173e162.
3. Miroshnychenko S., Khobta Yu., Nevgasymyi A. et al. (2020). Using tomosynthesis for detection of pneumonia caused by COVID-19. 10.13140/RG.2.2.23921.43363.
4. Access mode: https://www.uc3m.es/ss/Satellite/UC3MInstitucional/en/Detalle/Comunicacion_C/1371288840854/1371215537949/Research_into_a_new_high-recision_radiology_system_for_the_coronavirus.

МЕТОД РАДІОБІОЛОГІЧНОГО ТЕСТУВАННЯ НЕЙТРОНОЗАХВАТНИХ АГЕНТІВ І УСТАНОВКИ ДЛЯ НЕЙТРОНОЗАХВATНОЇ ТЕРАПІЇ

**Ю.Б. Шевченко¹, Г.Й. Лавренчук², В.А. Лібман¹,
В.Ф. Разбудей, Л.Є. Червонна¹, В.В.Тришин¹**

¹Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

²ДУ "Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН
України", Київ, Україна, +380994379938, yubshevchenko@gmail.com

Анотація. Запропонований метод біодозиметрії, направлений на визначення інтегральної біологічно еквівалентної дози при нейтронозахватній терапії. В якості детектора вибрана асинхронна перещеплювана культура клітин лінії L₉₂₉.

Ключові слова: нейтронозахватна терапія, нейтронозахватні агенти, біологічно еквівалентна доза, клітинна популяція.

Нейтронозахватна терапія (НЗТ) є бінарним методом променевої терапії, який ефективний при лікуванні навіть високорезистентних злоякісних пухлин [1]. Основна терапевтична доза D_B^I формується високоенергетичними продуктами реакції захвату нейтронів ядрами ізотопу ^{10}B - ядрами ^7Li , α -частинками, та γ -променями. Селективність руйнування пухлин досягається оптимізацією спектру нейтронного пучка, яким опромінюється пацієнт, колімацією пучка і застосуванням нейтронозахватних агентів (НЗА). НЗА-сполуки бору, які при введенні в організм пацієнта селективно накопичуються в злоякісних клітинах і, в ідеалі, відсутні в здорових.

Одним з ключових показників у БНЗТ, разом з D_B^I , є інтегральна (повна) біологічно еквівалентна доза індукованого випромінювання, яку отримує мішень. Коректне апаратурне вимірювання цих величин – занадто складна задача, оскільки маємо справу з внутрішньоклітинними процесами. Фізичні методи (калориметричні, метод конденсатора) дають “фізичну” дозу – величину енергії, виділеної при опроміненні мішені в одиниці маси мішені. Щоб отримати еквівалентну

(“біологічно ефективну”) дозу, ця величина підлягає перерахунку. Метою нашої роботи було розробити модель для радіобіологічного тестування опромінювальної установки та нейтронозахватних агентів, проаналізувати можливість створення на її основі методу визначення інтегральної еквівалентної дози, яку отримує мішень при БНЗТ, та її складових. Експериментальні дослідження виконані на асинхронній перещеплюваній культурі клітин лінії L₉₂₉. Методи роботи з клітинами описані в роботі [2]. Опромінення клітин γ -квантами проводилося на сертифікованій установці "Тератрон" в Інституті раку НАМН України.

Зауваження: Суттєвою відмінністю нашого підходу від загальновідомої біодозиметрії є вибір тест-ефекта. Ми не плануємо використовувати розроблений для еритроцитів цитогенетичний метод.

Головна ідея нашого підходу полягає в тому, щоб уникнути складних розрахунків і вимірювань фізичної (поглиненої) дози, а безпосередньо визначати еквівалентну дозу (тобто біологічно еквівалентну дозу) через спричинений нею біологічний результат (тест-ефект). Для цього пропонується в якості дозиметричного матеріалу використовувати клітинну популяцію і за допомогою стандартизованого (сертифікованого) джерела γ випромінювання (коефіцієнт біологічної якості γ -променів прийнято за одиницю) отримати криву $M = M(D\gamma)$. Тут M – ураження (одиниця мінус виживання), $D\gamma$ – доза γ -випромінювання від стандартизованого джерела. Ця крива доза-ефект (Рисунок 1) гратиме роль калібрувальної кривої. Якщо тепер для оцінки впливу процедури НЗТ на таку ж клітинну систему в аналогічних умовах вибрати той самий тест-ефект, що й при гамма-опроміненні, ми матимемо пряме вимірювання повної еквівалентної дози випромінювання, індукованого в процесі БНЗТ з конкретним НЗА. У якості тест-ефекту можна вибрати, наприклад, виживання, або ураження. У першому наближенні повне ураження M_{tot} можна

представити як суму уражень, спричинених всіма діючими факторами (наближення незв'язаних факторів).

$$M_{tot} = \{M_{1\gamma,n} + M_{NCA} + M_N^I\} + M_B^I \quad (1)$$

Тут $M_{1\gamma,n} = M_{1\gamma} + M_{1n} = M_{1\gamma t}(D_{1\gamma}, D_{1n})$ -ураження, спричинене нейтронами (M_{1n}) і супутнім γ -випромінюванням ($M_{1\gamma}$), яке присутнє в реакторних нейтронних пучках, $D_{1\gamma}, D_{1n}$ - дози γ -випромінювання і реакторних нейтронів. M_{NCA} -ураження, обумовлене токсичністю НЗА; $M_N^I = M_N^I(D_N^I)$, $M_B^I = M_B^I(D_B^I)$ -ураження спричинене продуктами реакції захвату нейтронів ядрами ^{14}N та ^{10}B , D_N^I та D_B^I -ефективні дози, створені цими продуктами. M_{tot} і складові суми у фігурних дужках визначаються експериментально. По цих даних вираховується $M_B^I(D_B^I)$. Оскільки виживання $V=1-M_B^I(D_B^I)$, з цієї величини за допомогою калібрувальної кривої можна знайти ефективну дозу індукованого випромінювання D_B^I . При цьому інтегральна радіобіологічна ефективність продуктів реакції захвату нейтронів атомом ^{10}B враховується автоматично. Точність отриманого результату залежатиме головним чином від того, наскільки коректно буде враховано (а) прямий вплив первинного випромінювання установки – нейтронного та супутнього γ -випромінювання ($D_{1\gamma}, D_{1n}$), (в) токсичність НЗА, (с) дозу випромінювання, індукованого захватом нейтронів ядрами ^{14}N і, природно, від точності встановлення величини тест-ефекту.

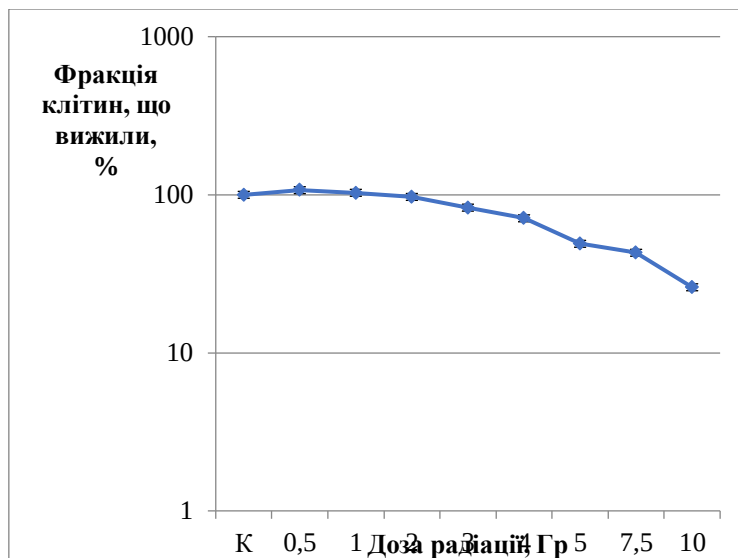


Рис.1. Дозова залежність виживання клітин лінії L₉₂₉ (клоногенна здатність) при дії іонізуючої радіації

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Barth, R.F., Coderre, J.A., Vicente, M.G.H., Blue, T.E., Boron neutron capture therapy of cancer: current status and future prospects // Clin. Cancer Res. - 2005. - 11 (11). -- P. 3987–4002.
2. Лавренчук Г.Й., Шевченко Ю.Б., Тришин В.В. та ін. Комбінований вплив теплових нейтронів, гамма-квантів, світла червоного діапазону та нейтронозахватних агентів на морфофункціональні показники клітин лінії L₉₂₉ *in vitro*//Ядерна фізика та енергетика. - 2016.- т.17.- № 3.-С. 276-286.

ПРОГРАМНІ МЕТОДИ ПОСТ ОБРОБКИ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ КОНТРАСТНОСТІ НА РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗНІМКАХ ОБЛАСТІ ГРУДНОЇ КЛІТИНИ

**Д.А. Радько^{1*}, С.І. Мірошніченко², О.С. Мірошніченко³,
В.В. Єфімова³**

¹ ТОВ «НВК Телеоптик», с.Підгірці, Київської обл., Україна

² НВО «Телеоптика», с.Підгірці, Київської обл., Україна

³ Національний авіаційний університет, Київ, Україна,
dmitriy.radko@gmail.com

Анотація. На початку 21 століття на заміну плівковим рентгенівським апаратом почали використовувати більш сучасні апарати з цифровими рентгенівським детекторами, невід'ємною частиною яких стали програми обробки цифрових рентгенівських зображень для підвищення ефективності візуального сприйняття патологій лікарем-рентгенологом за рахунок виділення необхідних для діагностики елементів зображення таких, як: трабекули на кістках, деталі м'яких тканин, контрасти великих утворень. В даній роботі обґрунтована методика оцінки ефективності програмного забезпечення пост обробки, отримання кількісної оцінки ефективності пост обробки, яка базується на підборі найважливіших точок зображень грудної клітки відповідно до діагностичної точки зору.

Ключові слова: рентген, цифрова радіологія, скринінг ОГК, пост обробка.

На початку 2000-х на території України почалося масове впровадження цифровій технології в рентгенологію, і в першу чергу цифрові приймачі знайшли «своє місце» у флюорографах. Завдяки впровадженню новітніх технологій у флюорографи, кількість обстежень ОГК до 2005 року збільшилась від 15142,0 до 21674,9 тисяч обстежень за рік.

Сьогодні, у 21 сторіччі, невинний розвиток комп'ютерних технологій та технологій зі штучним інтелектом призвело до створення різного програмного забезпечення для пост обробки рентгенівських знімків для поліпшення розпізнавання патологій лікарями.

Для оцінки ефективності роботи наявних програм пост обробки зображень, були виконані кількісні вимірювання контрасту для чотирьох областей на оригінальних та оброблених рентгенівських знімках ОГК.

За погодженням з лікарями рентгенологами було обрано наступні області для отримання кількісного вимірювання контрасту для таких параметрів:

1. Контраст поперекового відділу хребта на тлі шлунку;
2. Газовий міхур контрастує в шлунку;
3. Будова легеневої тканини контрастує в пазухах;

4. Легеневі структури контрастують в області коренів легенів.

У відповідності з цим було запропоновано виміряти відношення яскравості об'єктів до навколишнього фону для областей 1 і 2 та позначити результати вимірювань як значення контрасту $k_{1,2}$:

$$k_{1,2} = (B_o - B_\beta) / B_\beta \quad (1.1)$$

де B_o - яскравість об'єкта;

B_β - яскравість фону.

У зонах 3 та 4 - отримати вимірювання відносної яскравості дрібнозернистих предметів на навколишньому тлі та позначити їх як відхилення від контрасту - $k_{3,4}$:

$$K_{3,4} = \sigma / B_\beta \quad (1.2)$$

де σ - яскравість дрібнозернистих утворень.

Таким чином, вимірювання проводилися у вибраних областях зображення, які цікавили рентгенологів під час обстеження пацієнтів.

Метою дослідження даної роботи була оцінка приросту контрастування на оброблених зображеннях, що характеризують спостережливість легеневої тканини в сегментах та контраст поперекового відділу хребта, а також газовий міхур щодо фону.

Програмним забезпеченням Context Vision було обрано як референтне програмне забезпечення завдяки досвіду в галузі медичних зображень, та відгукам лікарів-рентгенологів.

Для вимірювань параметрів в використовували програму ImageJ.

Виділяючи зону, яка цікавить, ми отримували значення яскравості або контрасту на досліджуваній ділянці, після чого, за математичними розрахунками, наведеними в формулі (1.1) або в формулі (1.2), в залежності від ділянки, отримували наступні показники для оцінки та аналізу. Порівняльні результати наведені нижче

На основі аналізу отриманих результатів цього дослідження особлива увага була приділена необхідному перевищенню 5% контрасту, який згідно із законом Вебера -

Фехнера вважається межею впевненої спостережливості вибраних об'єктів. Принцип, що інтенсивність відчуття змінюється рядом рівних арифметичних приростів, оскільки сила подразника збільшується геометрично.

На оригінальних образах зазвичай предмет можна спостерігати на межі зорового сприйняття. Контрастність об'єктів не вище 1%, однак на оброблених зображеннях ми отримали збільшення контрасту об'єкту від 2% до 35%. Узагальнені результати з даних показали в таблицях представлені на рис 2.

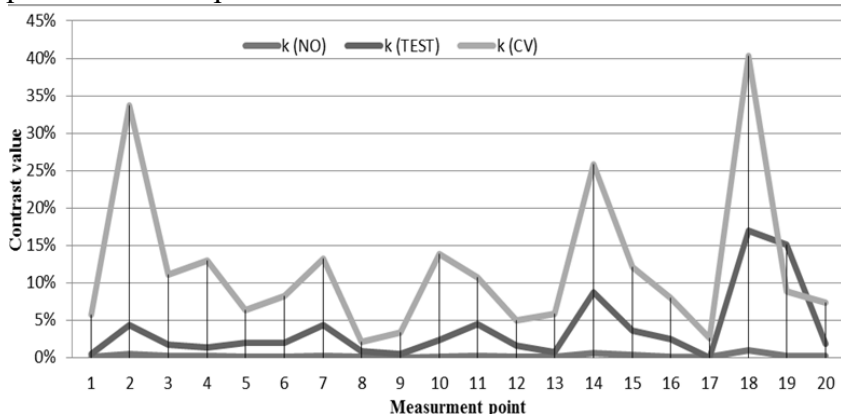


Рис. 1. Узагальнені результати для кількісних вимірювань контрасту

Порівняння референтного та тестового програмного забезпечення показало, що зображення, оброблені тестовим програмним забезпеченням, мають контрастність та відхилення контрасту в 3 рази менше, ніж референтне програмне забезпечення. Неоптимальні настройки тестового програмного забезпечення є найбільш можливою причиною цього результату. Існує ймовірність, що модифікація пресетів зробить різницю між тими програмами незначними.

Методика, обґрунтована в цій роботі, дозволяє оцінити ефективність програмного забезпечення пост обробки.

В проведених дослідях знайдено, що залежно від програмного забезпечення контраст оброблених зображень може бути збільшений у 15-45 разів. Збільшення контрасту

дозволяє поліпшити спостережливість патологій на рентгенівських знімках грудної клітки. Використання вимірювань контрастності та відхилень контрастності дало аналогічні результати та підтвердило відповідність як кількісних вимірювань, так і візуального сприйняття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. С.І. Мірошниченко, Л.К. Урина “Томосинтез на рентгенівській діагностичній системі”. К. Системи: медицина України. 10, с.42, 2019.
2. Г.Ю.Коваль, Д.С.Мечев., С.І.Мірошниченко, О.П.Шармазанова. “Променева діагностика”. К. Системи: медицина України. вип. 1, с. 20-21, 2018.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВІСМУТОВОГО ФІЛЬТРУ ДЛЯ ОПРОМІНЮВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

**Ю.Б. Шевченко, В.Ф. Разбудей, Л.Є. Червонна,
В.А. Лібман, В.В.Тришин**

*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна,
+380994379938, yubshevchenko@gmail.com*

Анотація. Проведена оцінка використання вісмуту для зниження потоку гамма-квантів у складі нейтронного пучка, що застосовується при бор-нейтронзахватній терапії. Показана його слабка ефективність для використання на радіальних реакторних каналах.

Ключові слова: бор-нейтронзахватна терапія, нейтронні пучки, потоки гамма-квантів, вісмут, кремній.

Необхідною умовою ефективного і безпечного проведення бор-нейтронзахватної терапії (БНЗТ) є мінімізація дозових навантажень на оточуючі пухлину тканини та життєво важливі органи пацієнта. Ця умова реалізується двома шляхами. По-перше, бор вводиться в організм пацієнта в складі нейтронозахватних агентів, сполук бора, які вибірково накопичуються в пухлинах і, в ідеалі, не затримуються в здорових. По-друге, якщо установка для БНЗТ змонтована на

базі реактора, гамма-випромінювання, яке значною мірою присутнє в реакторних нейтронних пучках, послаблюється за допомогою фільтрів. Як відомо, реакторні нейтронні пучки супроводжуються доволі значним гамма-випромінюванням. В роботі [1] для послаблення цього супутнього випромінювання використовували шар вісмуту завтовшки 35 мм. Але в цій роботі використовували тангенціальний (дотичний) канал. Ми вирішили оцінити ефективність такого шару вісмуту для нашого радіального каналу дослідницького реактора ВВР-М. В нашому випадку спектр нейтронного пучка формується шаром монокристалу кремнію завтовшки 400 мм. Для оцінки були взяті спектри гамма-променів поділу [2] та гамма-спектри продуктів поділу [3] ядра урану-235, на якому працює наш реактор.

Групові гамма-спектри миттєвих гамма-променів, що з'являються в процесі поділу [2] та рівноважний спектр гамма-променів, що утворюються продуктами поділу [3] наведені нижче в таблиці 1:

Таблиця 1.

Спектри миттєвих гамма-променів та рівноважний спектр гамма-променів

Енергія миттєвих γ -квантів, MeV	Ефективна енергія, MeV/поділ	Середня енергія групи γ -квантів поділу, MeV	Ефективна енергія, MeV/поділ
1,0	3,450	1,0	5,160
2,0	2,360	2,0	1,737
3,0	1,175	3,0	0,322
4,0	0,477		
5,0	0,203		
6,0	0,136		
7,0	0,026		

Тоді сумарний груповий спектр гамма-квантів можна одержати склавши ці два спектри та помноживши їх на

кількість поділів, що відбуваються в активній зоні реактору за секунду. В розрахунках приймалося, що в активній зоні реактору відбувається $3,46 \cdot 10^{17}$ поділів/сек. при потужності реактора 10 МВт.

Послаблення потоку гамма-променів, розраховувалися за відомою формулою: $\Phi_{\gamma}^x = \Phi_{\gamma}^0 \cdot e^{-\mu_{\rho} \cdot x}$; де Φ_{γ}^x – потік гамма-променів, що пройшли шар певної речовини; Φ_{γ}^0 – потік гамма-променів до проходження речовини; x – товщина шару речовини, [г/см²]; μ_{ρ} – масовий коефіцієнт послаблення потоку гамма-променів, [см²/г].

Масові коефіцієнти послаблення для вісмуту та кремнію були розраховані за допомогою програмного пакету XCOM. Хід залежності цих коефіцієнтів від енергії гамма-променів наведений на рисунку 1, а значення для енергетичних груп – у табл. 2.

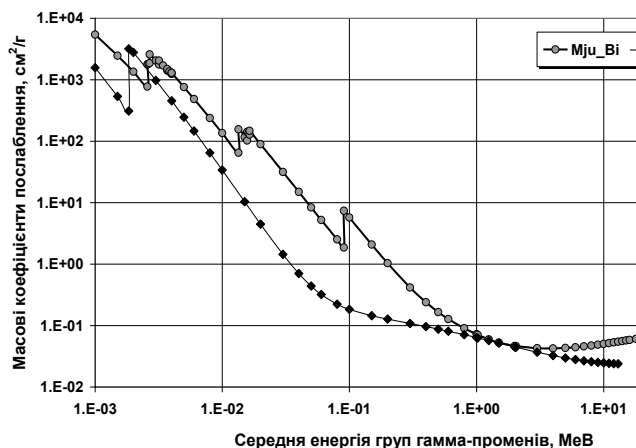


Рис. 1. Залежність μ_{ρ} від E_{γ}

Таблиця 2.

Масові коефіцієнти послаблення γ -квантів

Енергія γ -квантів, MeV	μ_{ρ} для вісмуту, см ² /г	μ_{ρ} для кремнію, см ² /г
1,0	25,987	5,195
2,0	0,055	0,052
3,0	0,044	0,040
4,0	0,042	0,032
5,0	0,043	0,030
6,0	0,044	0,028
7,0	0,046	0,027

Для кращого сприйняття в наступній таблиці 3 наведені групові потоки гамма-променів до фільтрів, після вісмуту та після кремнію, а також кратності послаблення потоків кожним матеріалом.

Таблиця 3.

Групові потоки γ -променів та кратності послаблення потоків

Енергія групи γ -променів, MeV	Потік без фільтрів , $\times 10^{10}$ MeV/c	Потік після вісмуту , $\times 10^{10}$ MeV/c	Кратність послаблення я вісмутом (3,5 см)	Потік після кремнію , $\times 10^{10}$ MeV/c	Кратність послаблення я кремнієм (40 см)
1	2	3	4	5	6
1,0	14 000	—		—	
2,0	10 100	575	6,7	4,33	132,8
3,0	2 950	418	4,6	10,2	41,0
4,0	774	181	4,3	8,81	20,5
5,0	329	74,9	4,4	4,72	15,9
6,0	221	48,1	4,6	3,58	13,4
7,0	42,2	8,77	4,8	0,733	12,0

Порівнюючи дані у стовпчиках 4 та 6 таблиці, можна зробити висновок, що застосування вісмуту для ефективного послаблення гамма-променів супроти нейтронного потоку

м'яко кажучи сумнівна для радіальних каналів реактора. Можливо, доцільніше додати ще монокристал кремнію.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зайцев К.Н., Портнов А.А., Савкин В.А. Нейтронозахватная терапия тепловыми нейтронами на ИРТ МИФИ, Атомная энергия, т.91, вып.4, окт. 2001 стр. 307-314.
2. Rockwell T. Reactor Physic Constants ANL-5800. – 1958. – р.449 (Reactor Shielding Design Manual).
3. Gamble R.I. Reactor Physic Constants ANL-5800. – 1958. – р.449 (Prompt Fission Product Gamma Rays from U-235).

БІОЛОГІЧНА ДІЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Ю.Л. Забулонов¹, Д.В. Чарний¹, М.В. Чухраєв²,
В.А Черняк⁴, К.К. Карпенко³, О.Г. Мусіч¹**

¹ДУ «ІГНС НАН України»

²ООО «НМЦ МЕДИНТЕХ»

³ Національний військовий клінічний госпіталь МО, м.Київ, України,

⁴Київський Національний університет імені Тараса Шевченка

Annotation. The therapeutic effect of the use of laser radiation is based on a complex mechanism of interaction of low-energy electromagnetic radiation in the visible or infrared ranges of the spectrum with a highly organized biological system.

Ключові слова: Biological action of laser radiation.

Вступ. В Україні питання застосування вітчизняних новітніх технологій, їх вдосконалення та розвиток є пріоритетом сучасної медицини і науки [1-5]. Саме тому біологічна дія лазерного випромінювання є актуальним напрямом досліджень.

Мета. Дослідити експериментальним шляхом біологічну дію лазерного випромінювання в залежності від параметрів випромінювання і спектральних характеристик поглинання

електромагнітного випромінювання біологічним середовищем.

Експериментальні дослідження. В експерименті були вивчені особливості лазерного випромінювання в біологічному середовищі [6-8]. Оскільки взаємодія лазерного випромінювання стимулює фотофізичні і фотохімічні реакції, пов'язані з резонансним поглинанням енергії електромагнітного випромінювання біологічним середовищем і перенесенням ефекту взаємодії на кілька рівнів організації її функціонування, тому характер і рівні цих взаємодій залежать не лише від спектральних і енергетичних параметрів лазерного випромінювання, а й від стану і спектральних характеристик поглинання електромагнітного випромінювання біологічним середовищем.

Біологічна дія лазерного випромінювання залежить від:

- спектральних характеристик поглинання біологічного об'єкта;
- довжини хвилі λ і енергії випромінювання E ;
- потужності лазерного випромінювання P_i ;
- щільності потужності (енергії) W_p (W_e);
- спектральної щільності потужності лазерного випромінювання;
- площі (обсягу) розподілу енергії лазерного випромінювання;
- часу взаємодії лазерного випромінювання і біологічного об'єкта t або його похідних
- тривалості імпульсу T і частоти повторення імпульсів f .

Доведено, що лазерне випромінювання можна охарактеризувати трьома стадіями впливу.

На першій стадії впливу на біологічний об'єкт відбуваються взаємодії квантів ЛВ з біологічним середовищем, характер яких залежить від оптико-фізичних властивостей тканини, а також від енергетичних і просторових характеристик ЛВ (довжини хвилі, спектральної щільності потужності і площі (обсягу) взаємодії лазерного випромінювання і біологічної тканини).

На цій стадії відбувається поглинання квантів ЛВ атомами молекул, і як наслідок, перехід електронних хмар на більш високі валентні рівні, зменшення сили взаємодії атомів в молекулах і підвищення їх хімічної активності.

Результатом цієї взаємодії є перетворення енергії електромагнітного випромінювання в механічні коливання зі збільшенням амплітуди їх коливання, підвищенням температури в області поглинання ЛВ, а так само підвищення електрохімічної активності атомів в молекулах біологічної речовини.

На другій стадії (фізико-хімічна) з порушених атомів і молекул відбувається утворення вільних іонів і радикалів, що володіють високою хімічною активністю.

На третій стадії (хімічна) вільні іони і радикали вступають в реакцію з молекулами речовин, що входять до складу біологічної тканини, і при цьому виникають ті молекулярні взаємодії, які в подальшому визначають загальну картину впливу лазерного випромінювання на біологічну тканину і організм в цілому.

Результати і обговорення. Були виявлені переваги з урахуванням накопиченого досвіду теоретичного вивчення і практичного застосування лазеротерапії в клінічній практиці. Можна виділити сім рівнів впливу на біологічну тканину при лікуванні та медичній реабілітації хворих та інвалідів:

1. Атомно-молекулярний. На атомно-молекулярному рівні взаємодії ЛВ і біологічної тканини, відбувається поглинання квантів ЛВ, що проникають в біологічну тканину і призводять до виникнення електронного збудження атомів. При цьому відбувається перехід атомів з метастабільних станів в порушені, що в свою чергу, призводить до ослаблення і руйнування певних міжмолекулярних зв'язків, підвищенню їх хімічної активності і стереохімічній перебудові структури молекул, утворення вільних радикалів, прискоренню синтезу білка, РНК, ДНК і колагену, підвищення провідності тканини в області впливу ЛВ.

2. Клітинний. Зміна електричного поля клітини і її мембранного потенціалу, поліпшення проникності і нормалізація роботи іонних каналів мембрани клітини, підвищення активності біохімічних процесів всередині клітини, стимулювання фотохімічних реакцій в мітохондрії клітини.

3. Тканинний. Підвищення активності біохімічних процесів усередині тканини, підвищення її електропровідності і збудливості, поліпшення мікроциркуляції рідких середовищ всередині тканини, стимулювання капілярного ефекту, відновлення кисневого балансу і активації окисно-відновних процесів, зниження рівня запального і больового процесів.

4. Кровоносний. Поліпшення реології і підвищення кисневої ємності крові.

5. Органний. Поліпшення роботи органів, корекція функціональної активності органів і систем пов'язаних з ними.

6. Системний. Формування заданих адаптаційних нервово-рефлекторних і нервово-гуморальних реакцій з активізацією симпато-адrenalової та нейроендокринної систем.

7. Рефлекторний. Порушення, гармонізація або седативування процесів в рефлекторних зонах і точках акупунктури. Інтенсивність і специфічність прояву реакцій на лазерний терапевтичний вплив визначається параметрами ЛВ (довжина хвилі і спектр, доза, параметри модуляції, щільність потужності), вибором і станом області впливу.

Висновки.

В результаті досліджень лазерного випромінювання на біологічну тканину при лікуванні та медичній реабілітації хворих та інвалідів доведено покращення стану пацієнта в цілому, зокрема поліпшення роботи органів, зниження рівня запального і больового процесів.

Застосування лазерного випромінювання дозволило значно вдосконалити лікувальний процес і скоротити термін реабілітації пацієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чухраев Н.В. Многофункциональная лазерная терапия больных и инвалидов /Чухраев Н.В., Чухраева Е.Н., Буцкая Л.В., Гунько М.А., Владимиров А.А. Под общей редакцией: член кор. НАН Украины Забулонова Ю.Л., проф. Владимирова А.А.– К., НМЦ «МЕДИНТЕХ, 2015. – 317 с.
2. Самосюк И.З., Малюта В.И., Чухраев Н.В. Лечение болевых синдромов. /Вена. НМАПО имени П.Л.Шупика, УО физической и реабилитационной медицины./ 2016. – 224 с.
3. Хадарцев А.А., Леонов Б.И., Чухраев Н.В. Медицинские инновационные технологии. Сочетанное применение магнитных полей, ультразвуковых волн и оптического потока. Дубна 2016.- 320 с.
4. Самосюк И.З., Леонов Б.И., Чухраев Н.В. Медицинские инновационные технологии. Болевые синдромы. Дубна 2016.-224 с.
5. Забулонов Ю.Л., Владимиров А.А., Чухраев Н.В., Гунько М.А. Применение аппарата «ГЕЛИОС в клинической и курортной практике. /К., НМАПО имени П.Л.Шупика, УО физической и реабилитационной медицины./ 2016. – 340 с.
6. Самосюк И.З., Владимиров А.А., Чухраев Н.В., Самосюк Н.И., Чухраева Е.Н., Стукалин В.А., Гунько М.А. Магнитолазероультразвуковая терапия. Новые технологии физиотерапевтического лечения. /К., НМАПО имени П.Л.Шупика, УО физической и реабилитационной медицины./ 2016. – 320 с.
7. Chukhraiev N.V., Vladimirov A.A., L.Vilcahuaman, W. Zukow, Samosyuk N.I., Chukhraieva E., Butskaya L.V. Combined application of ultrasonic waves, magnetic fields and optical flow in the rehabilitation of patients and disabled people./Kiev Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education Pontifical Catholic University of Peru Radomsko High School SCM Medical Innovative Technologies. 2016. – 304 p.
8. Zabulonov Y.L., Vladimirov A.A., Chukhraiev N.V., Yousry Abdel-Sabour Elmehsenavi, Walery Zukow Multifunction laser systems in clinical and resort practice / Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education Ukrainian Society of Physical And Rehabilitation Medicine. 2016. – 252 p.

POSSIBLE PLASMA HEALTHCARE FOR OPERATIVE GYNECOLOGY

E.V. Martysh

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine,

e.martysh@gmail.com

Annotation. The ability of cold atmosphere pressure plasma (CAP) to perform at a high level of disinfection, decontamination and sterilization can be considered proven at present. Recent studies have shown that plasma can efficiently inactivate microbial pathogens such as bacteria, fungi, and viruses in addition to degrading toxins. Moreover, this technology is effective at inactivating pathogens on the surface of medical and dental devices. The possibility of using cold plasma in the surgical treatment of endometriosis is considered.

Keywords: discharge, inactivation, toxins, endometriosis, cold plasma

The current practical applications of plasma technology range from sterilizing therapeutic medical devices to improving crop yields, as well as the area of food preservation. This paper introduces recent advances and future perspectives in plasma technology, especially in applications related to plasma medicine. It also introduces the latest studies, mainly focusing on the potential applications of plasma technology for the inactivation of microorganisms and the degradation of toxins.

We can say that plasma disinfection covers almost all of the resistance hierarchy of microorganisms. The susceptibility to the plasma of microorganisms categorized as being most resistant, highly resistant, intermediate resistant, less resistant, and very susceptible, have already been studied. Therefore, the applicability of plasma technology in disinfection/sterilization is potentially wide-ranging. Investigation of the effect of plasma on various microorganisms would potentially contribute to further expanding the applicability of this technology. In addition to the field of agriculture and medicine, plasma technology has also been utilized in a range of environmental applications, including water purification and remediation, as well as the treatment of exhaust gases [1].

It should be mentioned that an increase in the disinfection efficiency and improved cost performance is required before the true potential of plasma technology can be fully realized. This may be achieved by optimization of the plasma generating conditions, including the use of different gas mixtures and careful control of the relative humidity as well as plasma generation methods.

Because plasma in general on the surface or inside the human body is a complex task for medicine, biology, physics, and plasma chemistry, basic research combining experimental physical and biological research and modeling is necessary to provide the necessary knowledge for therapeutic applications. The question of selecting the optimal sources for use in various parts of medicine and related fields, determines the need to create a methodology for such selection [2]. It turned out that each application requires a special individual source of plasma, which has passed a minimum set of physical and biological tests before it can be considered for medical use. In contrast to most existing industrial plasma sources with fixed electrodes and nozzles, the new sources use flexible electrodes to automatically adapt the plasma under equal and stable conditions to virtually all surface structures.

The current situation and incomplete knowledge of the mechanism of interaction of such a plasma make it necessary to carry out additional studies. Plasma generator selection should be done with the greatest possible care. The choice of additional equipment is also important. However, already obtained data on the properties of the plasma of some plasma sources make it possible to make a certain choice of a generator to solve a specific medical problems. One of them is the treatment of endometriosis with laparoscopic surgery.

Endometriosis is an often painful disorder in which tissue similar to the tissue that normally lines the inside of your uterus - the endometrium - grows outside your uterus. Endometriosis most commonly involves your ovaries, fallopian tubes and the tissue lining pelvis.

Treatment of endometriosis involves not only removing foci of atypically located endometrium, reducing pain, restoring

reproductive function, but also preventing recurrence of the disease and improving the quality of life of a woman as a whole. The established practice [3] shows that the main method of treatment of common forms of endometriosis is now the removal of foci using various methods: surgical excision, laser, cryo- or ultrasound destruction. However, during surgery, only visible lesions are removed. Some of the pathological heterotopies may remain deep in the tissues, and the disease will reappear after a while, therefore, it is advisable to use drug therapy at the second stage of treatment.

Because the incisions are very small, there will only be small scars on the skin after the procedure, and all endometriosis can be removed, and women recover from surgery quicker and have a lower risk of adhesions.

It's considered a "minimally invasive" surgery because the surgeon makes very small openings (incisions) at (or around) the belly button and lower portion of the belly [4]. A thin telescope-like instrument (the laparoscope) is placed through one incision, which allows the doctor to look for endometriosis using a small camera attached to the laparoscope. Small instruments are inserted through the incisions to remove the endometriosis tissue and adhesions. Because the incisions are very small, there will only be small scars on the skin after the procedure, and all endometriosis can be removed, and women recover from surgery quicker and have a lower risk of adhesions. However, the likelihood of complications, including recurrence of the disease, remains high.

The parameters for microdischarges of plasma medicine in air and argon vortex flows at atmospheric pressure for different shapes of electrodes (outlet nozzle and axis electrode diameters ratio set) have been investigated [5]. The current-voltage characteristics of the designed systems have been analyzed, the parameters of the generated jets plasma have been investigated by means of the optical emission spectroscopy, and the form of plasma jets has been studied by using video camera.

The analysis of the data obtained allows us to assert that the gas flow is supplied in the form of a thin directed plasma jet, which allows the destruction of cellular structures and tissue excision. The

created installation is capable of creating plasma at a temperature of 45-65 °C. A surgical method based on the use of "cold" plasma for treating patient tissues has anti-inflammatory and analgesic effects, which makes the patient's complete postoperative recovery period shorter and simpler by reducing the pain of the processing surface. It is possible to carry out an operation in which no scars will form at all.

REFERENCES

1. Akikazu Sakudo, Yoshihito Yagyū and Takashi Onodera. Disinfection and Sterilization Using Plasma Technology: Fundamentals and Future Perspectives for Biological Applications. Intern. Journal of Molecular Sciences 2019 Oct; 20(20): 5216.
2. Goldayevich Eu.L., Martysh Eu.V., Nabaz Ahmed Saleem, Choosing of plasma discharge source for application in medicine and biology, Academy of Municipal Administration Scientific Bulletin, Series "Technics", Issue 1-2 (11), P. 79-90, 2016.
3. Щукина Н.А., Буянова С.Н. Современный взгляд на диагностику и лечение эндометриоза. РМЖ. Мать и дитя №14 от 01.07.2014 стр. 1002.
4. Johnson NP, Hummelshoj L. "Consensus on current management of endometriosis". Human Reproduction. June 2013, 28 (6): 1552–68.
5. Ir. Prysiashnevych, Val. Chernyak, Eug. Martysh, e.a. Physical features of atmospheric pressure microdischarge system with vortex gas flows. Open Chemistry, 2015; 13: 420–424 p.

Зміст Content	
1. Навчання та підготовка медичних фізиків <i>Education and training of medical physicists</i>	6
Післядипломна підготовка інженерів-фізиків та медичних фізиків на освітній базі харківського національного університету радіоелектроніки Макієнко А.С., Авер'янова Л.О., Старенький В.П.	6
Міжнародні рекомендації з питань медичної фізики в умовах пандемії COVID-19 Асламова Л.І., Куліч Є.В.	10
Pedagogical aspects of teaching students on the course «medical physics» at kharkiv national medical university Batyuk L.V., Chovpan G.O.	14
Правове регулювання використання джерел іонізуючого випромінювання в медицині в умовах covid-19 Сесемко А.О., Сесемко К.В.	18
Карантинні медфізичні асоціації Дряпаченко І.П.	22
2. Радіаційний захист <i>Radiation protection</i>	28
Assessment of dose loads and radiation risks of patients after PET/CT scanning Zaredinov D., Li M.	28
Методичні проблеми впровадження культури безпеки Скалецький Ю.М., Риган М.М., Протас С.В., Михайленко П.М., Брухно Р.П., Штаюра А.М.	33
Про деякі аспекти надання дозволу (санітарного паспорту) на роботи з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання Рубан О.М., Бірюков С.В., Байраченко Д.О., Ковальова С.В.	37
Оцінка дозових навантажень пацієнтів при комп'ютерній томографії Стадник Л.Л., Носик О.В., Богуславська О.І.	42
Dielectric biomarkers for assessing radiation damage to blood cells before and after radiation therapy Batyuk L.V., Kizilova N.N.	45
ПЭТ/КТ с ¹⁸F-ФДГ при атипичной злокачественной хемодектоне шеи Рахимжанова Р.И., Рыскулова Г.О., Ибраев К.К., Базарбаев Н.А., Скакова Г.А., Канафин Г.К., Нефедкина С.Е., Хизат Г.	49

Оцінка якості рентгенівських зображень за європейськими критеріями Старенький В.П., Носик О.В., Мельник Б.І.	55
Організація радіаційного захисту персоналу при експлуатації скануючого іонного мікрозонду Лисоченко С.В., Ільченко В.В., Кухаренко О.І., Толмачов М.Г.	58
Проблеми культури радіаційної безпеки в медичній радіології: пріоритетна роль медичних фізиків Пилипенко М.І., Старенький В.П., Аверьянова Л.О., Стадник Л.Л.	61
Державне регулювання ядерної та радіаційної безпеки в умовах пандемії COVID-19: виклики, ризики, проблеми, рішення Вісков О.В., Тріпайло Р.Ф.	75
Приведення біологічного захисту зі змінним перерізом до сталого Белих Д.О., Богорад В.І., Литвинська Т.В., Полудненко В.А., Калита І.А., Колодійчук О.Л., Крячок К.О.	80
До питання оцінок доз опромінення на робочих місцях Павленко Т.О.	84
Загальні принципи комунікації щодо радонових ризиків Фризюк М.А., Аксьонов М.В., Павленко Т.О.	86
Обладнання компанії «Канберра Паккард» для дозиметричного забезпечення медичної радіології Самочерних С.В.	91
Гідрид титану як матеріал радіаційного захисту Морозов І.А., Коротенко М.М., Бездорожев О.В., Степаненко А.В., Цукров Г.С.	97
Індивідуальна та популяційна радіочутливість рослин залежно від наявності абіотичних стресорів Нестеренко О.Г., Рашидов Н.М., Нестеренко Л.Д.	100
Biochip testing the cell cultures growth at the bioceramic scaffold for a bone tissue regeneration to nanomedicine Ivanyuta O.M.	104
Деякі спостереження щодо розвитку культури безпеки в Україні Скалецький Ю.М., Насвіт О.І.	108
Зменшення ризиків під час діагностичних досліджень із використанням іонізуючого випромінювання у пацієнтів із COVID 19 Стрельцов О.О.	113
Gross beta activity – a new approach for identification of illegal cigarettes and health risk prevention Georgieva A., Dimitrova T.L.	115

Influence of plasma micro- and coronary discharge on the development of higher fungi myceles Veremii Yu., Sokolovskyi B., Nikulin D., Tsvyd N., Iukhymenko V., Chernyak V., Nedybaluk O., Sukhomlyn M., Martyshev Eu.	117
3. Біомедична інженерія <i>Biomedical engineering</i>	122
Biological effects of microwave irradiation of the cellular communication of the 5th generation Martynyuk V.S., Tseyslyer Yu.V., Grygoruk V.S., Oliynyk V.V., Launets V.L., Zagorodnii V.V., Virych P.F.	122
Applications of α-Hg₃S₂Br₂ crystals for medical device engineering Bokotey O.V., Chavarha M.I., Bokotey O.O., Slivka A.G.	126
Застосування дозиметрії in vivo при дистанційній променевої терапії у хворих на рак тіла матки Сімбірська А.С., О.М. Сухина, В.П. Старенький, Самофалов І.О.	129
Power spectra of doppler response signals from biological objects using synthetic aperture ultrasound Sheina I.V., Kislov, E.A. Barannik	132
Estimation of entrance surface dose of newborn patients for diagnostic radiology Kochergin D.K., Kutsen S.A., Minenko V.F., Viarenich K.A.	136
Our experience in interstitial brachytherapy Kozak O.V., Horot I.V.	141
Математичне моделювання збурення руху крові при інвазивному вимірюванні артеріального тиску Герасименко К.О., Забашта Ю.Ф., Бацак Б.В.	143
Biomechanical properties of scaffolds for cardiac repair and regeneration Sokol A.A.	148
Scattered radiation in x-ray imaging: scattering kernels model Danyk A.Y., Sudakov O.O.	152
4. Інноваційні технології в медицині <i>Innovation technologies in medicine</i>	157
Комп'ютерне планування помірної індуктивної магнітотермії пацієнтів хворих на рак грудної залози апаратом «магнітерм» Монохонько О.І., Орел В.Е., Рихальський О.Ю., Дасюкевич О.Й., Сивак Л.А.	157
Experimental approach for development of multicomponent nanosystems for combined photodynamic therapy, photothermal and chemotherapy Kuziv Yu.I., Kutsevol N.V., Virych P.A., Chekhun V.F.	161

Використання рентгенівських дифрактограм для тестування бронепластин з SiC Андреев О.В., Асламова Л.І., Грабовський Ю.Є., Заболотний М.А	163
Fundamentals and biomedical applications of cubic TL₃TAS₄ Bokotey O.V., Chavarha M.I., Bokotey O.O., Slyvka V.A., Slivka A.G.	167
Застосування комплексу «гідрогель-фотосенсибілізатор» для фотоінактивації staphylococcus aureus in vitro Вірич П.А., Надтока О.М., Вірич П.А., Куцевол Н.В.	170
Обґрунтування діагностики і тактики лікування пацієнтів на хронічний холецистит Кошевський Ю.І., Черняк В.А.	174
Програмно-алгоритмічна реалізація методів поточного контролю за змінами стану здоров'я отруєних чадним газом Стрикун О.В., Бех І.І., Мамілов С.О.	186
Перспективи та проблеми терапевтичного застосування магнітних наночастинок ферум оксиду Шевченко В.М.	189
Вплив 2d-наночастинок сульфиду вольфраму на виживаність та молекулярно-структурні характеристики клітин карциноми легені льюїс in vitro Колесник Д.Л., Пяковська О.М., Гнатюк О.П., Довбешко Г.І., Посудієвський О.Ю., Соляник Г.І.	194
Фотоінактивація staphylococcus aureus in vitro монохроматичним світлом низької інтенсивності Вірич П.А., Надтока О.М., Вірич П.А., Куцевол Н.В.	198
Сучасні технології опромінення при раку молочної залози Соколовська М.В., Чорнай Г.Ю., Репецька І.М.	202
Доцільність комплексного застосування метамерно-сегментарної та стандартної електрокардіографії в діагностиці та лікуванні захворювань серця Невструєв В.П., Камінський С.М., Штанько В.Л., Гай О.І.	206
Pre-irradiation of a solvent – a way to respect the therapeutic efficacy of some water- soluble drugs Zabolotnyy M.A., Dovbeshko G.I., Orel V.E., Solyanik G.I., Kirkilevskaya L.N.	209
Термочасові зміни імпедансних спектрів тканин печінки, отриманих у широкому частотному діапазоні Приймак Т.В., Гасюк І.М., Попадинець О.Г.	216
Usage of high-frequency electric welding in vascular surgery Chernyak V.A., Karpenko K.K., Dubenko D.Ye., Muzichenko P.F.	220
Characteristic changes in the density and shear viscosity of human blood plasma with varying protein concentration Guslisty A.A., Alieva E., Fudulei N., Kulikov S.	224

Проведення променевої терапії пацієнтів рентгеноконтрастними включеннями Гуменюк К.В., Гуменюк М.Б., Крулько С.І.	3 227
Важливі аспекти променевої терапії в томоклінік з точки зору фізика Гуменюк М.Б., Гуменюк К.В., Крулько С.І.	231
Вплив ітерполяційних доповнень сигналів магнітно-резонансного відгуку у градієнтному k – просторі на інформативність Кияшко Ю.О., Нетреба А.В., Нагуляк О.О., Радченко С.П., Погорелов Р.В.	233
Порівняння доз опромінення пацієнта при використанні горизонтального та вертикального цифрового рентгенівського томосинтезу при дослідженнях органів грудної порожнини Мірошніченко О.С., Мірошніченко С.І., Невгасимий А.Н., Хобта Ю.В.	237
Використання синхронного сканування для розрахунку щільності тканин при томосинтезі Мірошніченко С.І., Мірошніченко О.С.	241
Features of elastic properties of nano composites multiwalled carbon nanotubes and polyvinyl chloride, polyethylene, porous polystyrene Onanko A.P., Kulish M.P., Dmytrenko O.P., Charnyi D.V., Onanko Y.A., Pinchuk-Rugal T.M., Aliksandrov M.A., Pavlenko O.L., Busko T.O., Rozhkovskiy O.M., Kurochka L.I., Polovina O.I., Ilyin P.P	245
Specificities of concentration dependences of shear, elastic modulus of irradiation nano composites multiwalled carbon nanotubes and polyethylene, polyvinyl chloride, foam polystyrene Onanko A.P., Kulish M.P., Dmytrenko O.P., Charnyi D.V., Onanko Y.A., Pinchuk-Rugal T.M., Aliksandrov M.A.	247
Радіаційна стимуляція накопичення вторинних метаболітів у сировині шавлії лікарської та розторопші плямистої Пчеловська С.А., Літвінов С.В., Шиліна Ю.В., Жук В.В., Листван К.В., Салівон А.Г., Тонкаль Л.В.	249
Digital x-ray tomosynthesis with continuous emission mode Miroshnichenko S., Nevgasymyi A., Senchurov S.	253
Метод радіобіологічного тестування нейтронозахватних агентів і установки для нейтронозахватної терапії Шевченко Ю.Б., Лавренчук Г.Й., Лібман В.А., Разбудей В.Ф., Червонна Л.Є., Тришин В.В.	257
Програмні методи пост обробки для збільшення контрастності на рентгенівських знімках області грудної клітини Радько Д.А., Мірошніченко С.І., Мірошніченко О.С., Єфімова В.В	260

Оцінка ефективності вісмутового фільтру для опромінювальної установки Шевченко Ю.Б., <u>Разбудей В.Ф.</u> , Червонна Л.Є., Лібман В.А., Тришин В.В.	264
Біологічна дія лазерного випромінювання Забулонов Ю.Л., Чарний Д.В., Чухраєв М.В., Черняк В.А., Карпенко К.К., Мусіч О.Г.	268
Possible plasma healthcare for operative gynecology Martysh E.V.	273

Медична фізика – сучасний стан, проблеми, шляхи розвитку. Новітні технології

Матеріали IX Міжнародної конференції
(Київ, 23–25 вересня, 2020 рік)

Підписано до друку 25.09.2020
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 13,49. Тираж 300 прим. Зам 348
Державне підприємство
«Редакція інформаційного бюлетеня
«Офіційний вісник Президента України»
01014, м. Київ, вул. Петра Болбочана, 8, корпус 6
Тел. / факс: 254-51-51

Свідоцтво про внесення
Суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
Видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 3862 від 18.02.2010