

# ЛЕКЦІЯ

Д.С. Мечев,  
О.В. Щербіна,  
М.М. Фірсова,  
О.М. Ключов

*Національна медична академія  
післядипломної освіти  
ім. П.Л. Шупика, Київ,  
Київський міський клінічний  
онкологічний центр*

## ПЕТ-КТ: теоретичні аспекти, роль в онкології та підготовка фахівців

PET-CT: theoretical aspects,  
role in oncology and specialists training

Зараз у світі інтенсивно розвиваються і широко впроваджуються у клінічну практику томографічні методи клінічної діагностики. Серед них важливе місце посідає позитронна емісійна томографія (ПЕТ), дуже чутливий, неінвазивний метод вивчення біохімічних і молекулярних процесів у організмі [1]. При різноманітних захворюваннях у більшості випадків порушення метаболізму передують морфологічним змінам, тому ПЕТ забезпечує ранню діагностику захворювань різних органів і систем.

### Теоретичні аспекти

Метод ПЕТ базується на використанні властивості ядерної нестабільності ізотопів з надлишком протонів. Під час переходу ядра у стабільний стан воно випромінює позитрон, пробіг якого закінчується зіткненням з орбітальним електроном і анігіляцією, в результаті якої виникають два гамма-кванти, що рухаються в діаметрально протилежних напрямках, і мають енергію 511 кеВ. Гамма-кванти можна зареєструвати за допомогою системи детекторів. Якщо два діаметрально протилежні детектори одночасно зареєструють сигнал, то можна твердити, що точка анігіляції розташована на лінії, яка з'єднує детектори. Підключивши останні до електронної схеми збігів, яка спрацьовує тільки при появі сигналів від обох детекторів, можна зафіксувати положення цієї лінії. Для визначення координат позитронвипромінюючого джерела коліматори не потрібні. Ця властивість ПЕТ набула назви «електронної колімації». Завдяки їй чутливість ПЕТ на 1–2 порядки вище порівняно з однофотонною емісійною комп'ютерною томографією. Такий вигравш чутливості дозволяє добитися більшої статистичної вірогідності при реконструкції зображень.

Для функціонування ПЕТ-центру необхідно мати циклотрон (з метою напрацювання позитронвипромінюючих радіонуклідів), біосинтезатор (для мічення різноманітних сполук радіонуклідами) і позитронний емісійний томограф (для дослідження пацієнтів). Придатними для ПЕТ є такі радіонукліди, як фтор-18, кисень-15, вуглець-11, азот-13, рубідій-82, галій-68 та інші. Найчастіше використовують радіофармпрепарат (РФП)  $^{18}\text{F}$ -фтордезоксиглюкозу ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ). Він зручний як з точки зору завдань, що вирішуються ПЕТ з використанням цього препарату, так і з погляду на зручний період напіврозпаду (110 хвилин). Цей РФП можна синтезувати в центрі, де є медичний циклотрон, а потім транспортувати в довколишні клініки, де циклотрон відсутній, але є позитронні емісійні томографи.

Найбільше значення ПЕТ має в онкології (більше 80% всіх досліджень), кардіології, неврології [1, 2]. Доцільне використання комбінованих (гібридних) апаратів, які забезпечують анатомічну прив'язку, якісне і швидке трансмісійне коригування зображень [3–5]. Найбільшого поширення набула комбінація ПЕТ і комп'ютерного томографа — ПЕТ-КТ. Клінічні дані свідчать про переваги ПЕТ-КТ перед ПЕТ і КТ, проведеними окремо. У клінічній практиці при застосуванні комбінованих апаратів ПЕТ-КТ поліпшується точність діагностики, особливо при застосуванні високоспецифічних РФП, коли відсутня візуалізація навколишніх анатомічних структур.

### Протокол дослідження для ПЕТ-КТ

1. Дослідження проводиться натщесерце.
2. Прийом пацієнтом розчинного йодованого контрасту (1000 мл) — за 1 годину до досліджен-

ня. Додатково — 200 мл контрасту безпосередньо перед дослідженням для контрастування шлунка і дванадцятипалої кишки.

3. Ін'єкція  $^{18}\text{F}$ -ФДГ.

4. Пацієнт у лежачому, розслабленому положенні мінімум 20 хвилин.

5. Випорожнення сечового міхура безпосередньо перед дослідженням.

6. Топограма.

7. Низькодозова КТ (від голови до дна таза). Дані трансмісійних вимірювань використовуються для корекції ослаблення.

8. Позитронно-емісійне томографічне дослідження.

9. Комп'ютерна томографія з контрастним підсиленням. КТ-протоколи мають бути пристосовані до конкретних завдань.

10. Програмне суміщення зображень апаратними методами і інтерпретація результатів.

При проведенні ПЕТ-КТ дослідження можуть використовуватися 2 типи КТ протоколів: низькодозова КТ для анатомічної локалізації метаболічних порушень і корекції ослаблення та діагностична КТ (з введенням контрасту за необхідності).

У стандартних протоколах ПЕТ-КТ використовують низькодозову КТ з низьким розрізненням зображення. Протягом останніх років у світі проводяться дослідні роботи з метою визначення ефективності проведення діагностичного КТ при ПЕТ-КТ [6]. Проводились дослідження з метою оцінки якості ПЕТ-зображень, реконструйованих за допомогою КТ з різним струмом на рентгенівській трубці. При дослідженні використовували ПЕТ-КТ системи General Electric та Philips. Зображення отримували на різних режимах струмів трубки — від діагностичних до низькодозових. Якість зображення КТ оцінювали шляхом вимірювання стандартного відхилення (SD) циліндричного фантома, заповненого водою. Якість ПЕТ-зображення оцінювали шляхом підрахунку активності сірої та білої речовини в 3D-зображенні фантома. Крім того, розраховували коефіцієнт дисперсії. Зважаючи на співвідношення білої та сірої речовини, коефіцієнт дисперсії та отримані дані після корекції ПЕТ-даних було зроблено висновки, що для стандартних досліджень небажано проведення низькодозової КТ. Діагностична КТ з контрастуванням при ПЕТ-КТ дослідженнях, за даними літератури, проводиться

лише в 30 % випадків. Показання для здійснення діагностичної КТ з контрастуванням визначає лікар ядерної медицини, який проводить ПЕТ-КТ дослідження.

### Роль ПЕТ-КТ в онкології

Показання для проведення позитронної емісійної томографії з  $^{18}\text{F}$ -ФДГ:

топічна діагностика пухлини;  
визначення поширеності процесу;  
оцінка ступеня злоякісності;  
ефективності лікування;  
своєчасна діагностика рецидивів;  
прогностичний тест [7].

У 2011 році введено в дію Центр ядерної медицини при Київському міському клінічному онкологічному центрі. Тут є свій циклотрон і два гібридні апарати ПЕТ-КТ — фірм Philips та General Electric. Всього на момент написання статті було обстежено близько 100 онкологічних хворих. Перший етап упровадження у клінічну практику був спрямований на такі завдання:

перевірка технологічного ланцюжка: циклотрон – біосинтезатор – контроль якості – проведення ПЕТ-КТ досліджень;  
відпрацювання методик ПЕТ та ПЕТ-КТ;  
вивчення: фармакодинаміки  $^{18}\text{F}$ -ФДГ;  
фізіологічного розподілу  $^{18}\text{F}$ -ФДГ, варіантів норми;  
нюансів інтерпретації ПЕТ та ПЕТ-КТ;  
обрахунок стандартизованого показника накопичення;  
верифікація результатів.

У своїй роботі ми не ставили за мету розгляд детальних результатів досліджень. Але слід зауважити, що в 4 хворих виявлено первинно-множинний рак (підтверджено біопсією). Було діагностовано як локалізацію первинної пухлини, так і регіонарні та віддалені метастази. На основі цієї інформації визначали оптимальну тактику лікування. В подальшому у деяких хворих планується провести контроль ефективності проведеного лікування. Наводимо 2 наших спостереження із застосуванням ПЕТ-КТ досліджень.

#### Спостереження 1

Пацієнтка С., 58 років. РФП:  $^{18}\text{F}$ -ФДГ. Ділянка обстеження: whole body. Показник цукру на момент обстеження: 3 ммоль/л. Діагноз: рак правої грудної залози, ст. Пб, T2N1M0, стан після комплексного лікування, кл. гр. II.

Діагноз встановлено 24.02.2009 р. ПГЗ №8715-28 від 3.03.09 р.: інвазивний протоковий рак (G2) з медулярними ознаками; у 2 лімфовузлах метастази раку.

Було проведено лікування: 26.02.09 р. — радикальна мастектомія правої грудної залози за Пейті з регіонарною лімфаденектомією, ексцизійна біопсія аксиллярного лімфовузла зліва. Променева терапія: з 15.06.09 р. по 15.07.09 р. — післяопераційний курс на шийно-надпідключичну зону — сумарна осередкова доза (СОД) 44 Гр та на парастернальну ділянку СОД 40 Гр; 6 курсів хіміотерапії, останній з 3.09.09 р. по 10.09.09 р.

Висновок: за даними поєднаного ПЕТ-КТ дослідження на момент обстеження зон патологічної гіперметаболічної активності РФП не візуалізується. Даних про наявність патологічного процесу немає — ефект комплексного лікування (рис. 1).

#### *Спостереження 2.*

Пацієнтка К., 62 роки. РФП: 18F-ФДГ. Ділянка обстеження: whole body. Діагноз: рак правої грудної залози, ст. Іа, T2N0M0, кл. гр. ІІ. ПГЗ №31268-81 від 2.10.2007: рак Педжета з внутрішньопроковим компонентом.

Проведено лікування: 27.09.2007 р. — сектор. + радикальна мастектомія за Мадденом справа. Променева терапія 02.07.2010 р. — на зону груднини СОД 30 Гр. Хіміотерапія — остання 8.12.2011 р.

Висновок: за даними поєднаного ПЕТ-КТ, на момент обстеження виявлено ділянку з патологічним накопиченням РФП в S6 правої частки печінки (підозра на метастаз). Інших даних про активність метаболічного процесу не виявлено (рис. 2).

#### **Підготовка фахівців**

У 2007 р. Європейська асоціація радіологів (EAR) і Європейська асоціація ядерних медиків (EANM) дійшли спільного рішення про співпрацю в галузі використання гібридних діагностичних систем. Системи ПЕТ-КТ, ОФЕКТ-КТ, ОФЕКТ-ПЕТ-КТ, ПЕТ-МРТ поєднують анатомічну та молекулярну інформацію і потребують компетенції й акредитації лікаря з двох спеціальностей (діагностичної радіології та ядерної медицини), а також співпраці з медичними фізиками, біохіміками, радіаційними хіміками, радіаційними фармакологами, біоінженерами і спеціалістами з

комп'ютерної техніки. До речі, ці спеціальності у класифікаторі медичних дисциплін МОЗ України відсутні.

У публікації цих асоціацій «Жовті сторінки мультимодальних зображень» (переклад українською мовою — [8]) пропонуються такі варіанти (складові) навчання залежно від інфраструктури, законодавства і економіки країни:

I. Повне навчання з обох спеціальностей (діагностична радіологія і ядерна медицина) може проводитися у тих країнах, де є можливості для індивідуального тренінгу великої кількості лікарів з двох фахів. Таке навчання надає можливість досконало освоїти обидві спеціальності та отримати відповідний європейський сертифікат. В цих випадках може бути підготовлений єдиний діагностичний радіолог (1–2 роки додаткового навчання в інтернатурі, але сумарно не більше 6 років) для роботи на гібридних системах.

II. Як додаткове навчання з іншої спеціальності при повному курсі основної первинної спеціалізації. Для ядерних медиків, крім основної програми, навчання включає оволодіння фізичними принципами та клінічними практичними навичками з УЗД, КТ, МРТ. Радіологам, окрім таких знань [8], потрібне вивчення питань радіофармації, біокінетики РФП, фізичних принципів та практичних навичок роботи з ОФЕКТ і ПЕТ. Таке навчання не включатиме інтервенційної радіології, радіоімунологічного аналізу та радіонуклідної терапії.

Для України цей варіант більш вигідний: спеціалізація з ядерної медицини 4 місяці плюс спеціалізація з діагностичної радіології 5 місяців (сумарно 9 місяців навчання) дозволить підвищити якість використання гібридної апаратури та забезпечити спеціальний сертифікат.

Для цього варіанту навчання може бути додано проведення постійних курсів підвищення кваліфікації (тематичне удосконалення – ТУ) на кафедрах діагностичної радіології і ядерної медицини – наприклад ТУ «ПЕТ-КТ», «ОФЕКТ-КТ», «ОФЕКТ-ПЕТ-КТ». Такої форми навчання в Західній Європі немає, але ж для України вона могла би бути дуже корисною (пропозиція авторів).

III. Ідеальна схема майбутньої інтеграції навчання: об'єднане навчання включатиме поєднання навчальних програм з ядерної меди-

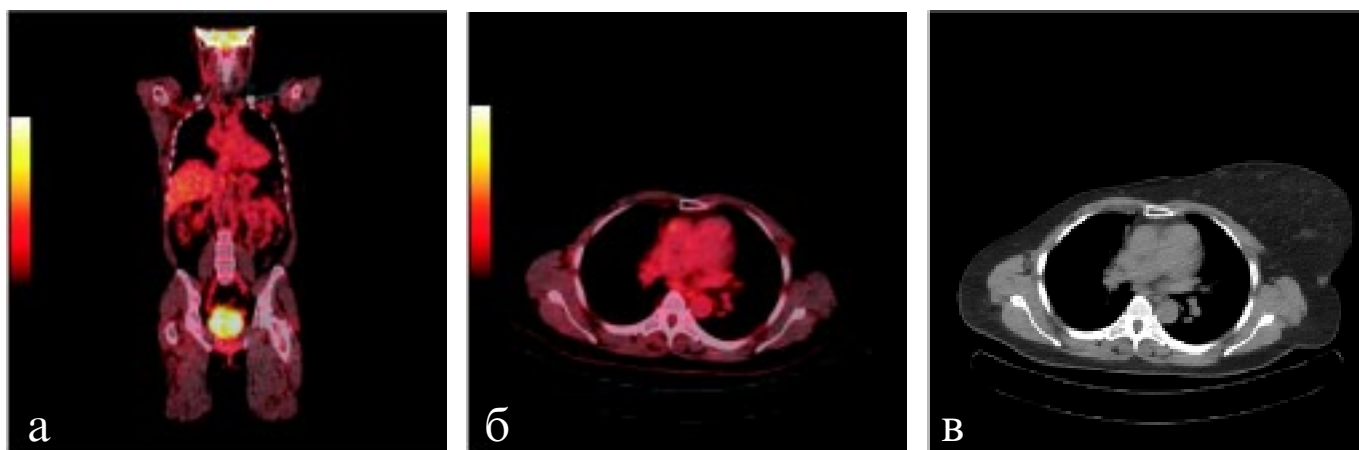


Рис.1. ПЕТ-КТ у хворій на рак правої грудної залози, стан після комплексного лікування: а — ПЕТ-КТ, фронтальний зріз; б — ПЕТ-КТ, аксіальний зріз; в — низькодозова КТ, аксіальний зріз

Fig. 1. PET-CT of the patients with breast cancer, the state after multimodality treatment: а — PET-CT, frontal section; б — PET-CT, axial section; в — low-dose CT, axial section

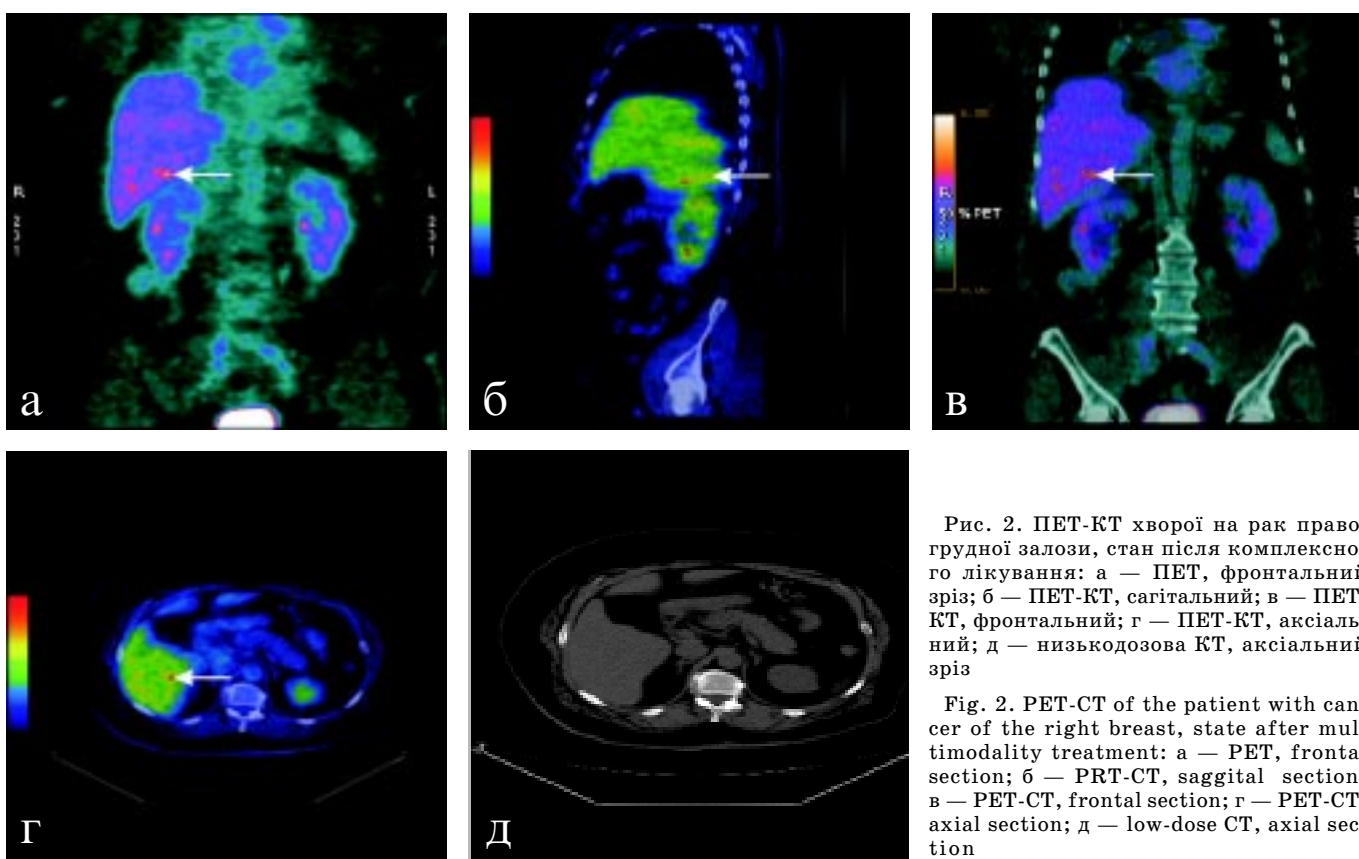


Рис. 2. ПЕТ-КТ хворій на рак правої грудної залози, стан після комплексного лікування: а — ПЕТ, фронтальний зріз; б — ПЕТ-КТ, сагітальний; в — ПЕТ-КТ, фронтальний; г — ПЕТ-КТ, аксіальний; д — низькодозова КТ, аксіальний зріз

Fig. 2. PET-CT of the patient with cancer of the right breast, state after multimodality treatment: а — PET, frontal section; б — PET-CT, sagittal section; в — PET-CT, frontal section; г — PET-CT, axial section; д — low-dose CT, axial section

цини та діагностичної радіології. Це — найперспективніше рішення, оскільки буде адаптоване і міститиме знання з анатомії, клітинної біології, генетики, біохімії, фізіології, а також включатиме необхідні фізичні бази стосовно мультимодальних зображень та основ безпеки пацієнта. Такі «гібридні» спеціалісти зможуть найкращим чином зробити вибір і призначення методів отримання діагностичних зображень (рентген, УЗД,

КТ, МРТ, ОФЕКТ, ПЕТ, мультимодальні зображення) найбільш адекватним і ефективним для пацієнта.

IV. Як найменш перспективний, але для окремих країн перехідний (до одного з трьох вищезначених) і тимчасовий шлях, можна пропонувати участь двох спеціалістів (ядерного медика і діагностичного радіолога) в оцінці, інтерпретації і постановці діагнозу; тобто для України поки за-

лишити все як є на сьогоднішній день. При цьому організацію проведення курсів ТУ (див. п. II) можна рекомендувати і в цьому випадку як початок генеральної перебудови (бажано по п. III) комплексного навчання радіологів.

У ряді країн (навіть Західної Європи) робочі складові практичного використання мультимодальних зображень і гібридних систем включають участь ядерних медиків для інтерпретації ядерно-медичних компонентів при обстеженні хворих (ПЕТ, ОФЕКТ) і участь діагностичних радіологів (КТ і в перспективі — МРТ) для інтерпретації анатомічного та патологічного компонентів з консультаціями обох спеціалістів стосовно остаточного діагнозу.

На закінчення цього розділу доцільно навести дані практичного досвіду використання ПЕТ-КТ [3]: зі 100 хворих, обстежених на ПЕТ, доповнення у вигляді КТ потребують приблизно 50 (залежно від локалізації і мети дослідження). Але це зовсім не означає, що підготовка єдиного радіолога не є основною проблемою сьогодні.

### Першочергові завдання

1. Сприяти широкому впровадженню ПЕТ-КТ і ОФЕКТ-КТ у клінічну практику шляхом оснащення відділень сучасними гібридними апаратами (за наявності циклотронів — у Києві діють 2).

2. Об'єднати зусилля (обмін досвідом) всіх працюючих у цих галузях спеціалістів з метою скорішого освоєння цих методів і виходу до аналітичного використання гібридних систем.

3. Пропонувати МОЗ України внести до класифікатора медичних спеціальностей такі: медичний фізик, радіохімік, радіофармацевт і забезпечити умови для їх навчання (спеціалізації) і підвищення кваліфікації (курси тематичного удосконалення, навчання на робочому місці, майстер-класи, участь у закордонних семінарах, науково-практичних конференціях (необхідна допомога фірм-виробників ПЕТ-КТ та ОФЕКТ-КТ).

4. В організації навчання фахівців України прийняти концепцію поступового переходу до європейських зразків.

### Література

1. Солодянникова О.И., Сукач Г.Г., Северин Ю.П., Войт Н.Ю. // Матер. наук.-практ. конф. «Актуальні питання використання сучасного рентгенологічного обладнання». // Промен. діагност., промен. тер. — К., 2007. — С. 59–65.
2. Абрамюк А., Цьофель К., Мечев Д.С. та ін. // УРЖ. — 2007. — Т. XV, вип. 4. — С. 408–412.

3. Труфанов Г.Е., Рязанов В.В., Дергунова Н.И. и др. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография (ПЭТ-КТ) в онкологии — СПб: «ЭЛБИ-СПб», 2005. — 105 с.
4. Мечев Д.С., Щербіна О.В. // Радіолог. вісн. — 2008. — №1. — С. 23–26.
5. Мечев Д.С., Щербіна О.В. Наукові статті та тези доповідей // Промен. діагност., промен. тер. Наук.-практ. конф. «Актуальні питання використання сучасного рентгенологічного обладнання». — К., 2007. — С. 59.
6. Sora Nam, Hee-Joung Kim, Ji young Jung, Hyo-Min Cho, Chang-Lae Le. // Nucl. Science sympos. Conference record. — NSS'07.IEEE, 2007 — P. 3436–3439.
7. Schiepers C., Hoh C. // European Radiology. — 1998. — Vol. 8, №8. — P. 1481–1494.
8. Мечев Д.С., Фірсова М.М. // Рад. вісн. — 2007. — № 5–6. — С. 8–12.

Надходження до редакції 29.02.2012.

Прийнято 29.02.2012.

Адреса для листування:  
Мечев Дмитро Сергійович,  
Національна медична академія післядипломної освіти  
ім. П.Л. Шупика,  
вул. Дорогожицька, 9, Київ, 04112, Україна