

## РАДІОНУКЛІДНА АНАТОМІЯ І ФІЗІОЛОГІЯ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

### 1. Методи дослідження головного мозку

Методи ядерно-медичної візуалізації існують вже понад 50 років і продовжують активно розвиватися завдяки появі сучасної техніки, поліпшенню її якості, розробці більш ефективних алгоритмів обробки радіонуклідного зображення, а також синтезу нових радіофармацевтичних препаратів (РФП). Сучасна радіонуклідна нейровізуалізація представлена такими методами діагностики, як планарна сцинтиграфія, однофотонна емісійна комп'ютерна томографія (ОФЕКТ) та позитронна емісійна томографія (ПЕТ).

До середини 70-х років сцинтиграфія головного мозку була єдиною неінвазивною методикою, яка дозволяла візуалізувати церебральні пухлини. Серійна сцинтиграфія, одержання ранніх і відстрочених радіонуклідних зображень дозволяли диференціювати такі новоутворення, визначати швидкість мозкового кровообігу, а використання радіоактивних газів надало змогу виміряти об'ємний мозковий кровообіг. Але поява комп'ютерної томографії (КТ), а пізніше і магнітно-резонансної томографії (МРТ) призвела до звуження спектра клінічного застосування радіонуклідних методів і, водночас, спричинила виникнення нових методів радіонуклідної діагностики, якими є ОФЕКТ та ПЕТ. Сьогодні планарна сцинтиграфія втратила своє практичне значення для діагностики церебральної патології, використовуючись лише у випадку діагностики смерті мозку.

Зазвичай КТ або МРТ значною мірою вирішують проблеми діагностики церебральної патології, але у певних клінічних умовах методи радіонуклідної діагностики надають важливу інформацію щодо функції головного мозку, його кровопостачання, метаболізму та наявності патологічних змін.

### 2. ОФЕКТ головного мозку

#### 2.1. Принцип методу

Основною складовою однофотонного емісійного комп'ютерного томографа є детектор, який складається з кристала, фотомножинної трубки (ФМТ) та аналізатора з лічильником.

Сцинтиляції (спалахи), що виникають у кристалі під дією іонізації після проходження через ФМТ, обумовлюють появу лавини слабеньких спалахів, які перетворюються в потік електронів.

Важливим компонентом детектора є свинцевий коліматор, який оточує кристал. Він виконує як захисну, так і направляючу роль щодо гамма-випромінювання. Існують різні варіанти коліматорів, наприклад паралельні, фокусуючі або фан-бім коліматори. Для проведення ОФЕКТ головного мозку використовують низькоенергетичні коліматори високого розподілення.

Недоліком є той факт, що коліматори обумовлюють зниження об'єму інформації та послаблюють просторове розподілення ОФЕКТ-детектора. Але для ПЕТ-сканерів коліматори не потрібні завдяки принципу електронної колімації — збіг двох фотонів і можливості їх одночасного детектування. Відсутність коліматора сприяє тому, що чутливість ПЕТ на 1-2 порядки вища, ніж ОФЕКТ.

На якість емісійних томограм впливають тип руху детекторів, радіус їх обертання, реконструкція зображення та їх фільтрація.

При проведенні церебральної томографії детектор обертається навколо пацієнта: а) безперервно, б) дискретно — шляхом одержання великої кількості проєкцій ("step and shoot").

Радіус обертання детектора ОФЕКТ є важливим фактором, який впливає на якість томографії. Детектор має бути максимально наближений до пацієнта. Це збільшує статистику зображення за рахунок збільшення числа зібраних фотонів і, крім цього, поліпшує просторове розподілення.

Після завершення збору даних проводиться реконструкція зображення. Існує два основних методи реконструкції — зворотної проєкції та ітеративний.

При зворотній проєкції всі сигнали, одержані під час обертання гамма-камер, представлені у двох-проєкційному зображенні, у якому фотони від структур, розташованих перпендикулярно до поверхні камери, накладаються один на один. Тобто така реконструкція є процесом зворотним збору інформації. Такий спосіб реконструкції сприяє появі на реконструйованих зображеннях високого фону або обумовлює нечіткість зображення. Недоліком такого методу є непропорційне співвідношення досліджених структур та фону, що зумовлює появу ефекту «зірки» навколо зображення та обумовлене малою кількістю проєкцій. Обидва ці ефекти компенсуються при проведенні фільтрації даних.

На сьогоднішній день існує декілька типів математичних фільтрів зображення, зокрема Parzen, SheepLogan, Butterworth та інші. Їхнє застосування їх є процесом суб'єктивним і залежить в першу чергу від досвіду спеціаліста з ядерної медицини, знання нейроанатомії, величини введеної пацієнту радіоактивної мітки та ін.

#### 2.2. Апаратура

Сьогодні розрізняють декілька типів ОФЕКТ: ододетекторні, двох-, трьохдетекторні та спеціалізовані мультидетекторні томографи (рис. 1).

Чутливість ОФЕКТ зростає пропорційно кількості детекторів. Тому застосування багатодетекторних



Рис. 1.  
Спеціалізований  
ОФЕКТ для діагно-  
стики церебральної  
патології

ОФЕКТ є найбільш виправданим, а тому більшість новітніх діагностичних ОФЕКТ представлені переважно двоходетекторними системами.

Спеціалізовані ОФЕКТ були розроблені для проведення дослідження «малих» об'єктів, зокрема головного мозку чи грудної залози. Перевагою цих систем є їх порівняно низька вартість, вище просторове розподілення та висока швидкість проведення досліджень.

### 2.3. Радіофармпрепарати для дослідження головного мозку

Для діагностики церебральної патології застосовуються РФП, які умовно можна розділити на три групи:

- 1) речовини, що не проникають через неушкоджений ГЕБ, переважно застосовуються для діагностики пухлин головного мозку, так звані туморотропні РФП (тРФП);
- 2) ті, що проникають через ГЕБ у нормі і застосовуються для вивчення перфузії головного мозку (перфузійні РФП);
- 3) РФП для вивчення нейротрансмісії.

#### Туморотропні РФП

На сьогоднішній день у діагностиці пухлин головного мозку застосовуються кілька РФП, серед них в першу чергу необхідно відзначити талій-201 хлорид ( $^{201}\text{Tl}$ ), метоксиізобутилзонітрил, мічений технецієм- $^{99\text{m}}\text{Tc}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МІБІ), димеркаптосукцинацетат  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (V)-ДМСА), йодметилтирозин, мічений йодом-123 ( $^{123}\text{I}$ -ІМТ) та інші.

**$^{201}\text{Tl}$ -хлорид.** Цей РФП є одним із найбільш широко застосованих у світі для діагностики церебральних пухлин, в організмі відіграє роль аналога калію. Синтезований для дослідження перфузії міокарда,  $^{201}\text{Tl}$ -хлорид виявився придатним для діагностики пухлин головного мозку. Нагромадження цього РФП у пухлинній тканині залежить від мозкового кровотоку, проникності гематоенцефалічного бар'єру (ГЕБ) та від активності Na/K-АТФази. Недоліками цього радіоіндикатора є тривалий період напіврозпаду (73 год), низька енергія гамма-випромінювання (68-80 кеВ) та неспецифічне нагромадження в непухлинних утвореннях. Також  $^{201}\text{Tl}$ -хлорид одержують на циклотронному виробництві, що обумовлює його високу вартість.

Відома також велика група туморотропних РФП, мічених  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетатом, проте сам  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетат за своїми фізико-хімічними властивостями може ефективно застосовуватись з цією метою.

**$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетат.** Починаючи від періоду відкриття у 1938 році до сьогодні ця радіомітка найбільш широко (85% випадків) застосовується у медичній практиці і, зокрема, в нейроонкології.

Цьому сприяють оптимальні діагностичні характеристики  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетату, зокрема прийнятна для реєстрації енергія випромінювання (140 кеВ), відносно короткий, але достатній для проведення дослідження період напіврозпаду (6,02 год), а також можливість використання цього препарату з генераторних систем (рис. 2).

При застосуванні цього РФП у нейроонкологічних хворих необхідно провести блокаду щитоподібної залози за допомогою перхлоратів з метою зменшення променевого навантаження на пацієнта.



Рис. 2. Радіонуклідний генератор  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

**$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МІБІ.** Схожий за своїми властивостями з  $^{201}\text{Tl}$  і синтезований для вивчення перфузії міокарда,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МІБІ був вперше застосований O'Tuama L.A. et al. для діагностики продовженого росту астроцитом стовбура мозку. Подальші дослідження довели, що ефективність діагностики пухлин мозку за допомогою  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МІБІ за чутливістю та специфічністю є порівняною з  $^{201}\text{Tl}$ .

Особливо важливою характеристикою МІБІ є той факт, що цей РФП вимивається з пухлинної клітини Р-глікопротеїном — білком, який має виражені детоксикаційні властивості і здатний виводити з клітини токсичні речовини. Р-глікопротеїн є мембрано зв'язаним білком, кодованим геном хіміорезистентності (MDR1) і діє як очисна помпа щодо протипухлинних агентів, спричиняючи хіміорезистентність новоутворення. Існує кілька чітких ознак того, що МІБІ також транспортується з клітини Р-глікопротеїном.

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрофосмін подібно до  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МІБІ і  $^{201}\text{Tl}$ -хлориду був синтезований для дослідження перфузії міокарда. Однак у подальшому він виявив можливість як туморотропний радіоіндикатор. Радіохімічні характеристики  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрофосміну та його транспорт у клітину практично не відрізняються від МІБІ, тому результати дослідження з цими РФП цілком співставні як за чутливістю, специфічністю, так і за точністю диференційної діагностики.

$^{99\text{m}}\text{Tc}$  глюкогептонат ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ГГА), мічений  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетатом, — хімічний аналог глюкози. Дані  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ГГА ОФЕКТ у пацієнтів з пухлинами головного мозку корелюють із результатами дослідження, проведеними з  $^{201}\text{Tl}$ -хлоридом.

**$^{99\text{m}}\text{Tc}$ (V)-ДМСА.** Застосовується для диференційної діагностики аденом гіпофіза, досі застосовувався для діагностики пухлин соматичної локалізації.

З успіхом для діагностики пухлин головного мозку можуть застосовуватись аналоги соматостатину, зокрема  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тектротид,  $^{111}\text{In}$ -октреотид або мічені  $^{123}\text{I}$  амінокислоти.

#### Перфузійні РФП

Існує кілька РФП для вивчення мозкової перфузії, серед яких найвідоміші  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO (гексамети-

ленпропіленамін оксим) та  $^{99m}\text{Tc}$ -ECD (етиленцистеїнат димер).

Це ліпофільні агенти, які перетинають ГЕБ вже при першому проходженні через головний мозок, після чого метаболізуються у гідрофільну форму, що не дозволяє їм повернутися у судинне русло. Розподіл цих РФП у мозковій тканині відбувається відповідно до рівня кровопостачання- більшою мірою у сірій і меншою – в білій речовині головного мозку

$^{99m}\text{Tc}$ -ECD за своїми фармако-динамічними властивостями схожий на  $^{99m}\text{Tc}$ -HMPAO, але на відміну від нього має вищу стабільність та зберігається довший час після приготування.

#### *РФП для нейротрансмісії*

$^{123}\text{I}$ -ioflupane, комерційна назва «DaTSCAN», РФП, що застосовується для діагностики дофамінових рецепторів головного мозку. Має високу афінність до транспортерів дофаміну. Застосовується для діагностики хвороби Паркінсона, диференційної діагностики цього захворювання від інших розладів зі схожими симптомами.

#### **2.4. Показання до проведення дослідження**

Однофотонна емісійна комп'ютерна томографія дозволяє з успіхом вирішувати завдання діагностики у неврології, нейрохірургії та психіатрії, а саме:

- при церебральних новоутвореннях: для диференціації пухлин, діагностики ступеня злоякісності гліом, визначення продуктивного росту, рецидиву, малігнізації пухлин, оцінки ефективності лікування, діагностики ділянок проліферації пухлини;
- при порушеннях мозкової перфузії: для діагностики й оцінки цереброваскулярних захворювань, визначення типу деменції, передопераційного уточнення локалізації епілептичного вогнища, оцінки змін церебральної перфузії при черепно-мозковій травмі;
- при рухових порушеннях (діагностика нейротрансмісії): для диференційної діагностики хвороби Паркінсона тощо.

#### **2.5. Методика дослідження**

##### *Підготовка пацієнтів до дослідження*

При проведенні досліджень пацієнтам з туморо-тропними РФП спеціальна підготовка не потрібна. Водночас при дослідженні з перфузійними чи нейротрансмітерними РФП застосовується ретельна підготовка пацієнта:

- пацієнти повинні по можливості уникати прийому речовин, що впливають на мозковий кровотік чи трансмісію;
- перед введенням РФП необхідно розмістити пацієнта в затишній, мало освітленій кімнаті, інструктувати пацієнта не закривати очі і вуха; забезпечити його зручне положення; також рекомендовано встановити в/в катетер за 10 хвилин до введення РФП; інструктувати пацієнта не говорити і не читати, а також по можливості не контактувати з пацієнтом 5 хв до, протягом та 5 хв після введення РФП;
- пацієнти з психічними розладами мають бути під постійним спостереженням;
- хворим з неврологічним дефіцитом мають бути забезпечені спеціальні умови;
- у разі потреби проводиться седативна терапія хворого, проте введення седативних речовин доціль-

не лише після ін'єкції РФП.

Вимоги до підготовки пацієнта вимагали направлено на ОФЕКТ, схожі при проведенні ПЕТ.

— перед введенням  $^{99m}\text{Tc}$ - пертехнетату проводиться блокування щитоподібної залози та хоріоїдальних сплетень головного мозку шляхом прийому пацієнтом 0,5 г перхлорату калію, натрію чи амонію.

#### *Приготування РФП*

Завжди необхідно використовувати для в/в введення лише свіжий елюат (не більше 2 години після змивання) та не використовувати пертехнетат, отриманий з генератора, що не промивався більше 24 годин.

Щоб уникнути збільшення променевого навантаження, пацієнтові необхідно запропонувати випорожнити сечовий міхур протягом перших 2 години після ін'єкції РФП.

#### *Введення РФП*

- а.  $^{99m}\text{Tc}$ -ГМПАО вводять не раніше 5 хв і не пізніше 30 хв після приготування.
- б.  $^{99m}\text{Tc}$ -ЕЦД — не раніше 10 хв і не більше 4 години після приготування.
- в. Туморо-тропні РФП вводять зразу після їх приготування.
- г.  $^{123}\text{I}$ -ioflupane. ОФЕКТ проводять зразу після приготування.

#### *Час проведення досліджень:*

- $^{99m}\text{Tc}$ -ГМПАО/ $^{99m}\text{Tc}$ -ЕЦД. Оптимальне зображення може бути отримане через 20/40 хв після введення РФП.
- $^{99m}\text{Tc}$ - пертехнетат. Одержують зображення через 1 – 1,5 години після ін'єкції.
- $^{99m}\text{Tc}$ -МІБІ — через 20 хвилин,  $^{99m}\text{Tc}$ (V)ДМСА — через 2 години після ін'єкції.
- $^{123}\text{I}$ -ioflupane — через 3 години після ін'єкції.

По можливості зображення мають бути отримані протягом 4 годин після введення РФП. Триваліша затримка не бажана.

#### *Діагностична активність РФП*

Туморо-тропні та перфузійні РФП вводять активністю 555–1110 МБк (15–30 мКі), нейротрансмітерні — 111–185 МБк (3–5 мКі).

#### *Параметри ОФЕКТ*

1. Перед проведенням процедури пацієнт повинен випорожнити сечовий міхур.

2. Пацієнт має бути укладений з максимальним комфортом. Незначні відхилення від аксіальної осі можуть бути виправлені в більшості діагностичних систем під час обробки зображення.

3. Голова пацієнта має бути злегка фіксована, аби зменшити рухи протягом дослідження, проте жорстка фіксація голови не бажана.

4. Необхідно використовувати мінімально можливий радіус обертання детектора.

5. Рекомендується використовувати коліматори високої або ультрависокої розподільної здатності (LEHR, LEUHR).

6. Доцільніше застосовувати фокусуючі коліматори порівняно з паралельними.

7. Доцільніше використання матриці 128x128. В окремих випадках допускається використання матриці 64x64.

8. При використанні матриці 128x128 для формування зображення необхідний збір не менше 120 проєкцій. При матриці 64x64 — не менше 60 проєкцій.

9. Томографія в режимі безперервного руху детектора більш доцільна.

При проведенні перфузійної ОФЕКТ можливе проведення функціональних навантажень для оцінки цереброваскулярного резерву при транзиторних ішемічних атаках (ТІА), при інсульті і судинних аномаліях (наприклад, артеріо-венозних мальформаціях), в диференціальній діагностиці судинної і нейрональної причин деменції.

Основним видом навантаження є вазодилатація з ацетазоламідом, нітрогліцерином, німотопом тощо.

## 2.6. Обробка результатів

1. Отримані проєкційні дані мають бути оброблені за допомогою фільтрів реконструкції. Доцільно вибирати найбільш детальний фільтр реконструкції (наприклад, Butterworth), який, проте, дозволяє формувати адекватне зображення.
2. По можливості необхідно реконструювати зображення головного мозку в цілому, включаючи мозочок і тім'яні ділянки, та проводити реконструкцію зрізів завтовшки в один піксель.
4. Корекція послаблення має бути виконана у всіх випадках.
5. Доцільна реконструкція зрізів в трьох площинах.

### Опис

Опис дослідження повинен вказати на локалізацію, число, форму, вираженість дефектів, їх кореляцію з морфологічними і клінічними змінами, якщо це можливо, подати диференційний діагноз і значущість патологічних змін. Висловлювання мають бути обережними, аби уникнути натяків на існування зв'язку між отриманими зрізами і неврологічними порушеннями.

В описі повинна бути подана візуальна оцінка зони інтересу, порівняння з наявними базами даних, відповідними посиланнями, по можливості застосовуються напівкількісні показники зображень.

## 3. Радіонуклідна анатомія головного мозку при ОФЕКТ-дослідженні

### 3.1. Візуалізація головного мозку в нормі

Аналіз ОФЕКТ-зображень проводиться поетапно. Першим етапом є візуальна, якісна оцінка одержаних емісійних томограм, при якій визначається правильність розподілу радіоактивності у мозкових та ек-

трацеребральних тканинах, наявність вогнищевих утворень, їх уточнена локалізація, форма, структура, розповсюдження тощо.

З метою поліпшення діагностичних та особливо диференційно-діагностичних можливостей ОФЕКТ, поряд з якісною оцінкою зображення, проводиться також напівкількісний аналіз томограм та розрахунок коефіцієнта асиметрії (КА), який є результатом співвідношення радіоактивності у зоні інтересу до радіоактивності контралатеральної ділянки (в імпульсах за хвилину). Як правило, цей показник розраховується лише на аксіальних зрізах.

Серед кількісних показників відмічається також розмір виявленого патологічного вогнища, який надає змогу робити висновки про розповсюдженість утворення та динаміку його росту. Однак іноді чітко виміряти розмір патологічного утворення неможливо у зв'язку з його виразною неоднорідністю, нечіткістю контурів та специфічним розташуванням.

### При застосуванні туморотропних РФП

<sup>99m</sup>Tc(V)-ДМСА в нормі не проникає у неушкоджену мозкову тканину, і розподіл його відбувається лише в екстрацеребральних структурах: у диплоє, скальпі, мозкових оболонках та кістках лицевого черепа. Емісійно-томографічна картина розподілу цього РФП у нормі не відрізняється від такої самої при застосуванні <sup>99m</sup>Tc-пертехнетату (рис. 3).

При дослідженні з <sup>99m</sup>Tc-МІБІ нагромадження РФП спостерігається також і у хоріоїдальних сплетеннях шлуночків головного мозку, тому відповідно до їх розташування відмічаються вогнища інтенсивного нагромадження радіоактивного індикатора (рис. 4).

При дослідженні з <sup>99m</sup>Tc-пертехнетатом іноді відмічається посилене нагромадження радіоіндикатора в проєкції венозних синусів твердої мозкової оболонки, в проєкції великої вени мозку (Галена) та базальних вен (Розенталя). Можливо, така картина обумовлена наявністю венозного застою.

### При застосуванні перфузійних РФП

Розподіл препаратів для вивчення мозкової перфузії, <sup>99m</sup>Tc-ГМПАО та <sup>99m</sup>Tc-ЕЦД, в нормі відбувається відповідно до рівня кровопостачання відповідних ділянок головного мозку (рис. 5).

Найвищий рівень нагромадження РФП відмічається в проєкції обох півкуль мозочку, виразніше — в задньоконвексимальних відділах, що відповідає локалізації церебелярної кори. Також посилена радіоак-

## Променеві навантаження при проведенні емісійної томографії у дорослих

Радіофармпрепарат	Критичний орган	Ефективна доза, мЗв/МБк
Tc-99m ГМПАО	нирки	0,0093
Tc-99m ЕЦД	стінка жовчного міхура	0,011
<sup>99m</sup> Tc-пертехнетат	кишечник	0,0130
<sup>99m</sup> Tc-МІБІ	кишечник	0,0150
<sup>99m</sup> Tc(V)-ДМСА	нирки	0,0390
<sup>99m</sup> Tc-ГМПАО	нирки	0,0093
<sup>99m</sup> Tc-ЕЦД	стінка жовчного міхура	0,011
<sup>123</sup> I-ioflupane	стінка жовчного міхура	0,024
<sup>18</sup> F-ФДГ	сечовий міхур	0,019

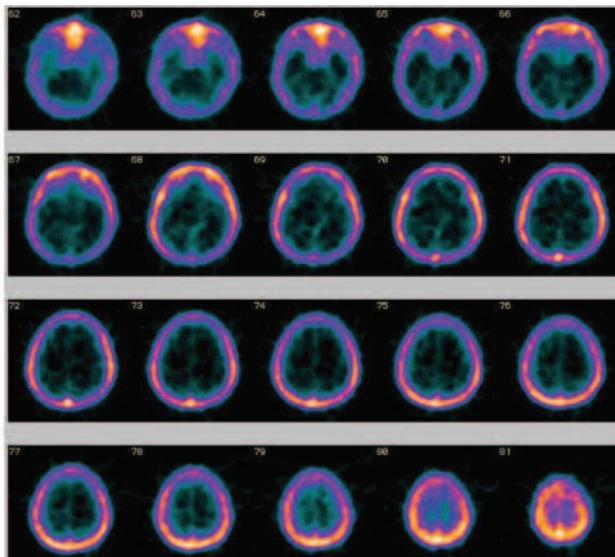


Рис. 3.  $^{99m}\text{Tc}$ -ОФЕКТ головного мозку без вогнищевої патології мозку. Гіперфіксація РФП спостерігається лише в екстрацеребральних структурах

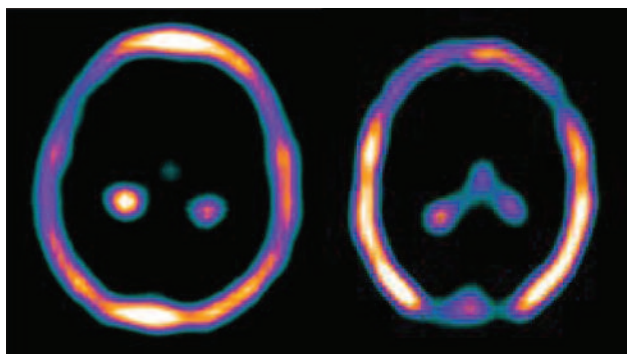


Рис. 4. ОФЕКТ головного мозку з  $^{99m}\text{Tc}$ -МІБІ (зліва) та  $^{99m}\text{Tc}$ -тетрофосміном (справа) без вогнищевої патології головного мозку. Гіперфіксація РФП спостерігається лише в екстрацеребральних структурах та судинних сплетеннях шлуночків головного мозку

тивність відмічається в ділянці зорового пагорба мозку та в проекції базальних гангліїв симетрично з обох боків. При проведенні корекції послаблення візуалізація цих базальних мозкових структур є більш інтенсивною, ніж без корекції. Фізіологічне гіпернагромадження радіоіндикатора спостерігається у конвексальній та медіальній корі великих півкуль головного мозку. У білій речовині великих півкуль головного мозку, навпаки, спостерігається відносно знижене нагромадження РФП, а в проекції бічних шлуночків — практично повна його відсутність. Межа між білою речовиною і шлуночками мозку є, як правило, нечіткою. Незважаючи на досить високу роздільну здатність мультidetекторних систем, основним завданням ОФЕКТ-зображень є оцінка відносного регіонарного мозкового кровотоку, а не структурних деталей головного мозку.

При застосуванні матриці  $128 \times 128$  томографічне зображення функції головного мозку є більш чітким і деталізованим (рис. 6).

При дослідженні необхідно пам'ятати, що умови проведення дослідження, зокрема наявність додаткових подразників, наприклад слухових, візуальних, може мати істотний вплив на результати перфузійної ОФЕКТ.

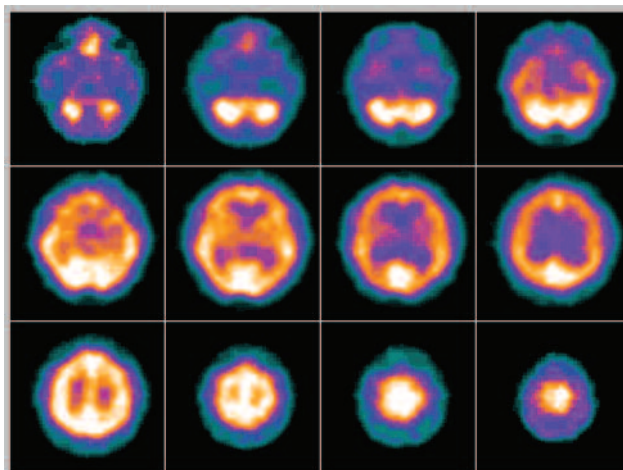


Рис. 5.  $^{99m}\text{Tc}$ -ГМПАО ОФЕКТ головного мозку без ознак вогнищевої патології. Матриця  $64 \times 64$ . Пояснення в тексті

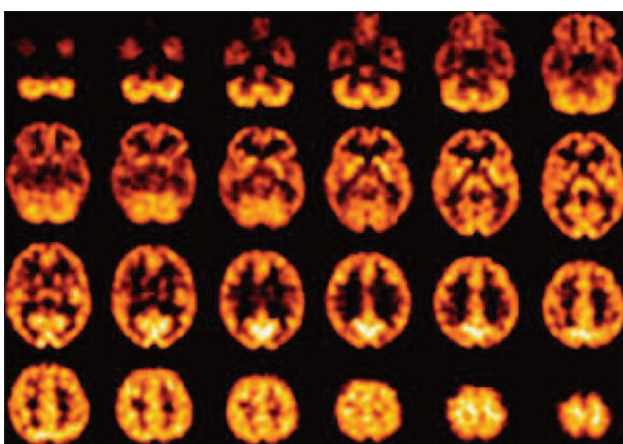


Рис. 6.  $^{99m}\text{Tc}$ -ЕЦД ОФЕКТ головного мозку без ознак вогнищевої патології. Матриця  $128 \times 128$ . Пояснення в тексті

При дослідженні допамінових рецепторів головного мозку на емісійних томограмах у нормі відмічається інтенсивна візуалізація базальних гангліїв, але із розвитком захворювання чіткість візуалізації втрачається (рис. 7). Афінність цих РФП до структур базальних гангліїв настільки висока, що інші церебральні структури при такому дослідженні не візуалізуються.

### 3.2. Інтерпретація ОФЕКТ-зображень в нормі

Перфузійні емісійні томограми головного мозку аналізуються щодо симетричності розподілу РФП у півкулях головного мозку, збереження безперервності смуги перфузії в сірій речовині коркових відділів.

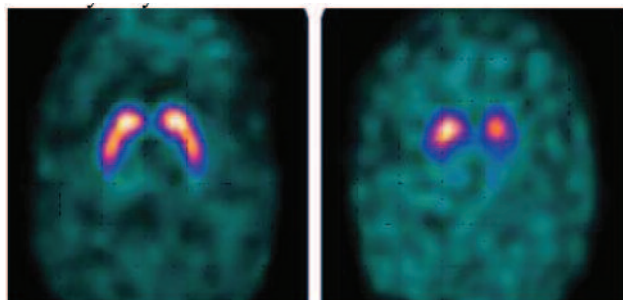


Рис. 7. Зліва. ОФЕКТ з DaTSCAN. Зліва — в нормі, справа — при хворобі Паркінсона

Загалом, змінена перфузія оцінюється як посилене (гіперперфузія) або знижена (гіпоперфузія) щодо перфузії в симетричній ділянці контралатеральної півкулі головного мозку.

Гіперперфузія – підвищення перфузії у зоні інтересу, щодо неушкодженої мозкової тканини. Як правило діагностується лише у двох випадках:

а) при синдромі "надлишкової перфузії" ("luxury perfusion"), який іноді діагностується у пацієнтів на 5 - 10 день після гострого порушення мозкового кровообігу та зберігається до 20 днів після інсульту;

б) в епілептичному вогнищі, що виявляється у період епілептичного нападу на ОФЕКТ (при проведенні іктальних чи перинтеріктальних досліджень).

У всіх інших випадках діагностується гіпоперфузія. Гіпоперфузія – зниження мозкової перфузії, обумовлене будь-яким патологічним процесом, що супроводжується редукцією кровотоку (ішемічний чи геморагічний інсульт, інтракраніальна пухлина, забій головного мозку, внутрішньомозкова гематома, нейродегенеративні захворювання тощо). Іноді відмічається гіпоперфузія не патологічного, а функціонального характеру, наприклад діасхіз (феномен Монакова). Найчастіше діагностується кросцеребральний діасхіз – зниження перфузії в півкулі мозочка контралатерально локалізації зони ушкодження у великій півкулі (рис. 8)

Це явище зумовлене депресією метаболізму в інтактних відділах головного мозку, розташованих на відстані від вогнища ішемії, але функціонально пов'язаних з ним, що характеризуються пропорційним зниженням мозкового кровотоку, що має функціональний характер.

Патологічні процеси, які змінюють регіонарну перфузію головного мозку, спричиняють ділянки підвищеної або зниженої радіоактивності залежно від змін кровотоку щодо неушкодженої суміжної тканини мозку. Під час аналізу таких ділянок відмічається їх розповсюдженість, локалізація, ступінь виразності. Оскільки анатомічні деталі ОФЕКТ-зображення обмежені, більш точна локалізація виявлених аномалій може бути досягнута шляхом візуального порівняння або поєднання зображень ОФЕКТ із відповідними КТ- або МРТ-зрізами.

#### 4. Радіонуклідна анатомія головного мозку при ПЕТ-дослідженнях

Нині відома велика кількість РФП для ПЕТ, що дозволяє застосовувати цей метод для вивчення біологічних процесів *in vivo* для оцінки метаболізму глю-

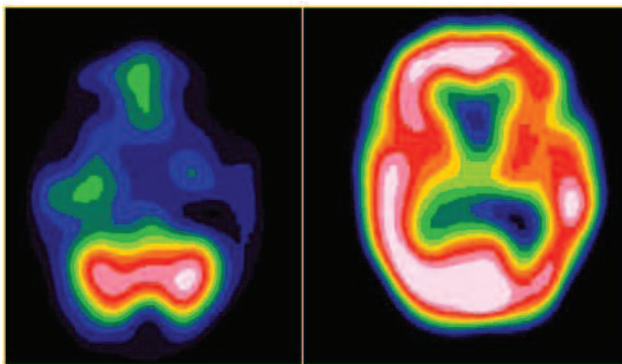


Рис. 8.  $^{99m}\text{Tc}$ -ГМПАО ОФЕКТ хворого з редукцією кровотоку в басейні лівої ВСА (права томограма) та правобічним кросцеребральним діасхізом (ліва)

кози, кисню, води, транспорту амінокислот і синтезу білків, для оцінки швидкості проліферації пухлинних клітин, виявлення тканинної гіпоксії тощо.

Але основним радіофармапрепаратом для церебральної ПЕТ є фтордезоксиглюкоза, мічена 18-фтором ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ).

Найвищий рівень метаболізму глюкози відмічається в проекції півкуль мозочку, в ділянці таламуса та базальних гангліїв. Гіперметаболізм спостерігається також у корі великих півкуль головного мозку. У білій речовині великих півкуль головного мозку відмічається відносно знижений метаболізм; в проекції бічних шлуночків – метаболізм відсутній.

Рівень метаболізму фтордезоксиглюкози змінюється з віком, при цьому іноді відмічаються значні зміни в коркових відділах головного мозку. Виражене зниження метаболізму фронтальних часток головного мозку поєднується з нормальним старінням і діагностується досить часто, тоді як метаболізм у таламусі, базальних гангліях, мозочку і зоровій корі, як правило, не змінюється з роками.

Розподіл  $^{18}\text{F}$ -ФДГ відображає не тільки регіональний метаболізм глюкози, а також регіонарний кровотік, тому позитронні томограми візуально схожі на такі самі при однофотонній томографії, однак мають вищу деталізацію зображення (рис. 9).

Показання для проведення  $^{18}\text{F}$ -ФДГ-ПЕТ головного мозку.

1. Нейроонкологія: уточнення характеру вогнищевого утворення головного мозку, визначення розмірів пухлини, визначення ступеня злоякісності пухлин (рис. 10), вибір місця для стереотаксичної біопсії, оцінка радикальності видалення пухлини, диференціальна діагностика продовженого росту пухлини та променевого ураження, моніторинг ефективності консервативного лікування новоутворень.
2. Епілепсія: діагностика епілептичного вогнища перед оперативним втручанням.
3. Судинні захворювання головного мозку: диференціальна діагностика інсульту і пухлини, визначення виразності стенозу сонної артерії
4. Травми головного мозку: визначення поширеності ураження мозкової тканини при травмах головного мозку.

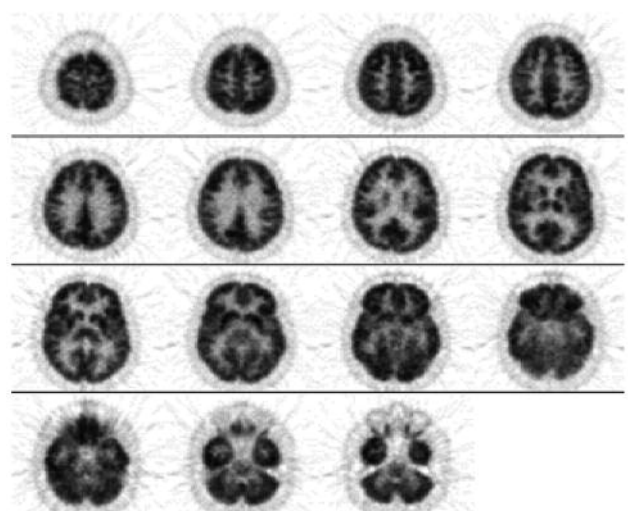
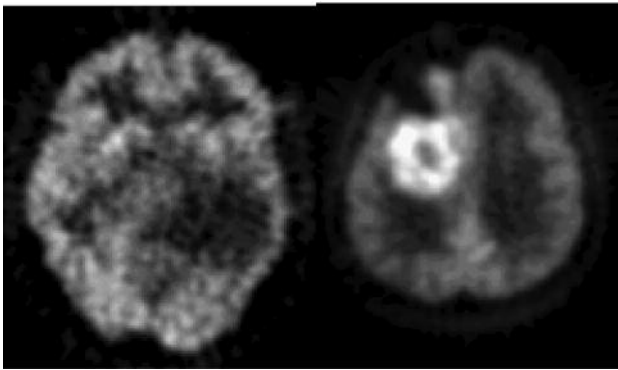


Рис. 9.  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЕТ головного мозку без ознак вогнищевої патології. Пояснення в тексті



**Рис. 10.** Диференційна діагностика гліом головного мозку. Зліва: гліома лівої скроневій ділянки головного мозку II ступеня злоякісності; справа – III ступеня злоякісності в правій лобовій ділянці

## 5. Деменції: диференційна діагностика типів деменції.

### Оцінка та інтерпретація ПЕТ-зображень

З клінічною метою проводиться якісна (візуальна) та напівкількісна оцінка та інтерпретація ПЕТ.

#### 1. Візуальна оцінка

- одержані томограми повинні бути обов'язково оцінені на наявність артефактів;
- якщо є можливість, то доцільно провести порівняння одержаних томограм із зображенням бази даних ПЕТ при нормальному розподілі  $^{18}\text{F}$ -ФДГ;
- оцінка розподілу РФП при побудові 3D- зображень може підвищити точність аналізу даних пацієнта;
- виявлені загальні морфологічні зміни, наприклад атрофія головного мозку, повинні також бути інтерпретовані.

Розподіл ФДГ описується як нормальний чи патологічний. Якщо результати не відповідають нормі — описати розташування та інтенсивність зон патологічного поглинання  $^{18}\text{F}$ -ФДГ.

#### 2. Кількісна оцінка

Аналізуються напівкількісні дані, якщо вони вимірялись, що вдозволяє об'єктивізувати картину порушень, хоча кількісна оцінка значень накопичення  $^{18}\text{F}$ -ФДГ відіграє лише допоміжну роль.

Доцільно провести розрахунки стандартизованого рівня накопичення глюкози (SUV) у зонах інтересу.

Одержані дані подаються у порівнянні з попередніми дослідженнями, якщо такі є. Крім цього, також повинні бути прийняті до уваги результати КТ та МРТ.

Якщо аналіз ПЕТ показує загальноприйнятну картину захворювання, це має бути вказано у висновку з зазначенням найбільш імовірного діагнозу. Якщо картина розподілу радіоактивності нетипова, то одержані дані представляють як гіпотетичні. У разі необхідності рекомендується проведення додаткових досліджень для уточнення діагнозу.

## 5. Радіонуклідна анатомія головного мозку при отриманні мультимодальних зображень

Емісійна томографія є важливим сучасним діагностичним засобом у виявленні патології головного мозку. Однак очевидним недоліком ПЕТ є анато-

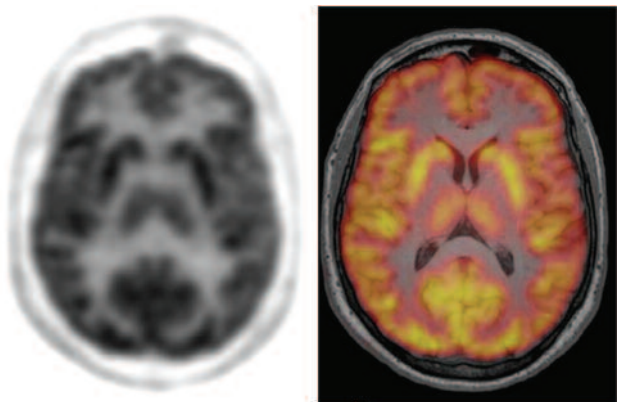
мічно збіднена інформація зображень, яка ускладнює локалізацію виявлених патологічних вогнищ. Для подолання цього застосовується технологія поєднання ПЕТ, ОФЕКТ, КТ- та МРТ-зображень (рис.11).

Ця технологія дозволяє поєднати зображення цих діагностичних модальностей і дозволяє на одному зрізі отримати анатомічне зображення з накладеною на нього картою перофузії чи метаболічних процесів (рис.12).

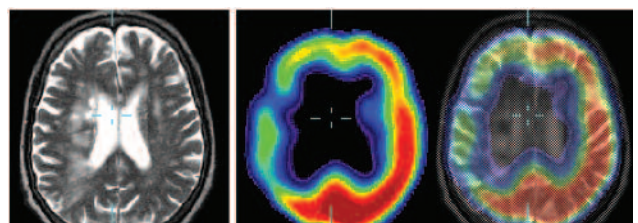
Розвиток технологій, що забезпечують поєднання анатомічних і функціональних зображень, йде по двох основних напрямках. Перший напрямок — це створення мультимодальних систем, що об'єднують у собі різні діагностичні пристрої. Другий — заснований на отриманні об'єднаних зображень вогнища з одержаних раніше при роздільному проведенні томографічних досліджень .

Мультимодальні зображення з успіхом застосовуються для планування дози променевої терапії при лікуванні пухлин мозку, що дозволяє мінімізувати опромінення на здорові тканини та збільшити її у зоні інтересу. Застосування комбінованих зображень дозволяє чіткіше визначити розповсюдження пухлин у мозковій структурі і диференціювати пухлину, що активно росте, від фіброзної або некротичної тканини, або надати важливу інформацію для проведення біопсії (рис.13).

Метод поєднання зображень поліпшує ранню діагностику пухлин та інших захворювань, пропонує додаткову інформацію, яка дозволяє дослідникам знаходити відповіді на багато нерозв'язаних питань та одночасно оцінювати фізіологічну та анатомічну складові патологічного процесу (рис.14).



**Рис. 11.** ОФЕКТ/МРТ хворого з пухлиною правої лобовій ділянці головного мозку



**Рис. 12.** Томограми пацієнта з порушенням кровотоку в басейні ВСА справа. Зліва – МРТ. В центрі – ОФЕКТ. Справа – поєднані томограми

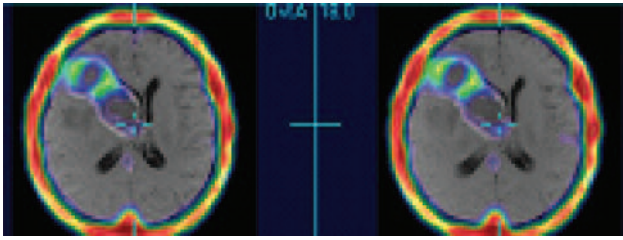


Рис. 13. ОФЕКТ/МРТ хворого з пухлиною правої лобової ділянки головного мозку

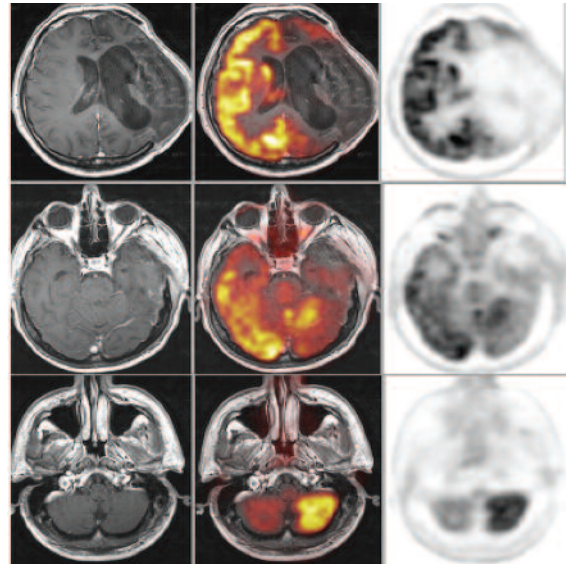


Рис. 14. МРТ, ПЕТ, МРТ/ПЕТ. Кросцеребелярний діаскіз після поширеного ішемічного інсульту

## 6. Місце і роль ОФЕКТ і ПЕТ у діагностиці захворювань головного мозку

Діагностичне завдання	Роль емісійної томографії
Диференційна діагностика пухлин та непухлинних утворень	— інтенсивна візуалізація пухлини з посиленням кровопостачання та проліферацією — відсутність візуалізації або неінтенсивна візуалізація слабковаскуляризованих пухлин та непухлинних вогнищ
Діагностика ступеня злості гліом	— візуалізація гліом (III-IV ст.) — відсутність візуалізації гліом (I-II ст.)
Диференційна діагностика пухлини та перифокального набряку	чітко визначає межі пухлини та поширеність перифокального набряку
Діагностика продовженого росту, рецидиву, малігнізації пухлин, ефективності лікування	— чітка візуалізація залишків пухлини, її рецидиву та малігнізації — ефективність лікування пухлини визначається зміною розмірів вогнища та динамікою радіоактивності
Уточнення діагнозу аденоми гіпофіза, менінгіоми та метастазу	рівень радіоактивності вогнища, форма, розмір, локалізація дозволяють диференціювати ці новоутворення
Уточнення характеру вогнища та діагностика позамозкових вогнищ у пацієнтів з підозрою на церебральний метастаз	— дозволяє уточнити метастатичний характер церебрального ураження — додаткове проведення сцинтиграфії всього тіла надає можливість візуалізувати додаткові вогнища соматичної локалізації
Діагностика ділянок проліферації за даними МРТ/КТ та ОФЕКТ/ПЕТ для проведення біопсії, оперції	виявляє ділянки гіперрадіоактивності, обумовлені посиленою проліферативною активністю пухлин
Діагностика й оцінка цереброваскулярних захворювань	визначення ділянок порушення перфузії, їх розповсюдженість
Оцінка змін у пацієнтів з підозрою на наявність деменції	дозволяє уточнити тип захворювання: хвороби Альцгеймера, фронто-темпоральної деменції, деменції з тільцями Леві, судинного недомумства тощо
Передопераційна локалізація епілептичного вогнища	— іктальні/периіктальні дослідження виявляють вогнища гіперперфузії та гіперметаболізму — інтеріктальні — виявляють гіперперфузію чи гіпометаболізм
Оцінка змін перфузії у пацієнтів з підозрою на черепно-мозкову травму	виявляє зони зниженої перфузії чи метаболізму, їх виразність та розповсюдженість
Діагностика смерті головного мозку	діагностується відсутність перфузії чи метаболізму інтракраніально («порожній череп»)
Вивчення нейротрансмісії	диференційна діагностика хвороби Паркінсона та паркінсонічного синдрому
Додаткові показання (енцефалопатія, розлади настрою, оцінка синдрому дефіциту уваги, зловживання алкоголем/наркотиками, діагностика інфекційного процесу / запалення тощо)	виявляє зони зміненої фіксації РФП, перфузії чи метаболізму, не характерні для даних ділянок головного мозку