

КЛІНІКО-МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ПОЗИТРОННОЇ ЕМІСІЙНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Зараз у світі інтенсив розвиваються і широко впроваджуються в клінічну практику томографічні методи клінічної діагностики. Серед них важливе місце займають методи емісійної комп'ютерної томографії – однофотонна емісійна комп'ютерна томографія і позитронна емісійна томографія (ПЕТ) [1, 3, 4].

Для функціонування ПЕТ-центру необхідно мати циклотрон (для напрацювання позитронвипромінюючих радіонуклідів), біосинтезатор (для мітки різноманітних сполук радіонуклідами) і позитронний емісійний томограф (для проведення досліджень пацієнтів). Найчастіше використовують радіофармацевт (РФП) ^{18}F -фтордезоксиглюкозу (^{18}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). ПЕТ має найбільше значення в онкології (понад 80% всіх досліджень), кардіології, неврології [2, 6].

При проведенні ПЕТ дуже важливий анамнез, який збирає перед дослідженням лікар, що проводить і інтерпретує дослідження, бажано із заповненням форми. При цьому вказуються:

- Первинний діагноз (дата).
- Первинне лікування – операція, хіміотерапія, променева терапія (дати).
- Гістологія (детально).
- Стадія захворювання, ступінь злоякісності пухлини.
- До- або післяопераційна хіміотерапія (так, ні); дати проведення.
- До- або післяопераційна променева терапія (так, ні); дати проведення.
- За наявності рецидиву, чи виконувалася операція або проводилося інше лікування.
- Скарги, симптоми в даний час.
- Результати попередніх променевих та інших інструментальних досліджень (рентгенографія, ультразвукове дослідження, сцинтиграфія, комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія) з вказівкою дати дослідження.
- Рівень пухлинних маркерів.
- Супутні і перенесені захворювання.
- Сімейний анамнез (онкологічний).
- Лікування в даний час.
- Клінічна інформація, яку потрібно отримати при проведенні ПЕТ.

Дослідження проводиться натщесерце (мінімум через 6 годин після прийому їжі, краще – через 12 годин). Внутрішньовенне введення глюкози здійснюється не пізніше ніж за 6 годин до початку дослідження. Пацієнтам забороняється пити напої з цукром (тільки вода). Необхідно перевірити рівень глюкози в крові перед ін'єкцією ^{18}F -ФДГ. Дослідження можна проводити, якщо рівень глюкози в крові менше 10 ммоль/л. Інакше – дослідження відкладають до зниження рівня глюкози до вищезгаданих цифр. Якщо зниження рівня глюкози не досягнуто, дослідження має бути перенесене. У пацієнтів з цукровим діабетом не призначати пероральні гіпоглікемічні препарати або інсулін перед

введенням ^{18}F -ФДГ (інсулін вводиться не пізніше ніж за 2 години до введення РФП).

Ін'єкція ^{18}F -ФДГ проводиться в розслабленому положенні в зручному кріслі. Після ін'єкції ^{18}F -ФДГ пацієнтові можна читати, але не можна розмовляти, ходити, жувати. Необхідно уникати будь-якої м'язової активності. ^{18}F -ФДГ вводять внутрішньовенно з розрахунку 3,5-7 МБк/кг маси пацієнта. Дослідження виконують через 60-90 хвилин після введення РФП. Рекомендується прийом фуросеміду (20 мг одночасно з введенням РФП). Обов'язкова гідратація організму: 750 мл води (до і після введення РФП). Необхідне часте спорожнення сечового міхура й обов'язково безпосередньо перед укладанням на позитронний емісійний томограф.

Доцільне використання комбінованих (гібридних) апаратів, які забезпечують анатомічну прив'язку, якісне і швидке трансмісійне коригування зображень [2, 5]. Клінічні дані свідчать, що ПЕТ-КТ має переваги перед ПЕТ і КТ, проведеними окремо.

Ефективні дози при проведенні ПЕТ-КТ: томограма – 0,2-0,4 мЗв, низькодозова КТ – 1-4 мЗв, ПЕТ з ^{18}F -ФДГ – 5,7-7,0 мЗв (залежно від введеної активності), КТ з контрастним підсиленням – 14-19 мЗв. Ефективна доза при проведенні ПЕТ з ^{18}F -ФДГ – $1,9 \times 10^{-2}$ мЗв/МБк. Найбільша поглинена доза при проведенні ПЕТ з ^{18}F -ФДГ – в серці ($6,2 \times 10^{-2}$ МГр/МБк). Сумарна ефективна доза при проведенні дослідження приблизно 25 мЗв. Таким чином, найбільший внесок в сумарну ефективну дозу вносить КТ.

Роль ПЕТ в онкологічній практиці. Як указувалося вище, ПЕТ найчастіше застосовують в онкології. Підвищене захоплення ^{18}F -ФДГ використовується для діагностики, стадіювання і виявлення залишкової пухлини і рецидивів. Накопичення РФП тісно пов'язане з кількістю клітин пухлини. Зниження захоплення ^{18}F -ФДГ під час терапії відображає ступінь загибелі пухлинних клітин. Кількісне віддзеркалення захоплення ^{18}F -ФДГ служить раннім і чутливим маркером тумороцидного ефекту антипроліферативної хіміотерапії.

Не всі злоякісні пухлини активно накопичують ^{18}F -ФДГ (наприклад, низьке захоплення або відсутність захоплення нирковоклітинним раком, деякими гістологічними формами раку шлунка, муцинозною карциномою, саркомами низького ступеня злоякісності та ін.). Не всі анатомічні зони легко досліджувати з ^{18}F -ФДГ (наприклад, пошук метастазів в головному мозку). Спостерігається підвищене захоплення ^{18}F -ФДГ в доброякісних вогнищах і при запаленні (за участю макрофагів). Розподіл ^{18}F -ФДГ в організмі відповідає його енергорезимам. Захоплення і накопичення в нормі – в м'язах, печінці, жировій тканині. Розрізняють: фоновий метаболізм ^{18}F -ФДГ; фізіологічний гіперметаболізм, наприклад фізичні вправи; патофізіологічний метаболізм (запалення).

Стандартизований показник накопичення (СПН) характеризує захоплення РФП в пухлині, нормалізований за дозою і вагою пацієнта.

СПН = (активність з поправкою на розпад/см³ пухлини)/(введена активність/маса пацієнта (г)).

Для визначення СПН проводять побудову зон інтересу на декількох кадрах і обчислюють показник за допомогою спеціального програмного забезпечення. Показання для проведення ПЕТ з ¹⁸F-ФДГ: визначення поширеності процесу, оцінка ступеня злоякісності, оцінка ефективності лікування, своєчасна діагностика рецидивів, прогностичний тест [7].

Аналіз зображень. Багато складнощів і помилок ПЕТ-діагностики відбуваються через анатомічну бідність зображень. Ці проблеми у багатьох випадках не виникають при застосуванні ПЕТ-КТ, де має місце надійне анатомічне зіставлення. Тому при інтерпретації результатів ПЕТ-досліджень бажано мати КТ-або МРТ-зображення для візуального зіставлення морфологічної і функціональної інформації.

При візуальній оцінці зображень можна використовувати просту 4-рівневу шкалу інтенсивності накопичення ¹⁸F-ФДГ. Для цього колірною шкалою встановлюється так, щоб зображення мозку виглядало чорним, а фон – білим. Всі за ступенем вираженості гіперметаболізму підрозділяються на 4 рівні: 1 – як у м'яких тканинах і непрацюючих м'язах; 2 – як у печінці або незначно вище; 3 – між рівнем печінки і мозку; 4 – як у мозку або вище. 0 з 4 рівнем – первинна пухлина або метастаз, з 3 – первинна пухлина або метастаз (хоча можливе і вогнище запалення), з 2 – вогнище запалення.

Для напівкількісного аналізу використовується стандартизований показник накопичення, його дозволяє розраховувати програмне забезпечення всіх сучасних томографів. Також необхідно пам'ятати і про локалізації фізіологічного накопичення ¹⁸F-ФДГ.

Серцево-судинна система. Навіть за умов дослідження натщесерце у багатьох хворих спостерігається гомогенний або фрагментарний гіперметаболізм в міокарді. Також спостерігається малоінтенсивне накопичення препарату в грудній аорті, що необхідно диференціювати із запальними змінами, проте за наявності аортита ступінь накопичення препарату все ж таки має бути вищим. Час від часу спостерігається фізіологічне накопичення препарату в артеріях нижніх кінцівок. На початку сканування раніше ніж через 30-40 хвилин після ін'єкції може спостерігатися накопичення ¹⁸F-ФДГ у багатьох крупних судинах, обумовлене все ще присутністю великої кількості радіоактивності в крові. Цієї помилки можна уникнути, дотримуючись протоколу дослідження.

Система дихання. Малоінтенсивні і фокуси накопичення препарату в обох коренях легенів часто не означають наявності метастазів в лімфовузлах, а є результатом хронічного бронхіту, зазвичай у курців, але саме подібні знахідки і являють собою найбільші діагностичні труднощі.

Сечостатева система. Дуже інтенсивне накопичення препарату спостерігається в системі нирок, сечоводах, сечовому міхурі. З цієї причини рекомендується спорожнити сечовий міхур перед дослідженням, а сканування починати з області тазу. Крім того, необхідно пам'ятати про можливість забруднення паху радіоактивною сечею. Не завжди просто віддиференціювати точкову актив-

ність в сечоводі від ретроперитонеального лімфовузла, а при аналізі гарячого осередка, прилеглого до сечового міхура, необхідно пам'ятати про можливий дивертикул сечового міхура.

Шлунково-кишковий тракт. Іноді спостерігається накопичення препарату в стравоході, частіше в його дистальному відділі, що може бути обумовлено рефлюкс-езофагітом, а також наслідками променевої терапії. Часто можна спостерігати і накопичення в шлунку, ймовірно, як результат перистальтичної і м'язової активності.

Проте найбільші діагностичні складнощі становить накопичення препарату в кишечнику, особливо в товстому. Ступінь накопичення препарату може бути дуже високим, порівняним з накопиченням у злоякісній пухлині. Природа цього остаточно ще не з'ясована: перистальтика, висока концентрація лейкоцитів в стінках кишечника, підвищена секреція ¹⁸F-ФДГ в стінку і просвіт кишечника, різні запальні процеси. На жаль, відомі фармакологічні або фізіологічні заходи запобігання такому накопиченню поки неефективні, а спостерігається це явище досить часто. Потрібний достатній досвід, щоб віддиференціювати фізіологічне накопичення в кишечнику від патологічного осередку. В деяких випадках допомагають відстрочені скани, коли ділянки фізіологічного накопичення через якийсь проміжок часу можуть змінити локалізацію.

Лімфатична, кровотворна, ендокринна системи. Часто спостерігається досить виражене дифузне накопичення препарату в проліферуючому червоному кістковому мозку у пацієнтів після хіміотерапії. У дітей і молодих пацієнтів можна бачити зображення тимуса, що знаходиться за грудниною і має на аксіальних зображеннях характерну V-подібну форму. Незмінні лімфовузли не накопичують ¹⁸F-ФДГ. Накопичення в них завжди відповідає патологічному осередку, але воно може бути обумовлене як пухлинним процесом, так і запальним. Область, яка дуже часто демонструє високий рівень метаболізму, обумовлений запаленням, – лімфатичне кільце Вальдейєра. Таке накопичення в цій області розцінюється як фізіологічне; за необхідності диференціації з пухлиною береться до уваги симетричний характер фізіологічного накопичення.

Накопичення ¹⁸F-ФДГ в ендокринних органах зустрічається рідко. Щитовидна залоза може іноді демонструвати в нормі помірний гіперметаболізм. Якщо він несиметричний, то повинен розцінюватися як патологічний осередок. Помірно виражене накопичення РФП біля гортані зустрічається часто і пов'язане з м'язами фонації. Аналіз форми вогнищ накопичення на аксіальних зображеннях допомагає відрізнити їх від щитовидної залози. Яєчники демонструють дуже низький рівень фізіологічного накопичення (1 ступінь) на відміну від яєчок (2 ступінь), де метаболізм в нормі може бути вищим. У молочних залозах під час лактації рівень метаболізму може бути достатньо високим. Привушні слинні залози можуть характеризуватися дуже високим рівнем гіперметаболізму (3 ступінь) без патологічних змін. Диференціальна діагностика з пухлиною ґрунтується на однорідному і рівномірному характері накопичення у всій залозі, що рідко буває при пухлині.

М'язи і суглоби. Дифузне високе накопичення

препарату в м'язах характерне для хворих на цукровий діабет, тому важливий контроль рівня цукру крові перед дослідженням. Осередкове накопичення в м'язі, що працював незадовго до дослідження, може бути високим (3 ступінь) і послужити причиною діагностичних помилок. Саме тому важливий відпочинок пацієнта перед дослідженням і його правильна підготовка. Фізіологічний гіперметаболізм часто можна спостерігати в наступних м'язах: окорухові, м'язи дна ротової порожнини, грудинно-ключично-сосковидний, горлові, що беруть участь у фонації. Коли накопичення препарату симетричне в обох м'язах, їх характерна анатомічна форма у поєднанні з локалізацією не створює труднощів у розпізнаванні, але зустрічається й односторонній гіперметаболізм тільки в частині м'яза.

Дуже часто спостерігається накопичення препарату в суглобах. Воно може бути достатньо інтенсивним (2 ступінь), часто корелює з літнім віком пацієнтів і обумовлене запальними процесами.

Жирова і сполучна тканина. Описано багато випадків інтенсивного симетричного гіперметаболізму характерної форми і локалізації в області шиї, плечей і хребта. До появи ПЕТ-КТ вважалося, що це м'язова активність. І лише точне зіставлення із структурними даними показало, що накопичення препарату відбувається в невеликих острівцях жирової тканини, яка була названа «коричневий жир» або «американський жир». Етіологія цього явища поки невідома. Таке накопичення не можна плутати з лімфовузлами, оскільки дуже часто коричневий жир зустрічається у пацієнтів з лімфомами після кількох курсів хіміотерапії.

Головний мозок. У нормі накопичення ^{18}F -ФДГ у сірій речовині головного мозку високе, що робить вкрай важкою верифікацію гарячих вогнищ на підвищеному фоні. Крім того, накопичення препарату при множинних метастазах може варіювати в одного і того ж пацієнта і бути підвищеним, зниженим або однаковим з нормальною мозковою тканиною. Багато дослідників відзначають складнощі виявлення метастазів у мозок і нерідкі випадки діагностичних помилок.

Лімітуючим чинником для чутливості методу є роздільна здатність. Найбільш істотний недолік ПЕТ з ^{18}F -ФДГ – недостатня специфічність у результаті близьких значень швидкості утилізації глюкози в пухлинах і деяких незлоякісних утвореннях (запальних вогнищах тощо). У клінічній практиці при застосуванні комбінованих апаратів ПЕТ-КТ поліпшується точність діагностики, особливо при застосуванні високоспецифічних РФП, коли відсутня візуалізація навколишніх анатомічних структур. Аналізуючи суміщені діагностичні зображення, лікар отримує комплексну інформацію, завдяки чому підвищується точність діагностики. Необхідне

впровадження ПЕТ в клінічну практику, оптимізація протоколів діагностики пухлин та метастазів з використанням ПЕТ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мечев Д.С., Щербіна О.В. Європейські варіанти підготовки фахівців для роботи з ПЕТ // Український радіологічний журнал. – 2012. – Т. 20, № 3. – С. 320 – 322.
2. Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография (ПЭТ-КТ) в онкологии / (Труфанов Г.Е., Рязанов В.В., Дергунова Н.И. и др.). – СПб: „ЭЛБИ-СПб“, 2005. – 105 с.
3. Щербіна О.В., Мурашко В.О. Сучасний метод радіонуклідної діагностики – однофотонна емісійна комп'ютерна томографія // Військова медицина України. – 2008. – Т. 8, №4. С. 111 – 116.
4. Щербіна О.В., Кметюк Я.В., Москалец О.І., Рабош Г.В. Перший вітчизняний клінічний досвід ПЕТ/КТ // Український радіологічний журнал. – 2012. – Т. 20, № 3. – С. 341 – 342.
5. Щербіна О.В., Москалец А.И. Мультимодальные изображения. Комбинированные диагностические аппараты // Збірник наукових праць співробітників НМАПО ім. П.Л. Шупика. – Випуск 19, книга 1. – К., 2010. – С. 747 – 753.
6. *Clinical Nuclear Medicine* / Eds. G. Cook, M. Maisey, K. Britton, V. Chengazy. – London: Hodder Arnold, 2006. – 915 p.
7. Schiepers C., Hoh C. Positron emission tomography as a diagnostic tool in oncology // *European Radiology*. – 1998. – Vol. 8, №8. – P. 1481 – 1494.

Резюме. Розглянуто теоретичні аспекти та роль сучасного методу променевої діагностики – позитронної емісійної томографії. Наведено показання для проведення ПЕТ з ^{18}F -фтордезоксиглюкозою в онкологічній практиці. Розглянуто інтерпретацію результатів досліджень. Ключові слова: позитронна емісійна томографія, комп'ютерна томографія, позитронвипромінюючі радіофармацевтичні препарати, ^{18}F -фтордезоксиглюкоза, онкологія.

Резюме. Рассмотрены теоретические аспекты и роль современного метода лучевой диагностики – позитронной эмиссионной томографии. Приведены показания для проведения ПЭТ с ^{18}F -фтордезоксиглюкозой в онкологической практике. Рассмотрена интерпретация результатов исследований. Ключевые слова: позитронная эмиссионная томография, компьютерная томография, позитронизирующие радиофармацевтические препараты, ^{18}F -фтордезоксиглюкоза, онкология.

Summary. The theoretical basis and role of modern method of radiodiagnostics – positron emission tomography are considered. A testimony is resulted for conducting of PET with ^{18}F -fluorodesoxyglucose in oncological practice. Interpretation of results of researches is considered. Key words: positron emission tomography, computed tomography, positronemission tracers, ^{18}F -fluorodesoxyglucose, oncology.

Мечев Д.С., Щербіна О.В., Київ