

УДК 616.853-053.2:616-073.96

DOI <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2023-5-5>

### **Олена ОЛІЙНИЧЕНКО**

асистент кафедри радіології та радіаційної медицини, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, бульв. Тараса Шевченка, 13, м. Київ, Україна, індекс 01601 ([elenosol86@gmail.com](mailto:elenosol86@gmail.com))

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5544-6526>

### **Юрій ЧОМОЛЯК**

кандидат медичних наук, доцент кафедри неврології, нейрохірургії та психіатрії, Ужгородський національний університет, вул. Університетська, 14, м. Ужгород, Україна, індекс 88000 ([yurij.chomolyak@uzhnu.edu.ua](mailto:yurij.chomolyak@uzhnu.edu.ua))

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3875-7530>

### **Olena OLIINICHENKO**

Assistant at the Department of Radiology and Radiation Medicine, Bogomolets National Medical University, 13, Taras Shevchenko Blvd, Kyiv, Ukraine, postal code 01601 ([elenosol86@gmail.com](mailto:elenosol86@gmail.com))

### **Yurii CHOMOLIYAK**

Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry, Uzhhorod National University, 14, Universytetska St, Uzhhorod, Ukraine, postal code 88000 ([yurij.chomolyak@uzhnu.edu.ua](mailto:yurij.chomolyak@uzhnu.edu.ua))

**Бібліографічний опис статті:** Олійніченко О., Чомоляк Ю. Введення в клінічну практику України поєданого ПЕТ-КТ дослідження для діагностики фармакорезистентних епілепсій у дітей. *Сучасна медицина, фармація та психологічне здоров'я*. 2023. Вип. 5 (14). С. 30–36. DOI: <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2023-5-5>

**Bibliographic description of the article:** Oliinichenko, O., Chomoliak, Yu. (2023). Vvedennia v klinichnu praktyku Ukrainy poiednanoho PET-CT doslidzhennia dlia diahnostyky farmkorezystentnykh epilepsii u ditei [Introduction into clinical practice in Ukraine of a combined PET-CT study for the diagnosis of drug-resistant epilepsy in children]. *Suchasna medytsyna, farmatsiia ta psykholohichne zdorovia – Modern medicine, pharmacy and psychological health*, 5 (14), 30–36. DOI: <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2023-5-5>

## **ВВЕДЕННЯ В КЛІНІЧНУ ПРАКТИКУ УКРАЇНИ ПОЄДНАНОГО ПЕТ-КТ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ФАРМАКОРЕЗИСТЕНТНИХ ЕПІЛЕПСІЙ У ДІТЕЙ**

**Анотація. Актуальність дослідження.** На сьогоднішній день, 70% пацієнтів з епілепсією лікуються медикаментозною терапією за рахунок високих темпів її розвитку та варіабельності, однак близько 30% пацієнтів залишається фармакорезистентними. Хірургія епілепсій стала спеціалізованим напрямком в нейрохірургії при якому хірургічне видалення або відключення частини головного в якому підозрюють епілептогенну зону дозволяє повне лікування або значне зменшення частоти нападів.

**Метою роботи** було проведення аналізу введення в клінічну практику України поєданого ПЕТ-КТ дослідження для діагностики фармакорезистентних епілепсій у дітей.

**Матеріали і методи:** проведено аналіз сучасних наукових джерел із доступних наукометричних баз даних та результати практичного введення поєданого ПЕТ-КТ дослідження в клінічну практику України.

**Результати.** Проаналізовано та представлено дані стосовно використання поєданого ПЕТ-КТ дослідження для діагностики фармакорезистентних епілепсій у дітей. Було показано, що післяопераційних успіхів напряму залежить від того наскільки вдало було локалізовано вогнище епілепсії, за рахунок конкретно проведеного передопераційного обстеження пацієнта. На даний час діагностика базується насамперед на вивченні клінічної феноменології патологічного процесу, виявленні структурних змін речовини мозку за даними магнітно-резонансної томографії (МРТ) або комп'ютерної томографії (КТ), а також визначення характеру та локалізації порушення біоелектричної активності головного мозку за допомогою електроенцефалографії. Результати МРТ далеко не завжди збігаються з даними клініко-електроенцефалографічного обстеження, викликаючи певні труднощі при диференціальній діагностиці. Тому при неможливості локалізації епілептичної активності стандартними методами діагностики останнім часом широко досліджують застосування позитронно-емісійної томографії з комп'ютерною томографією (ПЕТ/КТ), для дослідження молекулярно-клітинних порушень головного мозку та розширення можливості у вивченні епілептогенезу та індивідуалізації діагностики епілепсії у дітей. В роботі представлено перший досвід введення в клінічну практику в Україні поєданої ПЕТ-КТ як методу нейровізуалізації при епілепсіях у дітей.

**Висновки.** Використання 18F-фтордизоксиглюкози для оцінки стану кори та базальних ядер при ПЕТ/КТ є оптимальнішим методом передопераційної діагностики дітей із фармакорезистентною епілепсією.

**Ключові слова:** поєднана позитронно-емісійна томографія з комп'ютерною томографією, радіофармапрепарат, 18F-фтордизоксиглюкоза, фармакорезистентна епілепсія, вогнища гіпометаболізму.

## INTRODUCTION INTO CLINICAL PRACTICE IN UKRAINE OF A COMBINED PET-CT STUDY FOR THE DIAGNOSIS OF DRUG-RESISTANT EPILEPSY IN CHILDREN

**Abstract. Background.** To date, 70% of patients with epilepsy are treated with drug therapy due to its high rate of development and variability, but about 30% of patients remain pharmacoresistant. Epilepsy surgery has become a specialized area in neurosurgery, where surgical removal or disconnection of a part of the brain suspected to be an epileptogenic zone allows for complete cure or significant reduction in seizure frequency.

**Aim.** The study aimed to analyze of modern scientific sources from available scientometric databases and the results of practical implementation of combined PET-CT examination in clinical practice in Ukraine.

**Materials and methods:** the analysis of modern scientific sources from available scientometric databases and the results of practical implementation of combined PET-CT examination in clinical practice in Ukraine.

**Results.** The data on the use of combined PET-CT examination for the diagnosis of drug-resistant epilepsy in children are analyzed and presented. It was shown that postoperative success directly depends on how well the epilepsy focus was localized, due to the specific preoperative examination of the patient. Currently, diagnostics is based primarily on the study of the clinical phenomenology of the pathological process, the detection of structural changes in brain substance by magnetic resonance imaging (MRI) or computed tomography (CT), as well as the determination of the nature and localization of abnormalities in the bioelectrical activity of the brain using electroencephalography. MRI findings do not always coincide with clinical electroencephalographic findings, causing some difficulties in differential diagnosis. Therefore, when epileptic activity cannot be localized by standard diagnostic methods, the use of positron emission tomography with computed tomography (PET/CT) has been widely studied recently to investigate molecular and cellular disorders of the brain and to expand the possibilities for studying epileptogenesis and individualizing the diagnosis of epilepsy in children. The paper presents the first experience of introducing combined PET/CT as a neuroimaging method for epilepsy in children into clinical practice in Ukraine.

**Conclusions.** The use of 18F-fluorodeoxyglucose to assess the state of the cortex and basal nuclei in PET/CT is the optimal method for preoperative diagnosis of children with pharmacoresistant epilepsy.

**Keywords:** combined positron emission tomography with computed tomography, radiopharmaceutical, 18F-fluorodisoxylglucose, pharmacoresistant epilepsy, foci of hypometabolism.

**Вступ.** Епілепсія – захворювання головного мозку, яке визначають за будь-якою із наступних умов: принаймні два неспровоковані (або рефлекторні) напади, що розвиваються з проміжком > 24 години один від одного; один неспровокований (або рефлекторний) напад та ризик його подальшого повторення, подібний до загального ризику рецидиву (щонайменше 60%) після двох неспровокованих нападів, упродовж наступних 10 років; діагностований синдром епілепсії [1; 2; 3]. Понад 50 мільйонів людей у світі страждають на епілепсію, причиною якої є ураження головного мозку, такі як травма, інсульт, пухлина, інфекція та аномалії розвитку кори головного мозку [4; 5].

Основна частка пацієнтів з епілепсією припадає на дитяче населення, і приблизно 30% з них страждають на фармакорезистентну епілепсію (ФРЕ). Такі діти та підлітки мають підвищений ризик поганих довгострокових інтелектуальних та психосоціальних результатів, а також низьку якість життя, пов'язану зі станом здоров'я [6; 7]. Окрім поганого контролю нападів через недостатнє лікування, надмірне використання протиепілептичних препаратів може спричинити значні несприятливі наслідки, особливо для когнітивних функцій.

Етіологія епілепсії у дітей залишається багато в чому нез'ясованою: може розвивається в результаті пошкодження мозку (черепно-мозкова травма, труднощі при народженні або інфекцію (менінгіт)), а деякі дослідники тепер вважають, що ймовірність розвитку епілепсії, певною мірою є генетичною, оскільки кожен, у кого починаються судоми, завжди мав певний рівень генетичної схильності до цього [8].

Доведено, що хірургічне лікування епілепсії приносить користь дітям із ФРЕ, збільшуючи кількість епізодів без нападів [9; 10]. Ключем до успішного хірургічного втручання є точне визначення епілептогенного вогнища, незалежно від того, чи воно очевидно анатомічне або функціональне. На сьогодні, безпека та ефективність методів візуалізації головного мозку для точної локалізації епілептогенного вогнища при ФРЕ дуже різняться [11; 12].

Позитронно-емісійна томографія (ПЕТ) є функціональним методом оцінки нейровізуалізації у пацієнтів з медикаментозно-резистентною фокальною епілепсією, який найбільш часто виконується перед хірургічним втручанням [13]. Інтеріктальна позитронно-емісійна томографія з комп'ютерною томографією (ПЕТ/КТ) 18F-фтордизоксиглюкоза (18F-ФГД) відіграє визначену роль у неінвазивній локалізації епілептогенного вогнища та зображає динамічні зміни церебральних функцій, пов'язані з нападами. Варто зазначити, що етіологія, прогноз та метаболічний профіль глюкози при епілепсії у дітей помітно відрізняються від таких у дорослих [14].

ПЕТ – це метод візуалізації в ядерній медицині, який дозволяє отримати 3D-зображення біохімічних процесів, що відбуваються в тканинах організму людини. Метод базується на реєстрації пари гама-квантів, які виникають при анігіляції позитронів. Позитрони виникають при позитронному бета-розпаді радіонуклід, що входить до складу радіофармпрепарату (РФП), який застосовується при проведенні ПЕТ. Відсутність коліматора забезпечує ПЕТ – томографи більшою швидкістю підрахунку в порівнянні з ОФЕКТ. Це дозволяє конкретно ви-

мірювати швидкоплинні біохімічні процеси на зрізах будь-якого органу та тканини, що не можливо іншими методами діагностики.

Одним із добре відомих інструментів візуалізації для визначення локалізації епілептогенної зони є ПЕТ/КТ 18F-ФДГ, яка використовується для полегшення процесу прийняття хірургічного рішення у більш ніж 30 % випадків [15; 16]. Вона може забезпечити оцінку фізіологічних та патофізіологічних процесів у пацієнтів з ФРЕ шляхом вимірювання молекулярних та біохімічних змін, які відбуваються в мозку до початку структурних змін, які не завжди можна розпізнати на КТ та МРТ. Вимірювання церебрального метаболізму глюкози діє як сурогатний біомаркер нейронної патології при різних неврологічних захворюваннях. Оскільки здорові клітини мозку високо метаболізують глюкозу, вони активно поглинають 18F-ФДГ, який є аналогом глюкози. 18F-ФДГ ПЕТ/КТ вважають непрямим маркером енергетичного метаболізму нейронів за рахунок вимірювання розподілення глюкози [17].

Використання ПЕТ/КТ 18F-ФДГ надає інформацію, яку анатомічні методи, такі як МРТ, можуть пропустити, а область гіпометаболізму, виявлена на ПЕТ/КТ 18F-ФДГ, може бути більшою за площу анатомічного ураження, виявленого на МРТ. Можливо навіть, що ПЕТ/КТ 18F-ФДГ, з виявленням області гіпометаболізму відповідає епілептогенній зоні, де МРТ показало типову структуру мозку. Безсудомний результат після операції менш імовірний у пацієнтів без анатомічних ушкоджень. Однак, коли ПЕТ/КТ 18F-ФДГ виявляє ділянку гіпометаболізму, незважаючи на негативний результат МРТ, прогноз подібний до прогнозу для пацієнтів з анатомічними ураженнями, виявленими на МРТ. ПЕТ/КТ 18F-ФДГ може допомогти визначити пацієнтів із кількома структурними ураженнями та яке саме з ураження є причиною нападів [15].

**Метою роботи** було проведення аналізу введення в клінічну практику України поєданого ПЕТ-КТ дослідження для діагностики фармкорезистентних епілепсій у дітей.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Матеріали і методи.** Для вирішення поставленої мети було проведено аналіз сучасних наукових джерел із доступних наукометричних баз даних та результати практичного введення поєданого ПЕТ-КТ дослідження в клінічну практику України.

**Результати роботи та їх обговорення.** Накопичені за останнє десятиліття дані, переконливо вказують на те, що мультимодальна візуалізація з комбінованим аналізом даних ПЕТ з МРТ може оптимізувати виявлення тонких епілептогенних уражень і сприяти позбавленню нападів, мінімізуючи при цьому післяопераційний функціональний дефіцит у дітей із нормальними показниками тра-

диційної МРТ [14; 15; 18]. Діти з епілепсією і нормальною структурною МРТ становлять особливу проблему при локалізації епілептичних вогнищ для хірургічної резекції, ці пацієнти мають тонкі структурні ураження у вигляді легкої кортикальної дисплазії, які можна не помітити при звичайній МРТ, але їх можна виявити лише при застосуванні ПЕТ, яка поєднана з КТ. Ці методи функціональної візуалізації можуть підвищити точність виявлення епілептогенних областей мозку, з високою роздільною здатністю можна оптимізувати виявлення гіпометаболічної кори головного мозку, пов'язаної з тонкими кірковими вадами розвитку, а також може покращити передопераційну оцінку у дітей з епілептичними спазмами [19]. Додаткові індикатори ПЕТ можуть виявляти тонкі епілептогенні ураження і кору головного мозку з підвищеною специфічністю, було показано, що підвищене поглинання триптофану може ідентифікувати епілептогенну кортикальну дисплазію при станах між нападами. За допомогою функціональних методів МРТ і ПЕТ доопераційне розмежування язикової і моторної кори та відповідних ділянок білої речовини є надійнішим, за ретельної підготовки вони можуть бути корисними для маленьких дітей, які перебувають під дією седативних препаратів [20].

При ФРЕ операція є єдиним потенційно ефективним методом лікування. Необхідною умовою є точне визначення епілептогенної зони під час багатоступової передопераційної обробки з МРТ, як основою візуалізації. ПЕТ/КТ 18F-ФДГ – це широко використовуваний метод функціональної візуалізації, який у поєднанні зі структурною МРТ дозволяє правильно визначити локалізацію епілептогенної зони приблизно у двох третин пацієнтів і особливо корисний, якщо МРТ негативне. Візуальна оцінка залишається кращим методом у клінічній рутині для перегляду зображень ПЕТ/КТ 18F-ФДГ. У той час як кількість потенційних індикаторів ПЕТ велика, зображення метаболізму глюкози в мозку за допомогою 18F-ФДГ залишається найбільш часто використовуваним підходом до ПЕТ у клінічній практиці, включаючи локалізацію епілептичних вогнищ. Патерн метаболізму глюкози, візуалізований на ФДГ-ПЕТ, відображає транспорт глюкози та захоплення тканиною протягом тривалого періоду часу (приблизно 30 хв), таким чином представляючи підсумок клітинних метаболічних процесів протягом періоду поглинання. Таким чином, ФДГ-ПЕТ не підходить для вимірювання короточасних нейрональних процесів, які краще виявляються за допомогою візуалізації кровотоку за допомогою ПЕТ (наприклад, за допомогою води, міченої O-15) або, що в останні роки частіше зустрічається, за допомогою функціональної МРТ. На модель поглинання ФДГ можуть вплинути тривалі або нещодавні

напади та активні міжнаступні спайки, що ускладнює інтерпретацію таких зображень у деяких випадках. Запис ЕЕГ шкіри голови під час періоду захоплення ФДГ корисний для розпізнавання таких епілептичних патернів [21]. Зазвичай ПЕТ виконується в стані спокою між нападами. Іктальна ПЕТ обмежена тим фактом, що динамічне поглинання ФДГ триває протягом 45 хвилин, тому важко зафіксувати короткий іктальний епізод. Користь іктальної ПЕТ для встановлення діагнозу фокального епілептичного статусу була описана в ряді випадків. Клінічні показання до іктальної ПЕТ при фокальному епілептичному статусі, де вона допомагає в діагностиці або прийнятті рішення щодо терапевтичного лікування. Іктальна ПЕТ також може бути розглянута у пацієнтів із високою частотою нападів, особливо при позаскроневих епілепсіях. У пацієнтів з великою структурною аномалією МРТ іктальна ПЕТ або іктальна ОФЕКТ можуть допомогти локалізувати зону початку нападу в межах цієї аномалії, що допомагає планувати інвазивні записи, направляти нейрохірургічне втручання та прогнозувати результати нападів після операції. Таким чином, іктальна ПЕТ може бути корисним інструментом у передопераційному лікуванні важковилікованої епілепсії у заздалегідь визначених клінічних ситуаціях, як обговорювалося вище [13; 15; 16].

ПЕТ є доступним неінвазивним методом, який дозволяє визначити місце розташування внутрішньочерепних електродів, а також може зменшити кількість пацієнтів, які потребують інвазивної ЕЕГ. Найчастіше при епілепсії використовують  $^{18}\text{F}$ -ФДГ, яку зазвичай проводять у безсудомному інтервалі і спрямовану на ідентифікацію ділянок мозку зі зниженим метаболізмом глюкози; вважається, що вона частково відображає зниження синаптичної активності [22]. Головний мозок характеризується активним постачанням кров'ю та інтенсивним енергетичним обміном. В фізіологічному стані організму мозок утилізує близько 20% поглинутого кисню та 60% глюкози (при тому, що мозок становить 2% маси тіла). У клітинах головного мозку практично єдиним джерелом енергії, яке має надходити постійно, є глюкоза. Як приклад, у нейронах понад 95% аденозинтрифосфornoї кислоти (АТФ) утворюється внаслідок реакції фосфорилування з молекули глюкози.  $^{18}\text{F}$ -ФДГ ПЕТ/КТ вважають непрямим маркером енергетичного метаболізму нейронів за рахунок вимірювання розподілення глюкози.

Було показано, що ПЕТ/КТ  $^{18}\text{F}$ -ФДГ покращує виявлення еліптогенних вогнищ у пацієнтів, але не широко використовується в деяких країнах [15; 16]. В Україні хірургічне лікування ФРЕ не мало широкого вжитку, однак останніми роками дана тенденція змінюється. Все більше центрів проводять хірургічні втручання, за рахунок постійного вдосконалення

своїх навиків, навчання на закордонних стажуваннях, конференціях, проведення місцевих вебінарів, українських конференцій за участю міжнародних колег для обміну досвідом та впровадження в практику сучасних методів обстеження та лікування епілепсій. Так, кілька років тому в Україні запровадили проведення Закарпатської школи епілепсії, яка відбувається щоквартально та розглядає питання діагностики, лікування, реабілітації та соціальної адаптації пацієнтів з епілепсією. Основною метою школи є командна робота нейрохірургів, епілептологів, радіологів, ядерних медиків, генетиків. Адже особливістю лікування епілепсії є командна робота, оскільки при своєчасному та вірно обраному лікуванню у дітей спостерігається зменшення нападів або повна відсутність нападів, що дозволяє в подальшому вести нормальний спосіб життя.

Враховуючи обмеженість ПЕТ дослідження в точності анатомічної локалізації, сучасні сканери поєднують з КТ для корекції ПЕТ-зображень та з метою встановлення анатомічних орієнтирів (в стандартних ПЕТ-КТ протоколах використовують low-dose КТ), а також є сучасні ПЕТ сканери в поєднанні з МРТ.

РФП, які використовують для ПЕТ, містять в собі короткоживучі та ультракороткоживучі радіонукліди:  $^{11}\text{C}$  ( $T_{1/2} = 20,4$  хв),  $^{13}\text{N}$  ( $T_{1/2} = 9,96$  хв),  $^{15}\text{O}$  ( $T_{1/2} = 2,03$  хв),  $^{18}\text{F}$  ( $T_{1/2} = 109,8$  хв),  $^{82}\text{Rb}$  ( $T_{1/2} = 75$  с),  $^{68}\text{Ga}$  ( $T_{1/2} = 68,3$  хв). Саме це дозволяє зменшити променеве навантаження на пацієнта та при необхідності багаторазово повторювати його.

В Україні вперше почали проводити ПЕТ/КТ обстеження пацієнтів з епілепсією в Центрі ядерної медицини КНП «Київського міського клінічного онкологічного центру» в 2018 році, в переважній більшості в педіатричній практиці. В даній роботі показано результати обстеження 27 пацієнтів віком від 2 до 17 років. Етапи обстеження включали: топограму, low-dose КТ-сканування (стандартні протоколи) та власне ПЕТ-сканування, яке проводиться без перерв та без зміни положення пацієнта одразу після КТ-сканування. Пацієнт спокійно дихає протягом усього обстеження, яке триває в середньому 15–20 хвилин. Частині пацієнтів обстеження проводилось під анестезією. Дослідження проводилось на апаратах GE DISCOVERI STE та PHILIPS GEMINI TF з в/в введенням  $^{18}\text{F}$ -ФДГ, після попередньої підготовки.

Обстеження усі пацієнти перенесли задовільно. Обробка результатів обстеження проводилась на робочих станціях ADW4.6 (GE, США) за допомогою програмного забезпечення Cortex ID, також проводилось візуальне оцінювання, порівняння асиметричності розподілення РФП, аналізуючи також результати попередніх обстежень ЕЕГ

та МРТ. При обробці даних за допомогою Cortex ID інформативність була вища ніж стандартною програмою візуалізацією. Всі результати ПЕТ-КТ співставляли з даними ЕЕГ, результатами МРТ-обстежень та оцінювались на мультидисциплінарному консилиумі, який складається з нейрохірургів, епілептолога, спеціалізованого на МРТ радіолога, лікаря з радіонуклідної діагностики з подальшим плануванням хірургічного лікування. В усіх випадках при ПЕТ-КТ 18 F-ФДГ було виявлено порушення фізіологічного розподілення РФП за рахунок наявних ознак гіпометаболізму, а у 6 пацієнтів з наявним аметаболическими зонами, тобто повним випадінням фіксації РФП.

Після хірургічного лікування за даними патоморфологічного заключення: у 10 пацієнтів встановлено фокально кортикальна дисплазія (FCD), у 8 пацієнтів – гікомпальний склероз, в 3 пацієнтів – FCD + гіпокампальний склероз, у 1 пацієнта – пілоїдний гліоз з ознаками крововиливу та кістами та у 1 пацієнта – FCD/олігодендрогліома. В ранньому післяопераційному періоді (до 14 діб) напади відмічались у 6 дітей, з яких в 5 пацієнтів стали короткочасніші та менші за кількістю.

Таким чином, ПЕТ/КТ 18F-ФДГ є корисною для визначення придатності пацієнтів до хірургічного втручання, особливо якщо у дітей нормальна або непереконлива МРТ, двостороннє ураження або

коли є суперечливі результати у вогнищах, виявлених за допомогою ЕЕГ та МРТ волосистої частини голови. Однак роль ПЕТ/КТ 18F-ФДГ у клінічному лікуванні дитячої ФРЕ ще не визначена як стандарт лікування. Тому стандарти або настанови щодо застосування ПЕТ/КТ 18F-ФДГ будуть корисними для гармонізації отримання та аналізу зображень і стандартної звітності, а також сприятимуть підвищенню відтворюваності результатів у дітей з епілепсією. При діагностиці епілепсії у дітей можуть бути використані інші радіофармацевтичні препарати ПЕТ.

**Висновки.** ПЕТ/КТ з 18F-ФДГ є важливою складовою в комплексному обстеженні дітей з фармакорезистентною епілепсією і може бути активно впроваджено в Україні. За даними літератури та з урахуванням власних досліджень інтеріктальна ПЕТ/КТ з 18F-ФДГ є більш чутливим, ніж інтеріктальна ОФЕКТ та практично ідентичні іктальним ОФЕКТ для передопераційної локалізації епілептичних вогнищ у пацієнтів з розбіжностями між ЕЕГ та МРТ, або при нормальних результатах МРТ-обстеження.

**Перспективи подальших досліджень.** В подальших дослідженнях буде проведено клінічну оцінку ПЕТ/КТ з 18F-ФДГ діагностики для визначення його ефективності в передопераційній діагностиці дітей із фармакорезистентною епілепсією.

#### Список використаних джерел:

1. Sukprakun C., Tepmongkol S. Nuclear imaging for localization and surgical outcome prediction in epilepsy: A review of latest discoveries and future perspectives. *Frontiers in neurology*. 2022. Vol. 13. P. 1083775. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1083775>.
2. Prevalence of epilepsy in Morocco: A population-based study / Souirti Z. et al. *Epilepsia open*, 2023. Vol. 8. № 4. P. 1340–1349. <https://doi.org/10.1002/epi4.12802>.
3. Drug-Resistant Epilepsy and Surgery / Sheng J. et al. *Current neuropharmacology*. 2018. Vol. 16. № 1. P. 17–28. <https://doi.org/10.2174/1570159X15666170504123316>.
4. GBD 2016 Epilepsy Collaborators. Global, regional, and national burden of epilepsy, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet. Neurology*. 2019. Vol. 18. № 4. P. 357–375. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30454-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30454-X).
5. Shkumat N. A., Vali R., Shammas A. Clinical evaluation of reconstruction and acquisition time for pediatric <sup>18</sup>F-FDG brain PET using digital PET/CT. *Pediatric radiology*. 2020. Vol. 50. № 7. P. 966–972. <https://doi.org/10.1007/s00247-020-04640-1>.
6. Utility of Absolute Quantification in Non-lesional Extratemporal Lobe Epilepsy Using FDG PET/MR Imaging / Shkumat N. A. et al. *Frontiers in neurology*. 2020. Vol. 11. P. 54. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00054>.
7. A deep learning framework for <sup>18</sup>F-FDG PET imaging diagnosis in pediatric patients with temporal lobe epilepsy / Zhang Q. et al. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2021. Vol. 48. № 8. P. 2476–2485. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05108-y>.
8. Nano-delivery systems as a promising therapeutic potential for epilepsy: Current status and future perspectives / Movahedpour A. et al. *CNS neuroscience & therapeutics*. 2023. Vol. 29. № 11. P. 3150–3159. <https://doi.org/10.1111/cns.14355>.
9. Validation of FDG-PET datasets of normal controls for the extraction of SPM-based brain metabolism maps / Caminiti S. P. et al. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2021. Vol. 48. № 8. P. 2486–2499. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05175-1>.
10. Utility of hybrid PET/MRI multiparametric imaging in navigating SEEG placement in refractory epilepsy / Zhang M. et al. *Seizure*, 2020. Vol. 81. P. 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.08.027>.
11. 18F-FDG-PET hypometabolic pattern reveals multifocal epileptic foci despite limited unique stereotyped seizures / Taussig D. et al. *Epilepsy research*. 2021. Vol. 172. P. 106589. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2021.106589>.
12. Impact of ictal subtraction SPECT and PET in presurgical evaluation / Peedical J. S. et al. *Acta neurologica Scandinavica*. 2021. Vol. 143. № 3. P. 271–280. <https://doi.org/10.1111/ane.13362>.

13. Comparison of non-invasive imaging modalities in presurgical evaluation of temporal lobe epilepsy patients: a multicenter study / Habibabadi J. M. et al. *Acta neurologica Belgica*. 2021. Vol. 121. № 6. P. 1815–1821. <https://doi.org/10.1007/s13760-020-01550-9>.
14. Focal cortical hypermetabolism in atypical benign rolandic epilepsy / Curnow S. R. et al. *Epilepsy research*. 2020. Vol. 161. P. 106288. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2020.106288>.
15. Interictal and postictal <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in epileptogenic zone localization / Carvalho M. S. et al. *Radiologia brasileira*. 2022. Vol. 55. № 5. P. 273–279. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2021.0141>.
16. EANM procedure guidelines for brain PET imaging using [<sup>18</sup>F]FDG, version 3 / Guedj E. et al. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2022. Vol. 49. № 2. P. 632–651. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05603-w>.
17. Suppiah S., Didier M. A., Vinjamuri S. The who, when, why, and how of PET amyloid imaging in management of alzheimer's disease-review of literature and interesting images. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*. 2019. Vol. 9. № 2. P. 65. <https://doi.org/10.3390/diagnostics9020065>.
18. Khalaf A. M., Nadel H. R. Dahmouh H. M. Simultaneously Acquired MRI Arterial Spin-Labeling and Interictal FDG-PET Improves Diagnosis of Pediatric Temporal Lobe Epilepsy. *AJNR. American journal of neuroradiology*. 2022. Vol. 43. № 3. P. 468–473. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7421>.
19. Objective PET study of glucose metabolism asymmetries in children with epilepsy: Implications for normal brain development / Pilli V. K. et al. *Human brain mapping*. 2019. Vol. 40. № 1. P. 53–64. <https://doi.org/10.1002/hbm.24354>.
20. Performance of PET imaging for the localization of epileptogenic zone in patients with epilepsy: a meta-analysis / Niu N. et al. *European radiology*. 2021. Vol. 31. № 8. P. 6353–6366. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-0a7645-4>.
21. Chemistry for Positron Emission Tomography: Recent Advances in <sup>11</sup>C, <sup>18</sup>F-, <sup>13</sup>N-, and <sup>15</sup>O-Labeling Reactions / Deng X. et al. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*. 2019. Vol. 58. № 9. P. 2580–2605. <https://doi.org/10.1002/anie.201805501>.
22. Seizure Outcome After Surgery for Refractory Epilepsy Diagnosed by <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography (<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI): A Systematic Review and Meta-Analysis / Guo et al. *J. World neurosurgery*. 2023. Vol. 173. P. 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.01.114>.

#### References:

1. Sukprakun, C., & Tepmongkol, S. (2022). Nuclear imaging for localization and surgical outcome prediction in epilepsy: A review of latest discoveries and future perspectives. *Frontiers in neurology*, 13, 1083775. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.1083775>.
2. Souirti, Z., Hmidani, M., Lamkaddem, A., Khabbach, K., Belakhdar, S., Charkani, D., Mhandez Tlemceni, D., Lahmadi, N., El Akramine, M., Erriouiche, S., Berrada, A., Ahniba, A., Omari, M., El Fakir, S., Tachfouti, N., Rafai, M. A., Chahid, I., Meriam, B., Jilla, M., Ghaname, A., ... Janati Idrissi, A. (2023). Prevalence of epilepsy in Morocco: A population-based study. *Epilepsia open*, 8(4), 1340–1349. <https://doi.org/10.1002/epi4.12802>.
3. Sheng, J., Liu, S., Qin, H., Li, B., & Zhang, X. (2018). Drug-Resistant Epilepsy and Surgery. *Current neuropharmacology*, 16(1), 17–28. <https://doi.org/10.2174/1570159X15666170504123316>.
4. GBD 2016 Epilepsy Collaborators (2019). Global, regional, and national burden of epilepsy, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *The Lancet. Neurology*, 18(4), 357–375. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30454-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30454-X).
5. Shkumat, N. A., Vali, R., & Shammas, A. (2020). Clinical evaluation of reconstruction and acquisition time for pediatric <sup>18</sup>F-FDG brain PET using digital PET/CT. *Pediatric radiology*, 50(7), 966–972. <https://doi.org/10.1007/s00247-020-04640-1>
6. Shkumat, N. A., 2020; Traub-Weidinger, T., Muzik, O., Sundar, L. K. S., Aull-Watschinger, S., Beyer, T., Hacker, M., Hahn, A., Kaspran, G., Klebermass, E. M., Lanzenberger, R., Mitterhauser, M., Pilz, M., Rausch, I., Rischka, L., Wadsak, W., & Pataraja, E. (2020). Utility of Absolute Quantification in Non-lesional Extratemporal Lobe Epilepsy Using FDG PET/MR Imaging. *Frontiers in neurology*, 11, 54. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00054>
7. Zhang, Q., Liao, Y., Wang, X., Zhang, T., Feng, J., Deng, J., Shi, K., Chen, L., Feng, L., Ma, M., Xue, L., Hou, H., Dou, X., Yu, C., Ren, L., Ding, Y., Chen, Y., Wu, S., Chen, Z., Zhang, H., ... Tian, M. (2021). A deep learning framework for <sup>18</sup>F-FDG PET imaging diagnosis in pediatric patients with temporal lobe epilepsy. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*, 48(8), 2476–2485. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05108-y>.
8. Movahedpour, A., Taghvaeefar, R., Asadi-Pooya, A. A., Karami, Y., Tavasolian, R., Khatami, S. H., Soltani Fard, E., Taghvimi, S., Karami, N., Rahimi Jaber, K., Taheri-Anganeh, M., & Ghasemi, H. (2023). Nano-delivery systems as a promising therapeutic potential for epilepsy: Current status and future perspectives. *CNS neuroscience & therapeutics*, 29(11), 3150–3159. <https://doi.org/10.1111/cns.14355>.
9. Caminiti, S. P., Sala, A., Presotto, L., Chincarini, A., Sestini, S., Perani, D., Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI), for the Associazione Italiana Medicina Nucleare (AIMN) datasets, The AIMN Neurology Study-Group collaborators: Schillaci, O., Berti, V., Calcagni, M. L., Cistaro, A., Morbelli, S., Nobili, F., Pappatà, S., Volterrani, D., & Gobbo, C. L. (2021). Validation of FDG-PET datasets of normal controls for the extraction of SPM-based brain metabolism maps. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*, 48(8), 2486–2499. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05175-1>.
10. Zhang, M., Liu, W., Huang, P., Lin, X., Huang, X., Meng, H., Wang, J., Hu, K., Li, J., Lin, M., Sun, B., Zhan, S., & Li, B. (2020). Utility of hybrid PET/MRI multiparametric imaging in navigating SEEG placement in refractory epilepsy. *Seizure*, 81, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.08.027>.
11. Taussig, D., Petrescu, A. M., Aghakhani, N., Herbrecht, A., Dorfmüller, G., Ferrand-Sorbets, S., Chipaux, M., Fohlen, M., Rodrigo, S., & Bouilletter, V. (2021). <sup>18</sup>F-FDG-PET hypometabolic pattern reveals multifocal epileptic foci despite limited unique stereotyped seizures. *Epilepsy research*, 172, 106589. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2021.106589>.

12. Peedicail, J. S., Singh, S., Molnar, C. P., Numerow, L. M., Gnanakumar, R., Josephson, C. B., Scott, J., Federico, P., Wiebe, S., Pillay, N., & Calgary Comprehensive Epilepsy Program collaborators (2021). Impact of ictal subtraction SPECT and PET in presurgical evaluation. *Acta neurologica Scandinavica*, 143(3), 271–280. <https://doi.org/10.1111/ane.13362>.
13. Habibabadi, J. M., Doroudinia, A., Koma, A. Y., Fesharaki, S. S. H., & Aarabi, S. (2021). Comparison of non-invasive imaging modalities in presurgical evaluation of temporal lobe epilepsy patients: a multicenter study. *Acta neurologica Belgica*, 121(6), 1815–1821. <https://doi.org/10.1007/s13760-020-01550-9>.
14. Curnow, S. R., Vogrin, S. J., Barton, S., Bailey, C. A., & Harvey, A. S. (2020). Focal cortical hypermetabolism in atypical benign rolandic epilepsy. *Epilepsy research*, 161, 106288. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2020.106288>.
15. Carvalho, M. S., Alvim, M. K. M., Etchebehere, E., Santos, A. O., Ramos, C. D., Argenton, J. L. P., Cendes, F., & Amorim, B. J. (2022). Interictal and postictal <sup>18</sup>F-FDG PET/CT in epileptogenic zone localization. *Radiologia brasileira*, 55(5), 273–279. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2021.0141>.
16. Guedj, E., Varrone, A., Boellaard, R., Albert, N. L., Barthel, H., van Berckel, B., Brendel, M., Cecchin, D., Ekmekcioglu, O., Garibotto, V., Lammertsma, A. A., Law, I., Peñuelas, I., Semah, F., Traub-Weidinger, T., van de Giessen, E., Van Weehaeghe, D., & Morbelli, S. (2022). EANM procedure guidelines for brain PET imaging using [18F] FDG, version 3. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*, 49(2), 632–651. <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05603-w>.
17. Suppiah, S., Didier, M. A., & Vinjamuri, S. (2019). The who, when, why, and how of PET amyloid imaging in management of alzheimer's disease-review of literature and interesting images. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 9(2), 65. <https://doi.org/10.3390/diagnostics9020065>.
18. Khalaf, A. M., Nadel, H. R., & Dahmouh, H. M. (2022). Simultaneously Acquired MRI Arterial Spin-Labeling and Interictal FDG-PET Improves Diagnosis of Pediatric Temporal Lobe Epilepsy. *AJNR. American journal of neuroradiology*, 43(3), 468–473. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7421>.
19. Pilli, V. K., Jeong, J. W., Konka, P., Kumar, A., Chugani, H. T., & Juhász, C. (2019). Objective PET study of glucose metabolism asymmetries in children with epilepsy: Implications for normal brain development. *Human brain mapping*, 40(1), 53–64. <https://doi.org/10.1002/hbm.24354>.
20. Niu, N., Xing, H., Wu, M., Ma, Y., Liu, Y., Ba, J., Zhu, S., Li, F., & Huo, L. (2021). Performance of PET imaging for the localization of epileptogenic zone in patients with epilepsy: a meta-analysis. *European radiology*, 31(8), 6353–6366. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-0a7645-4>.
21. Deng, X., Rong, J., Wang, L., Vasdev, N., Zhang, L., Josephson, L., & Liang, S. H. (2019). Chemistry for Positron Emission Tomography: Recent Advances in 11 C-, 18 F-, 13 N-, and 15 O-Labeling Reactions. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, 58(9), 2580–2605. <https://doi.org/10.1002/anie.201805501>.
22. Guo, J., Guo, M., Liu, R., Kong, Y., Hu, X., Yao, L., Lv, S., Lv, J., Wang, X., & Kong, Q. X. (2023). Seizure Outcome After Surgery for Refractory Epilepsy Diagnosed by <sup>18</sup>F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography (<sup>18</sup>F-FDG PET/MRI): A Systematic Review and Meta-Analysis. *World neurosurgery*, 173, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.01.114>.