

ЕМІСІЙНА ТОМОГРАФІЯ ПУХЛИН ГОЛОВНОГО МОЗКУ



С.С. Макеєв

Макеєв Сергій Сергійович
ДУ «Інститут нейрохірургії
імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України»
Київ, 04050, вул. Платона Майбороди, 32
Тел.: +38 (044) 483-82-07;
+38 (050) 656-51-30;
факс: +38 (044) 483-95-73
E-mail: usnm@ukr.net

92

Однофотонна емісійна комп'ютерна томографія та позитронна емісійна томографія є основними методами сучасної радіонуклідної діагностики, які застосовуються у багатьох галузях медицини, зокрема, у нейроонкології. В роботі представлені дані щодо застосування однофотонної емісійної комп'ютерної томографії та позитронної емісійної томографії у діагностиці пухлин головного мозку. Проведений аналіз результатів застосування як радіофармацевтичних препаратів таких речовин, як ^{99m}Tc -метоксиізобутилзонітрил, ^{201}Tl -хлорид, ^{18}F -флуородиоксиглюкоза, ^{11}C -метіонін. Головною особливістю цих радіофармацевтичних препаратів є їх здатність накопичуватись переважно у проліферуючій пухлинній тканині, що робить однофотонну емісійну комп'ютерну томографію та позитронну емісійну томографію високоінформативними у виявленні пухлин та її характеристик, оцінці локального поширення пухлин, динаміки захворювання і його відповіді на проведене лікування

Останні два десятиліття комп'ютерна томографія (КТ) та магнітно-резонансна томографія (МРТ) є основними інструментальними методами діагностики пухлин головного мозку. Застосування цих методів із контрастним посиленням, як правило, проводять у пацієнтів для диференційної діагностики мозкових пухлин та уражень іншого генезу. Проте іноді КТ та МРТ не можуть дати повної відповіді на поставлені запитання щодо природи виявленої патології, що потребує одержання додаткової інформації. Біохімічна візуалізація пухлин головного мозку може мати вирішальне значення для ранньої диференціації пухлин, прогностичної оцінки перебігу захворювання, а також для розрізнення пухлинної тканини від набряку чи гліозу, диференціація рецидиву новоутворення від променевого некрозу, що найкраще досягається за допомогою емісійної томографії.

Однофотонна емісійна комп'ютерна томографія (ОФЕКТ) та позитронна емісійна томографія (ПЕТ) дозволяють вивчати *in vivo* багато процесів, що лежать в основі життєдіяльності мозку, його кровопостачання та перфузію, обмін амінокислот, дезоксирибонуклеїнової кислоти, води, інші особливості церебрального метаболізму.

В даний час ОФЕКТ і ПЕТ є основними радіонуклідними методами діагностики захворювань головного мозку та мають особливу цінність саме при діагностиці церебральних пухлин.

ОДНОФОТОННА ЕМІСІЙНА КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЯ

ОФЕКТ, залишаючись по суті скінтиграфічним методом діагностики, безперечно, має цілий ряд переваг у візуалі-

зації вогнищевих церебральних процесів, порівняно з планарною скінтиграфією, в першу чергу, у зв'язку з вищою інформативністю та кращою роздільною здатністю методу [1].

Для ОФЕКТ пухлин головного мозку, як правило, використовують радіофармацевтичні препарати (РФП), які не проникають через гематоенцефалічний бар'єр і, відповідно, не накопичуються в мозковій тканині. Навпаки, в пухлині у більшості випадків виявляють їх посилену фіксацію. До них відносять близько десяти різних РФП, але найчастіше з цією метою застосовують ^{201}Tl -хлорид та метоксиізобутилзонітрил, мічений ^{99m}Tc -пертехнетатом (^{99m}Tc -МІБІ) [2]. Ці РФП умовно можна назвати туморотропними радіоіндикаторами.

^{201}Tl -хлорид — біохімічний аналог калію, його характерною рисою є здатність накопичуватися в пухлинних клітинах за допомогою АТФ-залежного транспорту і фіксуватися в основному в мітохондріях. Проте, незважаючи на те що ^{201}Tl застосовують як туморотропний РФП, можуть також відмічати його неспецифічне накопичення і в непухлинних утвореннях [3].

Схожий за своїми властивостями до ^{201}Tl -хлориду є ^{99m}Tc -МІБІ. У пухлинну клітину цей РФП надходить шляхом пасивної дифузії і також накопичується в мітохондріях завдяки негативному потенціалу мембран цих органел. Злоякісні пухлини мають більш виражений негативний потенціал, обумовлений метаболічною активністю, що пояснює посилене накопичення ^{99m}Tc -МІБІ в цих новоутвореннях [4]. Вперше цей РФП був використаний в нейроонкології L.A. O'Tuama та співавторами ще у 1990 р. для діагностики продовженого росту астроцитом стовбура мозку [5].

Ключові слова: однофотонна емісійна комп'ютерна томографія, позитронна емісійна томографія, радіофармацевтичні препарати, пухлини головного мозку.

Важливо підкреслити, що ^{99m}Tc -МІБІ ОФЕКТ дозволяє диференціювати пухлини високого та низького ступеня злоякісності, а також пухлини та непухлинні осередкові ураження головного мозку. Цей РФП не проникає через інтактний гематоенцефалічний бар'єр і тому не накопичується в неушкодженому головному мозку, але у первинних церебральних пухлинах ^{99m}Tc -МІБІ демонструє високу інтенсивність накопичення [6, 7].

Позитивними характеристиками цього РФП є енергетично залежний механізм проходження його через мембрани мітохондрій та активне накопичення в цих органах. Відомо, що МІБІ вимивається з пухлинних клітин Р-глікопротеїном, мембранно-зв'язаним білком, який має виражену детоксикаційну активність та здатність виводити з клітин токсичні речовини, у тому числі хіміотерапевтичні препарати [8]. Тому використання ^{99m}Tc -МІБІ в радіонуклідній діагностиці доцільне для забезпечення неінвазивного способу прогнозування результатів хіміотерапії у пацієнтів з пухлинами позамозкової локалізації [9].

Слід відмітити також такий РФП для ОФЕКТ пухлин головного мозку, як ^{123}I -метил-*L*-тирозин (^{123}I МТ). Цей радіоіндикатор застосовують з метою вивчення транспорту амінокислот в новоутвореннях, тому він надзвичайно інформативний для виявлення залишкової тканини пухлини чи її продовженого росту в динаміці спостереження за нейроонкологічним хворим. На відміну від інших радіоіндикаторів, ^{123}I МТ накопичується у всіх типах пухлин незалежно від ступеня їх злоякісності.

Гліоми є найбільш поширеними внутрішньомозковими первинними новоутвореннями головного мозку [10]. На нашому матеріалі понад 300 досліджень пацієнтів з пухлинами головного мозку інформативність ОФЕКТ у діагностиці злоякісних гліальних пухлин доходить до 95% [11]. У той час як пухлини низького ступеня злоякісності скінтиграфічно, як правило, не виявляють, що обумовлено їх слабкою васкуляризацією відносно мозкової тканини, а також мінімальним ураженням гематоенцефалічного бар'єру.

Однією з основних візуальних ознак злоякісних гліом головного мозку на ОФЕКТ є їх негомогенна структура, що визначається характером росту. Як правило, ці пухлини характеризуються внутрішньомозковим розташуванням та неправильною формою, що є додатковим діагностичним критерієм визначення природи пухлини за даними радіонуклідного дослідження. Крім цього, майже в 50% випадків злоякісні гліоми мають порожнини, які візуалізуються на ОФЕКТ, обумовлені кістами або зонами розпаду, що в таких випадках

зумовлює їх перстневидну або підковоподібну форму.

Менінгіоми, на відміну від злоякісних гліом, характеризуються вираженою гомогенністю та чіткими контурами. Крім того, ці пухлини зазвичай мають екстрацеребральне розташування і прилягають широким контуром до оболонок головного мозку. Всі ці ознаки дозволяють без особливих складнощів діагностувати менінгіоми за допомогою ОФЕКТ.

Основними відмінними рисами метастазів порівняно з первинними пухлинами головного мозку на емісійних томограмах є їх кількість, розміри і форма. Наявність двох та більше вогнищ гіперфіксації радіоіндикатора дає підстави стверджувати про наявність метастатичного ураження головного мозку.

Крім того, метастази, на відміну від первинних пухлин головного мозку, мають на ОФЕКТ малі розміри, округлу форму та чіткі контури. Лише інколи у мозку діагностують метастази, які мають на ОФЕКТ більші розміри і неправильну форму, що робить їх схожими на первинні пухлини.

Специфічна локалізація невриноом слухового нерва у проекції мосто-мозочкового кута та висока інтенсивність накопичення РФП в них дозволяють чітко діагностувати ці пухлини на одnofотонних емісійних томограмах.

Також специфічну локалізацію мають аденоми гіпофіза, що допомагає при їх діагностиці за допомогою ОФЕКТ. Проте, в разі локалізації пухлин іншого походження в проекції турецького сідла чи параселлярно, іноді виникають діагностичні труднощі, зумовлені механічним впливом пухлини на суміжні структури. У цих випадках застосування ^{99m}Tc (V)-ДМСА сприяє більш чіткій діагностиці аденом гіпофіза, оскільки її тканина здатна накопичувати цей РФП в декілька десятків, іноді сотень разів більше, ніж інші радіоіндикатори. В результаті, за наявності аденоми на емісійних томограмах відбувається значний перерозподіл активності, що створює ефект обкрадання довколишніх тканин за надзвичайно високої радіоактивності пухлини [12].

ОФЕКТ має високу інформативність у діагностиці переважної більшості пухлин з високим індексом проліферації, зокрема, судинних пухлин, лімфом, ангіосарком, гліосарком, нейрональних пухлин, краніофарингіом, фібросарком, епендимом, медулобластом та ін.

Диференційна діагностика пухлин головного мозку і утворень непухлинної природи ґрунтується на здатності РФП вибірково накопичуватися в пухлинній тканині. І хоча відсутність накопичення РФП в осередку ураження не виключає його пухлинну природу, все ж в більшості випадків ОФЕКТ дозволяє виявити озна-

ки неопластичного процесу в головному мозку.

Томосцинтиграфія є інформативною у диференційній діагностиці геморагічного чи ішемічного інсульту та пухлинного утворення. За нашими даними [13], накопичення туморотропного радіоіндикатора в патологічному осередку судинного походження практично ніколи не виявляють, тоді як у більшості пухлин, навпаки, відмічають гіперфіксацію РФП.

Важливим з практичної точки зору може бути використання ОФЕКТ для диференційної діагностики пухлин та артеріовенозних мальформацій (АВМ). У цьому випадку доцільне проведення комплексного скінтиграфічного дослідження, при якому послідовно проводять радіонуклідну ангіографію й ОФЕКТ. Щосекундний запис проходження радіоіндикатора судинами головного мозку при радіонуклідній ангіографії дозволяє виявити додаткові васкуляризовані утворення. Як при АВМ, так і при пухлинах, на скінтиграмах в перші секунди після введення пацієнтові радіоіндикатора інтрацеребрально виявляють вогнище гіперфіксації РФП. Проте, в разі васкуляризованої пухлини, подальше проведення ОФЕКТ дозволяє виявити патологічне вогнище, тоді як у АВМ пізня фіксація РФП не виявлена [11].

При ОФЕКТ з туморотропними РФП абсцеси бактеріальної та грибової етіології можуть бути помилково розцінені як пухлини з розпадом, що зумовлене наявністю реактивного гліозу та проліферації судин довкола абсцесу. В той же час скінтиграфія з лейкоцитами, міченими ^{99m}Tc -ГМПАО, робить цей метод надзвичайно корисним і найбільш інформативним для диференційної діагностики церебральних пухлин і абсцесів [14, 15].

Моніторинг ефективності лікування, що проводять у нейроонкології, ґрунтується переважно на оцінці зміни розмірів пухлини. Однак навіть за успішного лікування пухлина зменшується в розмірах в пізніші терміни, і цьому передують значні патофізіологічні та біохімічні зміни [16]. У разі загибелі пухлини на її місці може розвинутися фіброзна тканина, яку буває складно відрізнити від пухлини за даними КТ чи МРТ. Запалення, проникність гематоенцефалічного бар'єру, набряк можуть асоціюватися з радіаційним некрозом, що також може ускладнювати діагностику. Крім цього, зміни в тканині пухлин після антибластичної терапії носять мозаїчний характер, зумовлений різною чутливістю пухлинних клітин до антибластичних препаратів. У цих випадках ОФЕКТ дає можливість визначити ділянки пухлини з підвищеною проліферативною активністю [17, 18].

Незважаючи на успіхи останніх років в лікуванні пухлин головного мозку, на жаль, в 90% випадків злоякісних новоутворень відмічають рецидив пухлинного процесу. Крім цього, з часом близько 50% пухлин низького ступеня злоякісності малігнізуються. Динамічне спостереження змін, зумовлених проведенням лікуванням, діагностика і раннє виявлення трансформації пухлинного утворення, заданими ОФЕКТ, представляє важливу інформацію для подальшої тактики лікування таких хворих [19, 20].

Існує три основні завдання, які визначають значущість інструментальних методів у діагностиці пухлин головного мозку: а) виявлення пухлини та її характеристика; б) оцінка локального поширення пухлини; в) оцінка динаміки захворювання і його відповідь на проведене лікування [21]. Сучасна ОФЕКТ дозволяє внести істотний вклад у вирішення кожного з цих завдань.

ПОЗИТРОННА ЕМІСІЙНА ТОМОГРАФІЯ

ПЕТ – високоефективний метод ядерної медицини, що набуває все більшого поширення в клінічній практиці. Він дозволяє візуалізувати функціональні характеристики патологічного осередку, а також розраховувати кількісні фізіологічні параметри діяльності головного мозку, не порушуючи біохімічних властивостей утворень, що вивчаються. Порівняно з ОФЕКТ ПЕТ має певні переваги, обумовлені фізіологічністю РФП і вищою роздільною здатністю методу.

В онкології ПЕТ використовують у першу чергу для оцінки метаболізму глюкози. Крім цього, важливим напрямком застосування цього методу є вивчення обміну амінокислот і біосинтезу білків, клітинної проліферації, тканинної гіпоксії, експресії генів і рецепторів пухлини [22–24].

Всі позитронвипромінювальні елементи (^{11}C , ^{18}F , ^{15}O , ^{13}N та ін.) є ультракороткоживучими радіонуклідами з періодом напіврозпаду 2–110 хв. В даний час відомо декілька десятків РФП на основі таких випромінювачів, які з успіхом застосовують для ПЕТ з діагностичною та дослідницькою метою. Це мічені природні речовини, що властиві організму або ж є хімічними аналогами таких речовин.

Основним РФП для ПЕТ в даний час є флуоридоксиглюкоза, мічена ^{18}F (FDG), яка є аналогом глюкози та застосовується в 90% випадків всіх позитронно-емісійних досліджень. ПЕТ з FDG використовують для диференційної діагностики пухлин головного мозку, прогнозування результатів та вибору тактики лікування, а також для оцінки його ефективності [25–27]. Рівень обміну глюкози у внутрішньомозкових злоякісних пухлинах вищий, ніж у незмі-

неній сірій речовині мозку. В той же час відносно доброякісні пухлини демонструють рівень FDG, що дорівнює її накопиченню у білій речовині головного мозку. Дуже важливо, що накопичення FDG в пухлині не має безпосереднього взаємозв'язку з порушенням проникності гематоенцефалічного бар'єру, що дозволяє виявляти й оцінювати активність метаболізму пухлин, які не накопичують контрастну речовину при МРТ [28]. А тому використання ПЕТ дозволяє виявити ранню малігнізацію пухлини низького ступеня злоякісності [29], сприяє уточненню наявності залишків пухлини після оперативного лікування та робить можливою диференціацію рецидиву пухлини від пострадіаційного некрозу [30, 31]. ПЕТ є фактично єдиною для оцінки ефективності дії цитостатичної хіміотерапії за рівнем активності метаболізму пухлини, в той час як інші методи дослідження дозволяють оцінити лише її структурні особливості і можуть бути малоінформативними [32].

Основним недоліком застосування FDG є високий рівень накопичення цього РФП неушкодженою мозковою тканиною, переважно сірою речовиною, що може створювати маскувальний ефект, особливо при відносно невеликих пухлинах, зокрема, церебральних метастазах. Тому останнім часом все більшого використання при ПЕТ набувають мічені амінокислоти, які інтенсивно накопичуються в пухлинах і не накопичуються у неушкоджених мозкових тканинах. В цьому сенсі найбільш широке застосування одержав ^{11}C -метіонін. Він перевершує FDG за точністю визначення меж пухлини і добре візуалізує пухлини з низьким рівнем метаболізму глюкози [33, 34].

Близько 88% клітин у внутрішньомозкових пухлинах мозку перебувають у стані гіпоксії, а отже, є стійкими до дії іонізуючого випромінювання. Це робить неефективним проведення променевої терапії у пацієнтів з такими новоутвореннями. Діагностика стану гіпоксії пухлин за даними ПЕТ має важливе значення для планування радіотерапії. З цією метою розроблені речовини, зокрема, ^{18}F -fluoromisonidazole та ін., які мають високу спорідненість до тканин у стані гіпоксії, що дозволяє чітко візуалізувати їх [35, 36].

Важливим напрямком застосування ПЕТ є також визначення клітинної проліферації, експресії генів і рецепторів пухлини, що в останні роки набуває більшого поширення [37, 38].

Подальший розвиток ПЕТ у діагностиці пухлин головного мозку пов'язується, в першу чергу, із синтезом, виробництвом нових РФП для вивчення різних аспектів життєдіяльності пухлинної тканини: апоптозу, ангиогенезу, діагностики новоутворень за допомогою мічених моноклональних антитіл та ін.

Надзвичайно важливим є впровадження РФП, в яких як радіомітку застосовують ^{18}F , позитронний випромінювач з найдовшим періодом напіврозпаду порівняно з іншими речовинами для ПЕТ. Його застосування може значно розширити межі використання ПЕТ у щоденній клінічній практиці, особливо при діагностиці церебральних пухлин.

Зниження вартості ПЕТ, яка посилюватиме свої позиції в радіології у наступні роки, є важливим, а можливо, і основним кроком розвитку ядерної медицини. У цьому сенсі виробництво медичних генераторів позитронних випромінювачів (^{68}Ga , ^{64}Cu , ^{86}Y) і наборів до них [38] дозволить перетворити ПЕТ з ексклюзивних методів діагностики у звичайне рутинне дослідження.

Метод поєднання зображень є необхідною ланкою, що поліпшує ранню діагностику пухлин головного мозку [39–41]. Він надає додаткову інформацію, яка дозволяє дослідникам оцінювати фізіологічну та анатомічну складові пухлин. У зв'язку з цим впровадження нових мультимодальних технологій-ПЕТ/КТ, ОФЕКТ/КТ та ПЕТ/МРТ, а також застосування технологій об'єднання зображень (fusion) будуть пріоритетними у розвитку ядерної медицини.

І нарешті, подальший розвиток інформаційних технологій, зокрема впровадження інтернет-розробок, досягнень ядерної телемедицини, поширення систем передачі та архівації зображень (PACS) сприятиме більшому залученню методів ядерної медицини у повсякденну медичну практику.

ЛІТЕРАТУРА

- Henkin R. (1998) An overview of nuclear medicine in the United States. *Am. Nucl. Soc. Nucl. News Interv.*: 30 p.
- Diagnostic Nuclear Medicine (2006) Schiepers C. (Ed.). 2nd Ed., Springer: 355 p.
- Bernat I., Toth G., Kovacs L. (1994) Tumour-like thallium-201 accumulation in brain infarcts, an unexpected finding on single-photon emission tomography [see comments]. *Eur. J. Nucl. Med.*, 21: 191–195.
- Pwnica-Worms D. et al. (1990) Uptake and retention of hexakis (2-methoxyisobutyl isonitrile) technetium (I) in cultured chick myocardial cells. Mitochondrial and plasma membrane potential dependence. *Circulation*, 82: 1826–1838.
- O'Tuama L.A., Packard A.B., Trevas S.T. (1990) SPECT imaging of pediatric brain tumor with hexakis (methoxyisobutylisonitrile) technetium (I). *J. Nucl. Med.*, 31: 2040–2041.
- Soler C., Beauchesne P., Maatougui K. et al. (1998) Technetium-99m sestamibi brain single-photon emission tomography for detection of recurrent gliomas after radiation therapy. *Eur. J. Nucl. Med.*, 25: 1649–1657.
- O'Tuama L.A., Trevas S., Packard A., et al. (1993) Thallium-201 versus technetium-99m MIBI SPECT in evaluation of childhood brain tumors. *J. Nucl. Med.*, 34: 1045–1051.
- Rao V.V., Chiu M.L., Kronauge J.F. et al. (1994) Expression of recombinant human multidrug resistance P-glycoprotein in insect cells confers decreased accumulation of technetium-99m-sestamibi. *J. Nucl. Med.*, 35: 510–515.
- Hendrikse N.H. (1999) Visualisation of multidrug-resistance *in vivo*. *Eur. J. Nucl. Med.*, 26: 283–293.
- Benard F. (2003) Imaging Gliomas with Positron Emission Tomography and Single-Photon Emission Computed Tomography. F. Benard. *Seminars in Nuclear Medicine*, 33(2): 148–162.
- Макеєв С.С. (2008) Однофотонна емісійна комп'ютерна томографія у діагностиці пухлин головного мозку. Наукові статті та тези доповідей науково-прак-

тичної конференції з міжнародною участю «Сучасні досягнення ядерної медицини» 30 вересня – 1 жовтня 2008 р.: 6–11.

12. Yamamura K., Suzuki S., Yamamoto I. (2003) Differentiation of pituitary adenomas from other sellar and parasellar tumors by ^{99m}(V)-DMSA scintigraphy. *Neurol. Med. Chir.*, 43: 181–187.

13. Макеев С.С. (2009) Возможности ОФЭКТ у дифференциальной диагностики пухлин головного мозга з інсуліноподібним перебігом та гострих порушень мозкового кровообігу. *УРЖ*, 3: 400–402

14. Costa D.C., Eli P.J. (1998) Infection and oncology / M.N.Maisey, K.E.Britton, B.D. Collier (Eds). *Clinical nuclear medicine*, London: Chapman & Hall Medical: 313–318.

15. Spinelli F., Sara R., Milella M. et al. (2000) Technetium-99m hexamethylpropylene amine oxime leucocyte scintigraphy in the differential diagnosis of cerebral abscesses. *Eur. J. Nucl. Med.*, 27(1): 46–49.

16. Husband J.E. (1996) Monitoring tumor response. *Eur. Radiol.*, 6: 775–785.

17. Ponten J. (1987) Normal vs neoplastic tissue behavior: what differences are essential. «Concepts and Theor. Carcinogenesis». *Proc. 4th Ann. Symp. Eur. Organ. Coop. Cancer Prev. Stud.(ECP)*, Brugge, June 11–13, 1986. *Amsterdam*: 317.

18. Nagashima T.S., DeArmond S., Murcovic J. (1985) Immunocytochemical demonstration of S-phase cells by antibrromodeoxyuridine monoclonal antibody in human brain tumour tissues. *Acta Neuropathol.*, 67: 155–159.

19. *Practical nuclear medicine* (2005) Peter F. Sharp, Howard G. Gemmill, Alison D. Murray. 3rd ed. Springer-Verlag London: 382.

20. *Vademecum. Nuclear Medicine* (2003) William D. Leslie, I. David Greenberg. *Landes Bioscience*: 389.

21. Brunetti A. (1996) Functional Characterisation of brain tumors: an overview of the potential clinical value. *Nucl. Med. Biol.*, 23(6): 699–715.

22. Michael E. Phelps (2006) PET, physics, instrumentation, scanners. Springer: 130.

23. Jadvar H., Parker J.A. (2005) *Clinical PET and PET/CT*. Springer: 279.

24. Gopal B.Saha (2005) Basics of PET imaging physics, chemistry, and regulations. Springer: 206.

25. Alavi J.B., Alavi A., Chawluk J. et al. (1988) Positron emission tomography in patients with glioma—a predictor of prognosis. *Cancer*, 62: 1074–1078.

26. Di Chiro G., De La Paz R., Brooks R.A. et al. (1982) Glucose utilization of cerebral gliomas measured by 18-fluorodeoxyglucose and PET. *Neurology*, 32: 1323–1329.

27. Mineura K., Yashuda T., Kowada M. et al. (1986) PET evaluation of histologic malignancy in gliomas using oxymethylene-15 and fluorine-18-fluorodeoxyglucose. *Neurol. Res.*, 8: 164–168.

28. Davis W.K., Boyko O.B., Hoffman J.M. et al. (1993) [¹⁸F]2-fluoro-2-deoxyglucose-positron emission tomography correlation of gadolinium-enhanced MR imaging of central nervous system neoplasia. *AJNR*, 14: 515–523.

29. Francavilla T.L., Miletich R.S., Di Chiro G. et al. (1989) Positron emission tomography in the detection of malignant degeneration of low-grade gliomas. *J. Neurosurg.*, 24: 1–5.

30. Doyle W.K., Budinger T.F., Valk P.E. et al. (1987) Differentiation of cerebral radiation necrosis from tumor recurrence by [¹⁸F]FDG and ⁸²Rb positron emission tomography. *J. Comput. Assist. Tomogr.*, 11: 563–57.

31. Patronas N.J., Di Chiro G., Brooks R.A. et al. (1982) [¹⁸F] fluorodeoxyglucose and positron emission

tomography in the evaluation of radiation necrosis of the brain. *Radiology*, 144: 885–889.

32. Price P., Harte R., Wells P. et al. (1997) The potential of tracer kinetic studies in drug development programs: a new investigational area for cancer research. *Drug. Inf. J.*, 31: 1045–1049.

33. Derlon J.M., Chapon F., Noel M.H. et al. (2000) Non-invasive grading of oligodendrogliomas: correlations between in vivo metabolic pattern and histopathology. *Eur. J. Nucl. Med.*, 27: 778–787.

34. Ogawa T., Kanno I., Shishido F. et al. (1991) Clinical value of PET with 18F-fluorodeoxyglucose and L-methyl-¹¹C-methionine for diagnosis of recurrent brain tumor and radiation injury. *Acta Radiol.*, 32: 197–202.

35. Silverman D.H.S., Hoh C.K., Setzer M.A. et al. (1998) Evaluating tumor biology and oncological disease with positron-emission tomography. *Semin. Radiat. Oncol.*, 8: 183–196.

36. Rasey J.S., Koh W. (1996) Quantifying regional hypoxia in human tumors with positron emission tomography of [¹⁸F] fluoromisonidazole: A pretherapy study of 37 patients. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 36: 417–428.

37. Ono M. (2009) Molecular imaging by PET/SPECT. *Yakugaku Zasshi*, 129(3): 279–87.

38. Sharma V., Prior J.L., Belinsky M.G. et al. (2005) Characterization of a 67Ga/68Ga radiopharmaceutical for SPECT and PET of MDR1 P-glycoprotein transport activity in vivo: validation in multidrug-resistant tumors and at the blood-brain barrier. *J. Nucl. Med.*, 46(2): 354–64.

39. *Workman B. Ronald, Coleman Jr. R. Edward* (2006) *PET. CT Essentials for Clinical Practice*. Springer, 248.

40. Conti S. Peter, Cham K. Daniel (2005) *PET-CT: a case based approach*. Springer: 304.

41. Lynch T. B. (2007) *PET/CT in clinical practice*. Springer: 241.

Эмиссионная томография опухолей головного мозга

С.С. Макеев

ГУ «Институт нейрохирургии имени академика А.П. Ромоданова НАМН Украины», Киев

Резюме. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография и позитронная эмиссионная томография являются основными методами современной радионуклидной диагностики, применяются во многих отраслях медицины, в частности, в нейроонкологии. В работе представлены данные по применению однофотонной эмиссионной компьютерной томографии и позитронной эмиссионной томографии для диагностики опухолей головного мозга. Проведен анализ результатов использования в качестве радиофармацевтических препаратов таких веществ, как ^{99m}Tc-метоксиизобутилизонитрил, ²⁰¹Tl-хлорид, ¹⁸F-флуоридоксиглюкоза, ¹¹C-метионин. Главной особенностью этих радиофармацевтических препаратов является их способность накапливаться преимущественно в пролиферирующей опухолевой ткани, которая делает однофотонную эмиссионную компьютерную томографию и позитронную эмиссионную томографию высокоинформативными в выявлении опухолей и ее характеристик, оценке локального распространения, динамики заболевания и его ответа на проведенное лечение.

Ключевые слова: однофотонная эмиссионная компьютерная томография, позитронная эмиссионная томография, радиофармацевтические препараты, опухоли головного мозга.

Emission tomography of brain tumors

S.S. Makeyev

SI «Institute of neurosurgery named after academician A.P. Romodanov of NAMS of Ukraine», Kyiv

Summary. Single photon emission computer tomography and positron emission tomography are the basic methods of modern nuclear medicine, are used in many medical sciences, in particular, in neurosurgery. This article is devoted to the application of single photon emission computer tomography and positron emission tomography in the diagnostics of brain tumors. We analyzed the results of using of ^{99m}Tc-methoxybutylisonitrile, ²⁰¹Tl-chloride, ¹⁸F-fluorodeoxyglucose, ¹¹C-methionine. The main feature of these radiopharmaceuticals is their ability to accumulate mainly in proliferative tissue, that does single photon emission computer tomography and positron emission tomography as high informative methods in the diagnostics of tumors and its characteristics, estimation of local tumor distribution and the dynamics of disease, its answer to the treatment.

Key words: single photon emission computer tomography, positron emission tomography, radiopharmaceuticals, brain tumors.